Los insectos
y su manejo en la caficultura colombiana

70 años
Cenicafé
1938-2008

Federación Nacional de Cafeteros de Colombia

Federación Nacional de Cafeteros de Colombia

COMITÉ NACIONAL

Período 1° enero/07-diciembre 31/10

Ministro de Hacienda y Crédito Público
Ministro de Agricultura y Desarrollo Rural
Ministro de Comercio, Industria y Turismo
Director del Departamento Nacional de Planeación

Juan Camilo Restrepo Salazar
Mario Gómez Estrada
Carlos Alberto Gómez Buendía
Carlos Roberto Ramírez Montoya
César Eladio Campos Arana
Darío James Maya Hoyos
Jaime García Parra
Héctor Falla Fuentes
Fernando Castrillón Muñoz
Javier Bohórquez Bohórquez
Crispín Villazón de Armas
Ramón Campo González
Jorge Cala Roballo
Hernán Román Calderón
Alfredo Yáñez Carvajal

Gerente General
GABRIEL SILVA LUJÁN

Gerente Administrativo
LUIS GENARO MUÑOZ ORTEGA

Gerente Financiero
JORGE SUESCÚN POZAS

Gerente Comercial
JUAN LUCAS RESTREPO IBIZA

Gerente Técnico
ÉDGAR ECHEVERRI GÓMEZ

Director Programa de Investigación Científica
Director Centro Nacional de Investigaciones de Café
GABRIEL CADENA GÓMEZ

BUSTILLO P., A. E. Editor. Los insectos y su manejo en la caficultura colombiana. Chinchiná (Colombia), Cenicafé, 2008. 466 p.

Entomología, Insectos, Plagas del cafeto, Colombia

Los trabajos suscritos por el personal técnico del Centro Nacional de Investigaciones de Café son parte de las investigaciones realizadas por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Sin embargo, tanto en este caso como en el de personas ajenas a este Centro, las ideas emitidas por los autores son de su exclusiva responsabilidad y no expresan necesariamente las opiniones de la Entidad.

CRÉDITOS

EDICIÓN DE TEXTOS
Álex Enrique Bustillo Pardey

COORDINACIÓN EDITORIAL
Sandra Milena Marín López

DISEÑO
Carmenza Bacca Ramírez

DIAGRAMACIÓN
Carmenza Bacca Ramírez
María del Rosario Rodríguez Lara

DIBUJOS
Gonzalo Hoyos Salazar

FOTOGRAFÍAS
Archivo Cenicafé
Alejandro Berrío

IMPRESIÓN

1500 ejemplares

Blanecolor Ltda.

ISBN 978 - 958 - 98193 - 9 - 5

© FNC 2008

LOS INSECTOS Y SU MANEJO EN LA CAFICULTURA COLOMBIANA

Editor: Álex Enrique Bustillo Pardey

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN - Gabriel Cadena G.

13 **SECCIÓN I. GENERALIDADES SOBRE LOS INSECTOS**

14 Capítulo 1. Historia sobre los artrópodos plagas en los cafetales de Colombia.
Álex E. Bustillo P.

21 Capítulo 2. Características de la clase insecta.
Álex E. Bustillo P. y Zulma Nancy Gil P.

34 Capítulo 3. Órdenes y familias de insectos comunes en los ecosistemas cafeteros.
Zulma Nancy Gil P. y Álex E. Bustillo P.

73 Capítulo 4. Cómo se comunican los insectos y cómo responden a las plantas.
Álex E. Bustillo P.

93 **SECCIÓN II. EL MANEJO INTEGRADO DE LOS CULTIVOS EN RELACIÓN CON EL CONTROL DE PLAGAS**

94 Capítulo 5. Cómo implementar un programa de manejo integrado de plagas
Álex E. Bustillo P.

110 Capítulo 6. El control natural de los insectos.
Luis M. Constantino C.

114 Capítulo 7. Los parasitoides en programas de control biológico.
Pablo Benavides M.

126 Capítulo 8. Depredadores en el control biológico.
Pablo Benavides M., Leyre Y. Vera M. y Zulma Nancy Gil P.

133 Capítulo 9. Los hongos entomopatógenos en el control de insectos.
Carmenza E. Góngora B.

150 Capítulo 10. Nematodos para el control de insectos plagas.
Juan C. López N.

184 Capítulo 11. Los insecticidas en el control químico de plagas.
Álex E. Bustillo P.

201 Capítulo 12. Tecnología de aplicación y equipos de aspersión de agroquímicos.
Diógenes A. Villalba G.

226 Capítulo 13. Control etológico en el manejo de plagas.
Luis M. Constantino C. y Pablo Benavides M.

234 Capítulo 14. Control cultural en el manejo integrado de plagas.
Pablo Benavides M. y Luis M. Constantino C.

242 Capítulo 15. Uso de genes para incrementar la resistencia de plantas a insectos herbívoros.
Carmenza E. Góngora B. y José R. Acuña Z.

272 Capítulo 16. Control legal de insectos plagas.
Luis Miguel Constantino y Pablo Benavides M.

283 SECCIÓN III. LA GENÉTICA Y LOS INSECTOS

284 Capítulo 17. Aspectos genéticos relacionados con la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari).
Pablo Benavides M.

298 Capítulo 18. Desarrollo de resistencia de los insectos a insecticidas.
Carmenza E. Góngora B. y Pablo Benavides M.

311 SECCIÓN IV. ARTRÓPODOS PLAGAS DEL CAFÉ

312 Capítulo 19. Insectos trozadores en cafetales.
Zulma N. Gil P.
El gusano biringo, *Agrotis ipsilon*
El gusano cogollero, *Spodoptera frugiperda*
El grillo topo, *Scapteriscus didactylus*

317 Capítulo 20. Chisas en cafetales en Colombia.
Álex E. Bustillo P.
Phyllophaga menetriesi
Plectris pavida
Anomala cincta
Cyclocephala spp.

323 Capítulo 21. La hormiga arriera, *Atta cephalotes*.
Luis M. Constantino C.

330 Capítulo 22. La arañita roja, *Oligonychus yothersi*.
Álex E. Bustillo P.

333 Capítulo 23. Insectos chupadores en los cafetales.
Álex E. Bustillo P.
La mosca blanca lanuda, *Aleurothrixus floccosus*
El piojo blanco del café, *Orthezia praelonga*
La escama verde del café, *Coccus viridis*
La escama tortuguita, *Saissetia coffeae*
El pulgón negro, *Toxoptera aurantii*

342 Capítulo 24. Cochinillas harinosas en cafetales colombianos.
Clemencia Villegas G., Álex E. Bustillo P., Gustavo Zabala E., Pablo Benavides M.
y Andrea A. Ramos P.
Dysmicoccus brevipes
Neochavesia caldasiae
Planococcus citri
Puto antioquensis
Puto barberi
Rhizoeccus coffeae
Pseudococcus jackbeardsleyi

355 Capítulo 25. Gusanos defoliadores del cafeto.
Álex E. Bustillo P.
El medidor gigante, *Oxydia* spp.
El medidor del ciprés, *Glena bisulca*.

360 Capítulo 26. El minador de la hoja del cafeto, *Leucoptera coffeellum*.
Álex E. Bustillo P.

364 Capítulo 27. La broca de la cereza del café, *Hypothenemus hampei*.
Álex E. Bustillo P.

368 Capítulo 28. El perforador de las ramas del cafeto, *Xylosandrus morigerus*.
Álex E. Bustillo P.

370 Capítulo 29. La hormiga loca, *Paratrechina fulva*.
Álex E. Bustillo P. y Zulma N. Gil P.

374 Capítulo 30. La chinche *Monalonion velezangeli,* nueva plaga del café en Colombia.
Hilary J. Ramírez C., Álex E. Bustillo P., Zulma N. Gil P. y Pablo Benavides M.

381 Capítulo 31. Las babosas en cafetales.
Zulma N. Gil P.

385 Capítulo 32. El gorgojo del café almacenado, *Araecerus fasciculatus*.
Álex E. Bustillo P.

387 SECCIÓN V. LA BROCA DEL CAFÉ

388 Capítulo 33. Aspectos sobre la broca del café, *Hypothenemus hampei*, en Colombia.
Álex E. Bustillo P.

414 Capítulo 34. El manejo de cafetales y el control de la broca del café.
Álex E. Bustillo P.

427 SECCIÓN VI. PLAGAS CUARENTENARIAS

428 Capítulo 35. Insectos plagas del café de importancia cuarentenaria para Colombia.
Álex E. Bustillo P.
Chicharras en cafetales
Chinches antestia, *Antestiopsis* spp.
El trips del café, *Diarthrothrips coffeae*
La chinche del café, *Lamprocapsidea coffeae*
El medidor gigante, *Ascotis selenaria reciprocaria*
La polilla de la cereza del café, *Prophantis smaragdina*
Barrenador blanco del tallo, *Xylotrechus quadripes*
Barrenador pardo del café, *Acalolepta cervina*
Barrenador de África Occidental del café, *Bixadus sierricola*
Barrenador blanco del café, *Monochamus leuconotus*
Barrenador de cabeza amarilla, *Dirphya nigricornis*
Barrenador negro del tallo, *Apate monachus*
El gorgojo khapra, *Trogoderma granarium*

441 **SECCIÓN VII. PERSPECTIVAS**

442 Capítulo 36. Perspectivas sobre el manejo de plagas en cafetales.
Álex E. Bustillo P.

446 **GLOSARIO** - Álex E. Bustillo P.

AUTORES

Álex Enrique Bustillo Pardey, Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira. M.Sc. en Entomología, Universidad de Wisconsin, Madison; Ph.D., Entomología y Análisis de Sistemas, Universidad de Florida, Gainesville. Investigador Principal, Disciplina de Entomología, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia. Correo - e: Álexe.bustillo@cafedecolombia.com

Andrea Amalia Ramos Portilla, Ingeniera Agrónoma, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia. M.Sc. en Ciencias Agrarias- Enfásis en Entomología. Universidad Nacional sede Bogotá, Profesional especial, Grupo Epidemiología Agrícola. ICA. Manizales, Colombia. Correo-e: andreaamaliaramos@gmail.com

Carmenza Esther Góngora Botero, Microbióloga Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. Ph.D., en Entomología, Universidad de Cornell, Ithaca. Investigador Científico III, Disciplina de Entomología, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia. Correo - e: carmenza.gongora@cafedecolombia.com

Clemencia Villegas García, Ingeniera Agrónoma, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia. M.Sc. en Fitopatología, Universidad de Caldas. Investigador Científico I, Disciplina de Entomología, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia. Correo - e: clemencia.villegas@cafedecolombia.com

Diógenes Alberto Villalba Guott, Ingeniero Agrónomo, Universidad Tecnológica del Magdalena. M.Sc. en Fitopatología, Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. Investigador Asociado, Disciplina de Entomología, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia. Correo - e: diogenes.villalba@cafedecolombia.com

Gustavo Zabala Echavarría, Biólogo, Universidad del Valle, Cali, Colombia. Correo-e: gazant@gmail.com

Hilary Johana Ramírez Cortés, Ingeniera Agroforestal, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia. Correo – e: hilary.ramirez@cafedecolombia.com

Juan Carlos López Núñez, Microbiólogo, Universidad de Los Andes, Bogotá, Colombia. Investigador Científico I, Disciplina de Entomología, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia. Correo-e: juancarlos.lopezn@cafedecolombia.com

Leyre Yicell Vera Montoya, Ingeniera Agrónoma, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia. Correo – e: leyre.vera@gmail.com

Luis Miguel Constantino Chuaire, Bachelor of Science, Entomología, Universidad de California, Riverside. M.Sc., Manejo Integrado de Plagas, Universidad de California, Riverside. Investigador Científico I, Disciplina de Entomología, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia. Correo - e: luismiguel.constantino@cafedecolombia.com

Pablo Benavides Machado, Ingeniero Agrónomo, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia. Ph. D., Entomología y Genética, Universidad de Purdue, West Lafayette. Investigador Científico II, Disciplina de Entomología, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia. Correo-e: pablo.benavides@cafedecolombia.com

José Ricardo Acuña Zornosa, Biólogo, Universidad de los Andes. M.Sc. Biología Celular, Universidad Javeriana, Bogotá. Ph.D., Bioquímica / Biología Molecular, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Investigador Científico III, Disciplina de Mejoramiento Genético, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia. Correo-e: ricardo.acuna@cafedecolombia.com

Zulma Nancy Gil Palacio, Ingeniera Agrónoma, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, Colombia. Investigador Científico I, Disciplina de Entomología, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia. Correo-e: zulma.gil@cafedecolombia.com

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos al Director de Cenicafé, Dr. Gabriel Cadena Gómez, por proponer, incentivar y apoyar la realización de esta obra y a la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, en representación de toda la comunidad de cafeteros, ya que sin el soporte de la infraestructura y financiación de la investigación, este trabajo no habría sido posible llevarlo a cabo. También deseamos extender nuestro profundo agradecimiento a otros investigadores, estudiantes y auxiliares de investigación de la Disciplina de Entomología de Cenicafé, que durante mucho tiempo colaboraron para que la información que se presenta aquí pudiera ser una realidad. Finalmente agradecemos al señor Gonzalo Hoyos Salazar por la elaboración de los dibujos que tanto valor le dan a esta publicación.

DEDICATORIA

Los autores desean dedicar esta obra a la memoria de dos colegas pioneros, Marcial Benavides Gómez y Reinaldo Cárdenas Murillo, que dedicaron gran parte de sus vidas al estudio de la problemática de los insectos en la caficultura colombiana.

INTRODUCCIÓN

Colombia es reconocido como el país con mayor biodiversidad, si se tiene en cuenta su área territorial y el sinnúmero de especies que han sido identificadas en él. La localización geográfica, en la esquina norte del continente Suramericano, el tener territorios marinos en los dos océanos y amplias áreas costeras, la presencia de la Cordillera de los Andes en gran parte de su territorio y su riqueza en climas y en fuentes hídricas, hacen de Colombia un país donde abundan todas las formas conocidas de vida. Se destaca el gran número de artrópodos y particularmente de insectos identificados. Por ejemplo, los esfuerzos de los últimos años por contribuir a los estudios sobre la biodiversidad en las zonas cafeteras colombianas, permitieron la identificación de 292 especies de mariposas diurnas de la zona cafetera central. No obstante, la gran riqueza en especies de plantas vasculares, Colombia en su agricultura de exportación depende fundamentalmente de especies introducidas de otros continentes.

El café (*Coffea arabica* L.) cultivado en Colombia, como la historia lo registra, llegó a nuestro territorio desde el África a través de los jardines botánico europeos. Este hecho permitió a su vez que la especie llegara sin los patógenos e insectos plagas que son comunes afectando al café en África. Por esa razón, la caficultura colombiana logró su expansión, desarrollo y la conquista de los mercados consumidores en forma competitiva, ya que se producía sin limitantes fitosanitarios importantes.

No obstante, los caficultores colombianos tenían la preocupación que era común en el resto de la agricultura, acerca de la posible incidencia de plagas que los obligara a practicar medidas de control, no solo costosas sino además de difícil aplicación, debido a las condiciones topográficas y climáticas predominantes en las laderas andinas.

El Centro Nacional de Investigaciones de Café - Cenicafé, desde su fundación en el año de 1938, consideró dentro de sus actividades de investigación la Entomología y como se registra en esta publicación, las contribuciones de dichos profesionales afortunadamente fueron acertadas, ya que sus conocimientos siempre llevaron a aconsejar a los caficultores a no hacer uso de medidas de control químico para el control de insectos como el minador de las hojas o ataques esporádicos y localizados de gusanos medidores. De otra parte la Federación Nacional de Cafeteros, al igual que lo hizo con el caso de la roya del cafeto, mantuvo la alerta sobre las autoridades fitosanitarias nacionales, respecto a la posible introducción de plagas ya registradas en otros países, como la broca del café.

En 1988, hace veinte años, el primer foco de broca (*Hypothenemus hampei*), fue registrado en el territorio nacional. A partir de ese primer registro, se podría decir que las perspectivas de nuestra caficultura, basada en su ventaja competitiva de reconocida buena calidad en los mercados, cambio radicalmente. A pesar de los esfuerzos de la Federación y del ICA, la broca se fue extendiendo paulatinamente a todo el territorio nacional, causando pérdidas en la calidad y en la cantidad del café cosechado. Se podría decir que, desde entonces nuestra caficultura no volvió a ser la misma. Los caficultores tuvieron que enfrentarse por primera vez a un insecto plaga, muy especializado, que rápidamente se adaptó a las condiciones ecológicas y que se vio altamente favorecido por la condición especial de contar con frutos que atacar durante todo el año, bien sea en las ramas de los cafetos o en el suelo como resultado de la caída de frutos durante los distintos pases de cosecha. La caficultura de las zonas más bajas, en donde la temperatura es más alta y el ciclo de vida de la broca más corto, se vio limitada, y en muchas zonas, prácticamente desapareció.

De otra parte, los esfuerzos de la Federación para ayudar a los caficultores a controlar eficientemente la plaga, no han tenido descanso durante estos veinte años. Las medidas han sido múltiples, los esfuerzos de los directivos departamentales, a través del Servicio de Extensión y la adopción de prácticas de control, por parte de los caficultores, ha sido constante. Gracias a ello, el impacto económico de la broca ha disminuido en los últimos años.

Por su parte, Cenicafé reforzó su Disciplina de Entomología con nuevos profesionales y la colaboración de numerosos estudiantes universitarios. También se ha contado con el apoyo de entidades internacionales como el CABI, el Common Fund for Commodities, el DFID del gobierno Inglés, así como de Colciencias y el Ministerio de Agricultura.

Desde el principio, los entomólogos de Cenicafé consideraron que la mejor opción para el control de la broca no era el control químico sino el Manejo Integrado de Plagas – MIP. Muy pronto la Federación adoptó este concepto, orientado a manejar racionalmente el insecto, reduciendo su población a niveles que no cause daños económicos y sin afectar el medio ambiente ni la salud de los caficultores y operarios. La estrategia adoptada por Cenicafé, de incrementar la biodiversidad de enemigos de este insecto como hongos entomopatógenos y parasitoides introducidos desde su sitio de origen en África, resultó ser muy exitosa, así como el fomento de una incipiente fauna benéfica que, en su conjunto, demostró que podía contribuir al desarrollo de un programa de control que permitiera el manejo de la plaga sin afectar el ecosistema cafetero, contribuyendo a la sostenibilidad de la caficultura colombiana. En este libro se encontrarán todos los resultados de las distintas investigaciones realizadas, que han permitido el manejo racional de la única plaga de importancia económica que afecta a nuestro café.

Gracias al manejo racional de la broca, Colombia continúa produciendo café de reconocida calidad, aceptado por los mercados más exigentes respecto a la inocuidad para los consumidores.

En los últimos años, las investigaciones sobre genómica, proteómica y bioinformática, que cubren las tres especies: el café, la broca y el más eficiente agente de control biológico de la broca, el hongo *Beauveria basssiana,* así como la contribución de los Fitomejoradores del Centro, abren las perspectivas para la obtención de una variedad de café con resistencia a la broca, la cual sería una contribución definitiva para la economía y la sostenibilidad de nuestra caficultura, como lo fue en su momento la variedad Colombia, y ahora las variedades Tabi y Castillo®, con resistencia a la roya del cafeto.

Quienes tengan en sus manos esta obra, escrita con la colaboración de los Entomólogos que en Cenicafe han desarrollado investigaciones en los últimos años, pero que recoge además las contribuciones de quienes los precedieron, encontrarán una recopilación didáctica y comprensible, de lo que representan los insectos y otros artrópodos para el cultivo del café en Colombia, y de las opciones producto del esfuerzo científico para resolver esos retos de una manera sostenible.

Un agradecimiento muy especial al Dr. Álex E. Bustillo P., quien ha sido el motor principal y gestor de esta obra, así como a los demás colaboradores, por entregar una obra que será de gran utilidad para Extensionistas, técnicos, investigadores, profesores universitarios, estudiantes y para todo aquel que tenga interés en conocer la relación estrecha entre el café y los insectos.

Gabriel Cadena Gómez
Director
Chinchiná, septiembre de 2008

Sección I

Generalidades sobre los insectos

Se presenta información sobre los inicios de la entomología en el cultivo del café en Colombia, y aspectos básicos sobre las características taxonómicas, biología, comportamiento de los insectos y cómo se comunican entre ellos y las plantas

CAPÍTULO 1

Historia sobre los artrópodos plagas en los cafetales de Colombia

Álex Enrique Bustillo Pardey

En Colombia, la actividad cafetera ha jugado un papel muy importante en el desarrollo del país, no solo por los ingresos que genera sino por el empleo rural y su prominencia social y regional. Durante el año 2007 las exportaciones de café fueron de 11,3 millones de sacos de 60 kg de café verde, que generaron ingresos por $1.893 millones de dólares, con una participación en el PIB Agrícola del 23,7%. Esta actividad genera dos millones de empleos directos e indirectos, y constituye el 27% del empleo agrícola. El cultivo del café es el segundo renglón generador de divisas y un importante tejido social para Colombia, por lo tanto, cualquier problema que lo afecte es de especial importancia para la economía colombiana.

La caficultura colombiana se ha mantenido libre de problemas de insectos a través de todo su desarrollo. Algunos problemas fitosanitarios en el cultivo del café se empezaron a registrar en áreas muy localizadas, tan pronto esta actividad comenzó a expandirse como explotación comercial. La literatura indica que entre 1930 y 1985, en los cafetales colombianos se presentaron ataques esporádicos de insectos como los defoliadores, *Oxydia* spp., el minador de la hoja, *Leucoptera coffeellum* (Guerin - Méneville), las cochinillas harinosas de la raíz, *Puto antioquensis* (Murillo), *Neochavesia caldasiae* (Balachowsky) y *Dysmicoccus brevipes* (Cockerell), la hormiga arriera, *Atta cephalotes* (L), la hormiga loca, *Paratrechina fulva* Mayr, la arañita roja, *Oligonychus yothersi* (McGregor), y el gorgojo de los granos, *Araecerus fasciculatus* (De Geer) (ICA, 1989; Cárdenas, 1983, 1985).

Como el café es un cultivo exótico originario de África e introducido en Colombia a mediados del siglo XVIII, sin las plagas existentes en ese continente, es comprensible que éstas no se presenten en el continente americano. Sin embargo, otra fauna existente en nuestro medio se ha adaptado a este cultivar y en ocasiones generan problemas localizados. Afortunadamente, estas especies cuentan con un buen número de enemigos naturales que controlan sus poblaciones y las reducen a niveles que no causan daño económico. Por otra parte, el ecosistema cafetero es bastante estable, con una gran biodiversidad, lo que favorece el mantenimiento de la fauna benéfica. Esta situación de equilibrio ha sido posible debido a que en las zonas cafeteras no se ha hecho un uso indiscriminado de insecticidas, hasta tal punto que Colombia es quizás, el único país en el mundo en el que la caficultura se manejó hasta la llegada de la broca del fruto del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari), con muy poco uso de estos productos (Bustillo, 1991).

La broca del café es una plaga exótica originaria de la zona ecuatorial del África e introducida accidentalmente al continente americano, en 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 y alcanza altos niveles de población, debido a la carencia de agentes de control que han coevolucionado con ella en su sitio de origen (Bustillo, 1991).

Los primeros registros sobre las plagas que afectan el cultivo del café datan de hace más de 100 años, y fueron realizados por el profesor de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional, Nicolás Sáenz (Sáenz, 1893). En su obra Memoria sobre el Cultivo del Cafeto, describe con detalles el ataque de arañas, que al juntar el follaje con sus finos tejidos, le causan quemazón. Este problema sólo se volvió a documentar 104 años después por Cárdenas *et al.* (1997), en el Avance Técnico No.242, en el que se describe el ataque de arañas en cafetales del Líbano, Tolima. El profesor Saenz registra también la presencia de insectos chupadores a los cuales denominó piojos, que en su momento fueron identificados como *Lecanium coffeae* y *Pseudococcus adonidum*, sobre el follaje de las plantas de café. El primero muy posiblemente se trataba de la especie

actualmente conocida como *Saissetia coffeae* y el segundo de la especie *Planococcus citri*. Finalmente, destacó los ataques esporádicos de langostas y de la hormiga arriera, como las principales amenazas de las plagas a la caficultura. Sin embargo, anotó que los insectos relacionados no causaban daños de mucha importancia económica.

Todos los programas de protección de la industria cafetera colombiana han sido posibles por la visión de los caficultores de conformar una agremiación, que no solo protegiera su comercio internacional sino que fuera vigilante de los problemas potenciales que pudieran llegar al país y de generar una tecnología para que los cultivadores del café fueran exitosos. Fue así como en 1927 un grupo visionario de caficultores creó la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, FNC, la cual desde esa época empezó a financiar actividades de investigación, pero fue en el IX Congreso Nacional Cafetero, según el acuerdo No. 2 del 9 de noviembre de 1938, que se creó el Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé.

Los registros basados en la Revista Cafetera de Colombia, fundada por la FNC en 1928, y posteriormente por medio de los medios de divulgación de Cenicafé, muestran una radiografía de los primeros problemas entomológicos que aquejaban la caficultura. Los estudiosos de la Entomología, en los inicios de la caficultura colombiana, se dieron a la tarea de registrar la fauna de artrópodos que se encontraba en los cafetales, pero a excepción de unos pocos, la mayoría no revestía importancia económica. Un recuento sucinto de toda esta problemática se presenta a continuación.

El 19 de octubre de 1927 se creó el Servicio de Sanidad Vegetal y Entomología Económica, bajo el Ministerio de Agricultura y Comercio que fue un apoyo inicial muy importante para la caficultura. La primera persona que se contrató para ese cargo fue Luis María Murillo Quinche, un humanista con una profunda sensibilidad hacia las ciencias de toda índole, pero su amor por la naturaleza lo llevó a convertirse en el primer entomólogo autodidacta, y dedicó 40 años de su vida al cargo que le ofreció el gobierno. Murillo es considerado el padre del control biológico en Colombia, sus estudios más importantes se relacionaron con la introducción de parasitoides para el control exitoso de varias plagas, de los cuales merecen citarse los casos de *Aphelinus mali* para el control del pulgón lanigero, *Eriosoma lanigerum* en manzanos, *Rodolia cardinalis* para el control de la cochinilla acanala*, Icerya purchasi*, *Cryptolaemus montrouzieri,* contra las cochinillas del café y *Apanteles thurberiae*, para el control del gusano rosado colombiano del algodón, *Sacadodes pyralis*. En 1962, como reconocimiento a todas sus contribuciones a la ciencia, el gobierno colombiano le otorgó la Cruz de Boyacá (Valenzuela, 1973).

Las consultas más frecuentes de los caficultores entre los años 30 y 40 del pasado siglo, consignadas en la Revista Cafetera de Colombia, estaban relacionadas con las cochinillas o palomillas de las raíces asociadas con hormigas, el minador de la hoja, arañitas y escamas en el follaje. El control de los insectos chupadores se basaba en aplicaciones de petróleo más jabón y agua. Las cochinillas harinosas las trataban en los almácigos de café con cianuro de potasio antes del transplante y sumergiendo la plántula en creolina. En esa época la FNC contaba con dos entomólogos, el belga Rene Paul Roba y el colombiano Mauro Hernández Mesa, quienes trabajaban en la Estación Central "La Esperanza" en Cundinamarca, y con la asesoría del eminente entomólogo Luis María Murillo, que llevó a cabo varios estudios sobre insectos del café en Antioquia y en los Santanderes (Murillo, 1931). En esa época Murillo describió la nueva especie de cochinilla de la raíz encontrada en Antioquia, y que fue denominada *Puto (Ceroputo) antioquensis* (Murillo).

En 1931 se registraron varios ataques serios de la hormiga arriera, que motivaron a la Asamblea de Caldas a expedir la Ordenanza No. 10, de mayo 26 de 1931, para el "exterminio de la hormiga".

En un artículo aparecido en 1931, escrito por Ramón Mejía, Subdirector de la Granja Central de Café, titulado "La aracnosis del café", informó del ataque de arañitas (ácaros) en cafetales de Antioquia y describió los daños y recomendaciones de control, basado en informaciones de los entomólogos Luis María Murillo y L. H. Ballou de la Estación Experimental "Tulio Ospina", en Medellín (Mejía, 1931).

Más tarde, en 1932, el experto José Sáenz Moreno hizo una descripción de la arañita de esos cafetales en Antioquia y de acuerdo con esa descripción, es posible que se tratara de la arañita roja, *Oligonychus yothersi*. Indicó además que desde lejos el lote de café infestado mostraba una coloración amarillo rojiza,

pero que la plaga sucumbía en las épocas de lluvia. En esa misma época, Sáenz Moreno dio cuenta de ataques de la hormiga de Amagá, e informó que ésta destruyó 30 cuadras de cafetales en la finca La Lucía (Sáenz, 1932).

Desde sus inicios, la naciente FNC se preocupó también por la sanidad del grano de café para exportación y fue así como en 1932 el Ministro de Industrias, Enrique Olaya Herrera, firmó el decreto No. 1474 para regular el almacenamiento de café en grano, bajo condiciones de humedad apropiadas y así librarlo del ataque de insectos o parásitos. Al respecto, Cabal informó más tarde sobre la magnitud de este problema en las bodegas de café y los costos incurridos por la Federación para controlar el gorgojo *Araecerus fasciculatus* en 1,3 millones de sacos de café (Cabal, 1956).

Rene Paul Roba, entomólogo al servicio de la FNC, en 1936 presentó el primer informe sobre la presencia del minador de la hoja del cafeto, *Leucoptera coffeellum*, detectado en cafetales en Colombia hacia 1924 (Roba, 1936 b; Cárdenas y Benavides, 1974). Este insecto, en esa época, causó alarma entre los caficultores del Quindío. Roba también registró en Norte de Santander la presencia de la escama verde, *Coccus viridis,* en muchos cafetales pero en niveles que no causaban daño económico. Este insecto lo observó asociado a la hormiga *Crematogaster* sp.

Más tarde, Roba hizo un reconocimiento sobre los insectos presentes en los cafetales del departamento de Caldas, y relacionó el minador, la escama verde, la escama circular, la hormiga arriera, las cochinillas asociadas a hormigas y el pulgón negro (Roba, 1937a). Roba también se interesó en el estudio de la asociación de hormigas con las cochinillas harinosas, y como consecuencia de sus estudios Horace Donisthorpe, del British Museum, describió la hormiga de la Esperanza como *Acropyga robae*, en su honor (Roba, 1937b).

En 1947 se creó la Sección de Entomología en Cenicafé y se encargó de ésta al entomólogo Nelson Delgado Montoya, bajo la asesoría de Luis María Murillo, entomólogo del Ministerio de Agricultura y Comercio. En la década del 50 la investigación entomológica en Cenicafé se concentró en estudiar el complejo simbiótico existente entre las cochinillas harinosas que afectaban las raíces y que se encuentran asociadas a las hormigas. Estos trabajos fueron conducidos por los entomólogos Rafael González Mendoza, Ramón Mejía Franco y Germán O. Valenzuela V. (González, 1951; Mejía, 1955; Valenzuela, 1956).

Para realizar una evaluación de las hormigas de Amagá y de la Esperanza en las plantaciones de café, el entomólogo de la Universidad de California, Stanley E. Flanders fue contratado en 1955 por la FNC. La conclusión de su estudio fue que ninguno de estos insectos revestía importancia económica para el cultivo del café (Flanders, 1956).

Estas investigaciones fueron complementadas con el estudio de las especies de hormigas relacionadas con las cochinillas, realizado por la francesa Madeleine Bazire del Centro de Investigaciones Científicas de París, quien estuvo en Colombia entre agosto y octubre de 1958 (Bazire, 1960), recomendada por el profesor Balachowsky, quien previamente había descrito la especie *Neochavesia (Chavesia) caldasiae* de especímenes colombianos (Balachowsky, 1957).

El perforador de las ramas del cafeto, *Xylosandrus morigerus* (Blandford), se encontró por primera vez en Colombia en 1957, en la vereda de Lomitas en Dagua, Valle del Cauca. Los reconocimientos posteriores indicaban que más de 800 ha se encontraban afectadas por la plaga en las regiones de Dagua, Bitaco y La Cumbre (Benavides, 1961). A raíz de la presencia de esta plaga la FNC contrató al holandés Johan G. Betrem para estudiar este insecto en compañía del entomólogo colombiano Marcial Benavides Gómez.

En 1971, Cenicafé inició la publicación de los Avances Técnicos. Por medio de ésta se mantiene la información a los cafeteros sobre los avances más importantes de la investigación en café, especialmente los de aplicación inmediata por parte de los cafeteros. El primer número de esta publicación ilustra sobre los ataques severos de la arañita roja del cafeto, en los municipios de Caldas, Risaralda, Quindío, Tolima, Cundinamarca, Valle del Cauca, Huila y Antioquia, los cuales se atribuyen a sequías severas en la zona cafetera durante los meses de junio a octubre de 1971.

En el año de 1969 se produjo una alarma nacional en la caficultura por el ataque de un gusano medidor que se encontró defoliando un cafetal en una finca de la vereda "El Guayabo" en Quimbaya, Quindío. Se pensó que se trataba de la especie exótica de origen africano *Ascotis selenaria*, sin embargo los taxónomos del Smithsonian en Washington, mediante los oficios de Arnold T. Drooz, la identificaron como *Oxydia vesulia* Cramer (Lepidoptera: Geometridae), considerada una especie nativa de la zona. Se sabe que las especies de *Oxydia* son de distribución Neotropical.

La población de *O. vesulia* cayó ostensiblemente, pero en 1971 apareció otra población en la misma finca, esta vez de la especie *O. hispata* Cramer, como predominante, y otras especies en menor escala como *O. trychiata* (Guenée), *O. obrundata* (Guenée) y *O. noctuitaria* Walker.

En 1973 Cenicafé contrató al entomólogo Reinaldo Cárdenas Murillo para que prestara asesoría a los extensionistas de la FNC en el manejo de insectos plaga. Su actividad inicial fue atender problemas de defoliadores de la familia Geometridae. En esa época se registraron nuevos brotes en fincas de La Tebaida, Montenegro, Buenavista, Calarcá y Armenia en el Quindío, con predominio de las especies *Paragonia procidaria* Herrich - Schaefer y *P. lanuginosa* Schaus. Un análisis de la fauna benéfica mostró que ésta era muy abundante y que los ataques se debían a prácticas en el cultivo que desfavorecían sus poblaciones. En las recolecciones de larvas y pupas se encontraron controladores naturales de los géneros *Apanteles* sp., *Cotesia* sp., *Protomicroplitis* sp. e *Iphiaulax* sp. (Hymenoptera: Braconidae), *Casinaria* sp. (Hymenoptera: Ichneumonidae). Algunos cafetales fueron tratados con *Bacillus thuringiensis* con resultados muy satisfactorios.

No se volvió a saber nada de los gusanos medidores hasta 1987, cuando un nuevo brote de *O. hispata* se produjo en la misma finca donde se denunció por primera vez, sin embargo fue controlado eficazmente con una aspersión de *B. thuringiensis.* En 1996 se registró otro ataque, esta vez de *P. procidaria* en Montenegro, el cual fue sometido por sus controladores naturales *Apanteles* sp. y *Casinaria* sp.

Fuera del Quindío, en 1978 se conoció de un brote de *Glena bisulca* (Rindge) en un cafetal vecino a un rodal de cipreses en Riosucio, Caldas. Esta misma situación se presentó en el 2002, en la vereda Barcelona Alta del municipio de Circasia en el Quindío, en cafetales aledaños a cipreses y eucaliptos defoliados por *G. bisulca*. Estos insectos al no tener otra fuente de alimento se supone migraron a los cafetales vecinos, y causaron en algunos una severa defoliación y en otros, obligó a los caficultores a su control inmediato para prevenir las pérdidas. Sin embargo, el brote sucumbió por la acción de parasitoides y un virus granuloso que afectó a esta plaga.

Esporádicamente se han presentado ataques de *Apicia* sp. (Lepidoptera: Geometridae) en cafetales de Arauca, Caldas. Estos cafetales venían siendo atacados por el minador de la hoja y controlados con insecticidas. Es muy probable que las aplicaciones de insecticidas hayan eliminado los insectos benéficos de estos defoliadores y permitieron que sus poblaciones se incrementaran libremente.

En 1977, en cafetales de las regiones de Sumapaz y Tequendama de Cundinamarca, se presentó por primera vez el ataque de la hormiga loca *Paratrechina fulva* (Mayr), un insecto que causa problemas al ganado y a los cosecheros. Este insecto es muy común en Brasil y fue introducido a Colombia para combatir las culebras y hormigas arrieras en algunos sitios, y de ahí se dispersó a otras áreas y causó graves problemas (Cárdenas, 1982). Brotes recientes de esta plaga, en el 2002, se presentaron en Caldas en cafetales de los municipios de Chinchiná y Palestina y causaron alarma entre los caficultores (Posada *et al*., 2002).

El primer registro formal de la cochinilla de las ramas del cafeto, *Planococcus citri,* se hizo en 1978 en Chinchiná en la Hacienda Naranjal, donde se encontró una rama con sus frutos cubiertos por colonias de este chinche harinoso. En marzo de 1985 se encontraron varios focos de este insecto en una finca de la región de Cambía, municipio de Risaralda, Caldas, y en dos fincas de Pereira (Cárdenas, 1983). Desde entonces, se ha seguido encontrando en otras áreas muy esporádicamente, pero en ningún caso con características de plaga.

En julio de 1988 se denunció la presencia de la broca del café, *H. hampei*, por un colono de la vereda Mateplátano, en el municipio de Tumaco, Nariño. Hacia mediados de agosto, una comisión de la FNC y del ICA realizó un reconocimiento del área sobre la margen derecha del río Mataje, límite con Ecuador. En las 15.400 hectáreas colonizadas por unas 35 familias, se encontraron unos 30.000 árboles de *Coffea canephora*, de los cuales unos 14.000 estaban en producción y la mayoría con presencia de la broca del café. Hacia marzo de 1989, se detectó la broca en cafetales de la vereda Yanancha, municipio de Ancuya, Nariño (Cárdenas y Posada, 2001).

Hypothenemus hampei es la plaga más importante que afecta el café en los países cafeteros a donde ha llegado. En Colombia, en un lapso de siete años, el insecto se encontraba distribuido en casi toda la zona cafetera (Bustillo *et al*., 1998). La presencia de la broca en Colombia trajo muchas consecuencias, como fue la alarma entre los caficultores y la reacción de la FNC para implementar estrategias con enfoques ecológicos y de sostenibilidad para afrontar el problema y evitar que los caficultores adoptaran prácticas de control irracionales e irrespetuosas con el ecosistema cafetero. Los estudios se enfocaron hacia el desarrollo de métodos de control con énfasis en agentes biológicos, que fueran compatibles en programas de manejo integrado de la broca y llevaran al caficultor al manejo integrado del cultivo, incluyendo prácticas agronómicas que redujeran o evitaran el incremento de poblaciones de la plaga. La broca del café hizo que la caficultura colombiana se tecnificara más y creó una mayor conciencia entre los caficultores sobre la conservación y sostenibilidad de la caficultura, para que continuara siendo exitosa en producción y competitividad en el mundo.

Además de los insectos y la arañita roja, es importante resaltar algunos ataques localizados causados por babosas y por arañas que se presentan en cafetales, estas últimas favorecidas por un uso indiscriminado de insecticidas, como consecuencia del afán por controlar la broca del café (Posada *et al.,* 2001; Cárdenas *et al*., 1997).

Este libro es un compendio de la información generada por la FNC por medio de su Centro Nacional de Investigaciones de Café-Cenicafé, y tiene por objetivo dar a conocer a los caficultores, extensionistas, profesionales del agro y estudiantes, la información más relevante sobre los problemas entomológicos que aquejan o pueden aquejar la caficultura colombiana, proporcionándoles las bases para un mejor entendimiento de esta problemática y las recomendaciones más apropiadas sobre su manejo. Se incluye también información básica sobre la Entomología, con el fin de que los neófitos puedan entender y comprender mejor el mundo de los insectos, su diversidad, biología, comportamiento y dinámica de sus poblaciones y así, asimilar mejor los conceptos del manejo de insectos plagas en la agricultura para hacerla más sostenible y competitiva en los mercados internacionales. Al final del texto se incluye un glosario, que abarca los términos técnicos utilizados, para que las personas que no están familiarizadas con ellos los puedan consultar.

El libro está dividido en secciones temáticas para agrupar en una forma lógica ciertos capítulos relacionados, la numeración de éstos es independiente de la Sección para poder hacer más fácil su localización. Es probable que en más de un capítulo se presenten temas ya tratados en otros, pero con esto se pretende que el lector pueda abordar el tema tratado con mayor facilidad. Un caso especial es el énfasis que a través de todo el libro se hace sobre la broca del café, debido a que es la plaga más importante de la caficultura y su alusión continuada permite una mayor comprensión de las diferentes estrategias planteadas para lograr la adopción del manejo propuesto.

Literatura citada

BALACHOWSKY, A. S. 1957. Sur un nouveau genre aberrant de cochenille radicicole myrmécophile nuisible au caféier en Colombie. Rev. Pathol. Vég. Entomol. Agr. (France), 36: 157-164.

BAZIRE, M. 1960. Hormigas coccidophilas de los cafetales en Caldas (Colombia). Nota Técnica. Revista Cenicafé, 11 (7): 221 – 233.

BENAVIDES G., M.; 1961. El *Xyleborus morigerus* Blandford en Colombia. Revista Cenicafé, 12 (1): 17 – 28.

BERGAMIN, J. 1943. Contribuição para o conhecimento da biologia da broca do café *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Col. Ipidae). Arquivos do Instituto Biologico, São Paulo, 14: 31-72.

BUSTILLO, A. E. 1991. La broca del café en Colombia y sus posibilidades de controlarla biológicamente. Revista Facultad de Ingeniería Agronómica (Ibagué), 2 (5): 33-34.

BUSTILLO, A. E.; CÁRDENAS, R.; VILLALBA, D.; BENAVIDES, P.; OROZCO, J.; POSADA, F. J. 1998. Manejo integrado de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) en Colombia. Chinchiná, Cenicafé, Editorial Feriva, Cali, Colombia. 134 p.

CABAL, C. A. 1956. Biología y control del gorgojo del café, *Araecerus fasciculatus* (De Geer). Rev. Facultad. Nacional de Agronomía, Medellín, 17 (49): 49 – 72.

CÁRDENAS, R. 1982. La hormiga loca. Avances Técnicos Cenicafé, No. 101, Chinchiná, Colombia 4 p.

CÁRDENAS, R. 1983. La arañita roja del cafeto, *Oligonychus yothersi*. Avances Técnicos Cenicafé, No. 110, Chinchiná, Colombia, 2 p.

CÁRDENAS, R. 1985. La palomilla de las ramas del cafeto, *Planococcus citri* (Risso). Avances Técnicos Cenicafé, No. 125, Chinchiná, Colombia, 2 p.

CÁRDENAS, R.; BENAVIDES G., M. 1974. El minador de la hoja del cafeto (*Leucoptera coffeella*). Avances Técnicos Cenicafé, No. 35, Chinchiná, Colombia. 4 p.

CÁRDENAS, R.; POSADA, F. J. 2001. Los insectos y otros habitantes de cafetales y platanales. Comité Departamental de Cafeteros del Quindío y Cenicafé. Armenia, Colombia. 120 p.

CÁRDENAS, R.; POSADA, F. J.; BUSTILLO, A. E. 1997. Daños causados por arañas en los cafetales. Avances Técnicos 242, Cenicafé, Chinchiná, Colombia, 4 p.

DONISTHORPE, H. 1936. *Acropyga (Rhizomyrma) robae* sp. n.; a new American ant with remarks on the genus. Entomologist, 69: 108 –111.

FLANDERS, S. E. 1956. Una evaluación de la situación de las hormigas en plantaciones de café colombiano. Revista Cafetera de Colombia, 12 (129): 4302 – 4310.

GONZÁLEZ M., R. 1951. Algunas consideraciones sobre el complejo simbiótico cóccido – hormiga del sistema radicular del cafeto. Revista Cafetera de Colombia, 10 (121): 3680 – 3690.

ICA. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. 2007. Resolución 293 de febrero 9 de 2007, por la cual se reglamentan los controles fitosanitarios a las importaciones de café. Bogotá, Colombia.

MEJÍA F., R. 1931. "La aracnosis del café". Revista Cafetera de Colombia, 3 (28): 1043 – 1045.

MEJÍA F., R. 1955. Plagas del cafeto en Colombia: la hormiga de Amagá. Revista Cafetera de Colombia, 12 (127): 4140 – 4147.

MURILLO, L. M. 1931. Los parásitos de café en el Departamento de Antioquia. Revista Cafetera de Colombia, 3: 943-949.

POSADA, F. J.; VÉLEZ, M.; HOYOS, J.; CÁRDENAS, R.; PELÁEZ, J. J. 2002. Reaparece la hormiga loca en la zona central cafetera. Avances Técnicos 302, Cenicafé, Chinchiná, Colombia. 4p.

POSADA, F. J.; CÁRDENAS, R.; ARCILA, J.; GIL, F.; MEJÍA, C. G. 2001. Las babosas causantes del anillado del tallo del cafeto. Avances Técnicos 289, Cenicafé, Chinchiná, Colombia, 8 p.

ROBA, R. P. 1936a. "La hormiga de Amagá". Revista Cafetera de Colombia, 6: 2023 – 2034.

ROBA, R. P. 1936b. El minador de las hojas del cafeto *Leucoptera coffeella* Guer. Revista Cafetera de Colombia, 6: 2035 – 2039.

ROBA, R. P. 1936c. La escama verde del cafeto: *Coccus viridis* Green. Revista Cafetera de Colombia, 6: 2087– 2091.

ROBA, R. P. 1937a. Situación entomológica de los cafetales del Departamento de Caldas. Revista Cafetera de Colombia, 6: 218 – 2185.

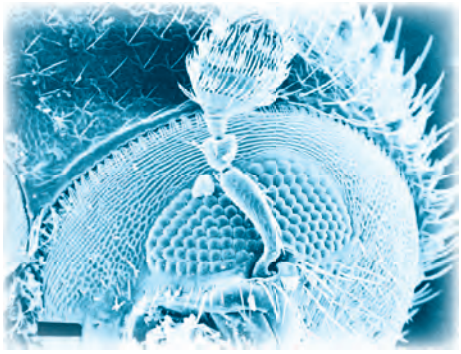
ROBA, R. P. 1937b. La hormiga de Amagá. (Notas suplementarias). Revista Cafetera de Colombia, 6: 2128 – 2130.

SÁENZ, N. 1893. Memoria sobre el cultivo del cafeto. O Guía para la Fundación de un cafetal en Colombia. 4a edición, Casa editorial de J. J. Pérez – Director F. Ferro, Bogotá, 183 p.

SÁENZ MORENO, J. 1932. La aracnosis del cafeto. Revista Cafetera de Colombia, 4 (38 y 39): 1476.

VALENZUELA V, G. O. 1973. Reseña histórica de la entomología económica en Colombia. *In:* Memorias del I Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología, mayo 24 – 25 de 1973, Bogotá, Colombia, p. 8 - 35

VALENZUELA V., G. O. 1956. Anotaciones sobre la morfología de la hormiga de Amagá (*Rhizomyrma furhmanni* Forel) y hormiga de la Esperanza (*Rhizomyrma robae* Donisch.). Centro Nacional de Investigaciones de Café, Chinchiná, Colombia. Boletín Informativo, 7 (74): 55 – 62.



CAPÍTULO 2

Características de la clase insecta

Alex Enrique Bustillo Pardey; Zulma Nancy Gil Palacios

Los Insectos son organismos invertebrados pertenecientes al Phyllum Arthropoda (de arthros = articulación; y podos = patas), Clase Hexapoda, diferenciándose fundamentalmente de las otras clases de artrópodos por tener tres pares de patas y el cuerpo dividido en tres segmentos. El cuerpo es duro y las articulaciones son blandas, lo que les permite tener movimientos, ya sea de sus patas, antenas u otros apéndices. Habitan gran parte del planeta, lo que han logrado debido a su gran capacidad de adaptación a todos los hábitats. En esta obra nos referiremos como plagas de los ecosistemas cafeteros no solo a los insectos sino también a otros organismos artrópodos como arañas y ácaros, que pueden convertirse en plagas del cafeto.

La clase Hexapoda o Insecta se conoce desde el período Carbonífero, que comenzó hace 350 millones de años. De la era Paleozoica quedan impresiones de libélulas gigantescas, hasta de 75 cm, seguramente el primer animal capaz de volar. Estos especímenes se lograron conservar debido a que la libélula muerta quedó cubierta de barro blando, que al secarse la presionó y calcó su forma: es así que cuando el barro se convirtió en piedra, quedó en ella una vívida imagen del animal desaparecido.

En la región del mar Báltico se han conservado insectos del Terciario bien preservados en gotas de ámbar. Para llegar a ese estado de conservación, los insectos debieron quedar adheridos y envueltos en la resina que brota de ciertas coníferas; esa resina también se volvió fósil dando lugar al ámbar. Es así como los animales se conservan perfectamente a lo largo de los tiempos geológicos, manteniendo su color, forma, tamaño y brillo.

Los insectos comprenden el grupo de animales más diverso que habita la Tierra, con más de 800.000 especies de insectos descritas, superando todas las restantes del reino animal, y que constituyen 3/4 partes de la vida del planeta. Excepto en las regiones polares y en los océanos, hay insectos por todas partes: en pantanos y desiertos, sobre los árboles y bajo la tierra, en todos los ambientes, incluyendo el ambiente artificial de las viviendas humanas. Hay aproximadamente 5.000 especies de libélulas, 20.000 de saltamontes, 170.000 de mariposas y polillas, 120.000 de moscas, 82.000 de chinches, 350.000 de escarabajos, y 110.000 especies de abejas y hormigas.

Convivimos con los insectos sin darnos cuenta, los odiamos cuando se comen la ropa, los libros, los muebles, o cuando interrumpen el sueño con su zumbido. Les tememos por sus picaduras que además de doler, pueden transmitir enfermedades. Los combatimos cuando, llevados por su instinto, pretenden arruinar nuestras cosechas y nuestra comida.

Sin embargo, proporcionan muchos beneficios a la humanidad como son la producción de algunos bienes como la miel, la cera, la seda, e incrementan la productividad de los cultivos a través de la polinización; nos ayudan en el control de otros insectos dañinos combatiéndolos; mejoran la estructura de los suelos y descomponen materia orgánica haciéndola asimilable. Muchos de ellos han servido de modelos para la sociedad en que vivimos, como son los insectos sociales (abejas, termitas, hormigas), otros han sido la base para avances en la genética como las especies de *Drosophila*, o para la síntesis de productos resultantes

de su metabolismo para su control y manejo, y otros tantos se han utilizado como modelos o ejemplos recreativos en la ciencia-ficción de nuestra sociedad.

Quizás sin saberlo, consumimos insectos todos los días. La Agencia para Alimentos y Drogas de los Estados Unidos (FDA) admite, por ejemplo, hasta 75 fragmentos de insectos en 55 mililitros de chocolate caliente, y hasta 60 pulgones en una porción de brócoli congelado. Los espárragos enlatados normalmente van con trips. Hay unas 2.000 especies de insectos que, debidamente procesados, el hombre puede ingerir sin problema como son: abejas, hormigas, gusanos mojojoy, moscas, grillos, etc. Según la Biblia, San Juan Bautista sobrevivió en el desierto comiendo saltamontes y miel salvaje. A Aristóteles le encantaban las cigarras. Las termitas asadas son el plato predilecto de muchos africanos. En las calles de México es común ver consumir chapulines (langostas) y chinches tostadas. En Paraguay, los indios guaraníes ingieren larvas de escarabajos y en Colombia se consume la hormiga culona, *Atta laevigata*. Son sólo unos ejemplos entre muchos.

Por su número, distribución y resistencia, los insectos parecen ser los animales más aptos para sobrevivir en caso de una catástrofe planetaria. Muchos científicos opinan que cuando el hombre, los mamíferos, las aves y los reptiles no encuentren condiciones para la vida, los insectos o al menos, unos cuantos de ellos, seguirán respirando, alimentándose y reproduciéndose en nuestro planeta. Pero cada día hay más certeza de que los insectos serán esenciales para la prolongación de la especie humana, en especial por su valor alimenticio.

Los insectos son parte esencial de la vida en este planeta y una expresión muy rica de la naturaleza que merece ser conocida y entendida. La ciencia que estudia los insectos se denomina Entomología (entomo = insecto; logos = tratado).

Anatomía de los insectos

Se han descrito más de 800.000 especies de insectos, y son incalculables las que todavía faltan por conocer, hay entre ellos una gran variedad; sin embargo, existen características comunes que los definen (Figura 2.1) como son: el cuerpo dividido en cabeza, tórax y abdomen, presencia de tres pares de patas, uno o dos pares de alas, aunque unos pocos son ápteros, un par de antenas, presentan exoesqueleto, simetría bilateral y tamaño pequeño. A continuación se hace una descripción de las características de los insectos que los separan de otros artrópodos (Borror *et al*. 1992).

División del cuerpo

El cuerpo de los insectos está formado por tres regiones principales llamadas **tagmas**, con funciones claramente diferenciadas, éstas son: la cabeza, el tórax y el abdomen (Figura 2.1). El tamaño relativo de estas partes entre sí es muy variable. El cuerpo o integumento de los insectos, está principalmente compuesto de quitina, lo que les da la característica, en general, de un cuerpo duro y lustroso.

La cabeza

El primer tagma es la cabeza, que contiene los órganos sensoriales: dos antenas segmentadas, de diverso tipo; y los ojos son simples o compuestos. Los ojos simples se denominan ocelos y son normalmente tres, se presentan en larvas, ninfas y en algunos adultos. Los ojos compuestos están formados por varios o muchos ocelos denominados ommatidios, son siete en ciertas hormigas, 4.000 en mosquitos y 12.000 en mariposas. Los ojos compuestos los poseen generalmente los insectos adultos.

En la cabeza también está el **aparato bucal** compuesto de piezas móviles que se articulan en la parte inferior de la cabeza, destinadas a la alimentación; trituran, roen o mastican los alimentos sólidos o duros

y absorben líquidos o semilíquidos. Las partes bucales son las siguientes (Borror *et al*., 1992; Chapman, 1971):

- **Labro o labio superior:** es de forma variable con movimientos para arriba y para abajo, es la tapa de la boca, se articula con el clípeo. En su parte interna está localizada la epifaringe, que no es una pieza libre, está levemente esclerosada y se localiza en la parte interna y ventral del labro y su función es gustativa. El labio en contraposición del labro es la parte inferior del aparato bucal.

- **Mandíbulas:** son dos, sencillas, y están dispuestas lateralmente atrás del labio superior, están articuladas y son resistentes y esclerosadas. Su función es masticar, triturar o lacerar los alimentos. En algunos adultos pueden faltar, y son vestigiales o no están presentes en la totalidad de los lepidópteros y efemerópteros.

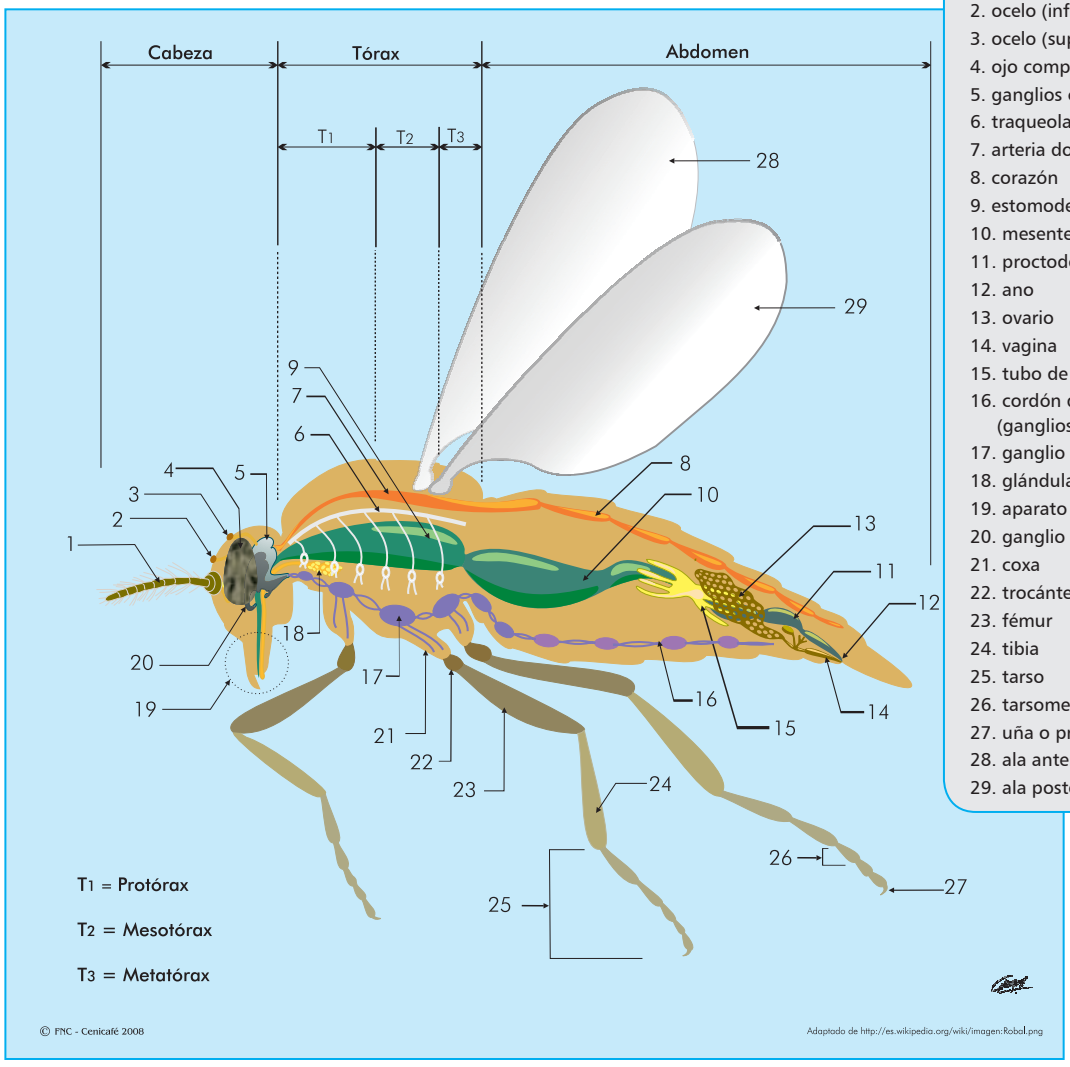


Figura 2.1. Esquema de la anatomía de un insecto.

- **Maxilas**: también son dos, situadas detrás de las mandíbulas. Articuladas en la parte lateral inferior a la cabeza, son piezas auxiliares durante la alimentación. La **hipofaringe** es una estructura saliente, localizada en la parte media del aparato bucal con función gustativa, se asemeja a la lengua.

Tipos de aparato bucal en insectos.

El aparato bucal de los insectos ha evolucionado para adaptarse a la ingestión de diferentes tipos de alimentos, en diferentes formas. Estos se agrupan comúnmente de acuerdo con su función (Triplehorn *et al.,* 2005; Nieto y Mier, 1985; Atkins, 1978):

- **Masticador**. Este tipo de aparato bucal, funciona haciendo uso de varios apéndices. Las mandíbulas cortan y trituran los alimentos sólidos y las maxilas y el labio los empujan hacia el esófago (Figura 2.2a). Son comunes en Orthoptera, Coleoptera, Collembola, Odonata, Blattaria y larvas de Lepidoptera. El tipo masticador se considera el más primitivo y a partir de éste se han desarrollado los otros tipos.

- **Cortador-chupador**. Este tipo de aparato bucal se encuentra en el orden Diptera en la familia Tabanidae, comúnmente conocidos como tábanos y en algunos otros dípteros (Figura 2.2b). Las mandíbulas se presentan en forma de hojas afiladas y las maxilas en forma de largos estiletes sonda. Ambas cortan y desgarran el tegumento de los mamíferos, haciendo fluir la sangre de la herida. Esta sangre es recogida por la protuberancia esponjosa del labio y conducida al extremo de la hipofaringe. La hipofaringe y la epifaringe se ajustan para formar un tubo a través del cual la sangre es aspirada hacia el esófago.

- **Chupador**. Un gran número de moscas entre ellas *Musca domestica*, presentan este tipo de aparato bucal adaptado sólo para la ingestión de alimentos líquidos o fácilmente solubles en saliva (Figura 2.2c). Este tipo es el más similar al cortador chupador, pero las mandíbulas y las maxilas no son funcionales, y

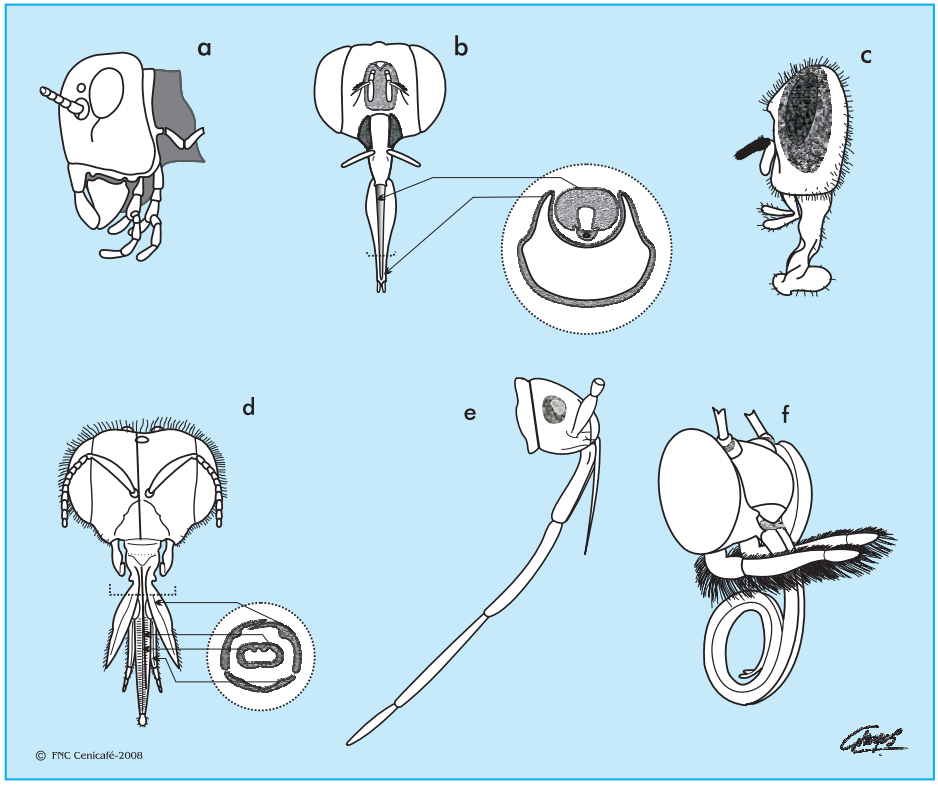


Figura 2.2. a. Aparato bucal masticador típico de los insectos; **b.** Aparato bucal cortador chupador de *Stomoxys calcitrans*; **c.** Aparato bucal chupador de la mosca común, *Musca domestica*; **d.** Aparato bucal masticador lamedor de una abeja *Apis mellifera*; **e.** Aparato bucal picador-chupador, típico de una chinche Hemiptera; **f.** Aparato bucal tipo sifón del orden Lepidoptera.

las partes restantes forman una probóscide con un ápice en forma de esponja (labelo). Ésta se introduce en los alimentos líquidos que son conducidos hacia el canal alimenticio por diminutos canales capilares existentes en la superficie del labelo. El canal alimenticio también está formado en este tipo de aparato bucal por la trabazón alargada de la hipo y epifaringe, que forman un tubo hacia el esófago. Ciertos alimentos sólidos como el azúcar, pueden comerlos las moscas con este aparato bucal, debido a que la mosca arroja una gota de saliva, que disuelve el alimento y luego la solución es succionada hacia la boca en forma líquida.

- **Masticador-lamedor**. Otro tipo de aparato bucal adaptado para la absorción de líquidos se encuentra en las abejas y las avispas, como es el caso de *Apis mellifera*. Las mandíbulas y el labro son de tipo masticador y las emplean para sujetar las presas y para amasar la cera u otros tipos de materiales con que construyen sus nidos (Figura 2.2d). Las maxilas y el labio forman una serie de estructuras deprimidas y alargadas, de las cuales, una de ellas forma un órgano extensible acanalado. Este último se emplea como una sonda para llegar a los profundos nectarios de las flores. Las otras lengüetas de las maxilas y el labio forman una serie de canales por los que desciende la saliva y asciende el alimento. O sea que por acción capilar, a través del canal central de la glosa, el insecto absorbe la savia. Este tipo de aparato bucal se encuentra comúnmente en el orden Hymenoptera.

- **Picador-chupador**. Muchos grupos de insectos presentan este tipo de aparato bucal, que ha sido modificado para penetrar los tejidos de plantas y animales, y chupar su savia y jugos (Figura 2.2e). Es típico en el orden Hemiptera, en pulgones, chinches, cochinillas, chicharras, en insectos predadores de muchas clases, y de piojos y pulgas que chupan la sangre de mamíferos y aves. En este grupo, el labro, las mandíbulas y las maxilas son delgados y largos, y se reúnen para formar una delicada aguja hueca. El labio forma una vaina robusta que mantiene rígida esta aguja. La totalidad del órgano se llama pico. Para alimentarse, el insecto aprieta la totalidad del pico contra el huésped, inserta de esta forma la aguja en el interior de los tejidos del mismo y chupa sus jugos a través de la aguja, hasta el interior del esófago.

- **Sifón**. Los lepidópteros adultos se alimentan del néctar y otros alimentos líquidos. Éstos son succionados por medio de una larga proboscis o espiritrompa que desemboca en el esófago (Figura 2.2f).

El Tórax

El segundo tagma es el tórax, es la región media del cuerpo y está compuesto por tres segmentos denominados: **protórax, mesotórax** y **metatórax**. En cada segmento hay un par de patas, y cuando las alas están presentes salen del meso y metatórax. Algunos insectos adultos son ápteros y, muchos insectos inmaduros y unos pocos adultos son ápodos.

El tórax está unido a la cabeza por una región membranosa ubicada en el cuello,denominada la cerviz. Generalmente, a cada lado del cuello se encuentran uno o dos escleritos pequeños, los cuales unen la cabeza con el protórax.

Cada segmento torácico está compuesto de cuatro grupos de escleritos. El noto dorsalmente, las pleuras lateralmente y el esternón ventralmente. Cualquier esclerito torácico puede estar localizado en un segmento particular usando los prefijos apropiados: pro-, meso- y meta-. Por ejemplo, el noto del protórax se denomina Pronoto.

Los notos del mesotórax y metatórax están frecuentemente subdivididos por suturas, en dos o más escleritos cada uno. La pleura es un segmento portador de alas, forma un proceso alar-pleural, que sirve como sostén para el movimiento del ala. En cada lado del tórax se localizan dos aberturas en forma de hendiduras, una entre el protórax y el mesotórax, y la otra entre el meso y el metatórax. Estas aberturas son los ''estigmas'', o sea las aberturas externas del sistema respiratorio (Coronado y Márquez, 1972; Osuna, 1995).

El Abdomen

El tercer tagma es el abdomen, el cual posee típicamente 11 segmentos; sin embargo, el último segmento es muy reducido y está representado por apéndices, de modo que los segmentos aparentan no ser más de diez. Los segmentos genitales pueden contener estructuras asociadas con las aberturas externas de los conductos genitales; en el macho estas estructuras se relacionan con la cópula y la transferencia de esperma a la hembra; y en las hembras están relacionados con la oviposición.

En su gran mayoría los insectos son ovíparos; se reproducen mediante huevos que ponen sus hembras. Poseen aparato digestivo completo, integrado por los intestinos, anterior (estomodeo), medio (mesenterón) y posterior (proctodeo). Su sistema circulatorio es abierto, y lo constituye la aorta, el corazón y la hemolinfa. El sistema respiratorio lo integran las tráqueas y las traqueolas, derivadas del exoesqueleto. Su sistema excretor lo forman los tubos de Malpighi, anexos al aparato digestivo (Figura 2.1). En la punta del abdomen puede haber apéndices de valor taxonómico, denominados cercos, los cuales surgen del décimo segmento (Chapman, 1971; Borror *et al*., 1992).

Los insectos presentan sexos separados y muy diferenciados morfológicamente entre sí, y en la mayoría de los casos el macho es más pequeño y de coloración más llamativa que la hembra. En algunas especies no se conocen machos. Se reproducen normalmente por vía sexual, y en algunos casos también se pueden reproducir mediante partenogénesis (asexualmente). Los huevos pueden ser colocados solitarios o en grupos, a veces dentro de una estructura protectora llamada ooteca, como en el caso de las cucarachas, u ovisaco en algunas cochinillas (Chapman, 1971; Wigglesworth, 1972).

Hexápodos

Los insectos pertenecen a la clase Hexapoda, debido a que sus estados adultos presentan tres pares de patas, aunque no siempre del mismo tamaño. Los grillos poseen formidables patas traseras, en tanto, que las delanteras de ciertas mariposas son casi invisibles y apenas útiles.

Las patas en los insectos presentan variaciones que se utilizan mucho en su taxonomía. La típica pata de un insecto consta de cinco partes (Figura 2.3): coxa, trocánter, fémur, tibia y tarso. La **coxa**, es el segmento basal; el **trocánter**, es un segmento pequeño, que sigue a la coxa; el **fémur**, es el primer segmento largo de la pata; y la **tibia**, es el segundo segmento largo de la pata.

El tarso, está compuesto por una serie de pequeños segmentos, **tarsómeros**, después de la tibia. El número de segmentos tarsales en los insectos varía de uno a cinco. Generalmente, el último segmento tarsal contiene un par de garras o **uñas**, conocidas como **apolios**, y frecuentemente, posee una o más estructuras en forma de almohada llamadas **pulvilos**, entre o en la base de las uñas (Triplehorn *et al.,* 2005; Nieto y Mier 1985).

Las patas presentan muchas modificaciones, dependiendo de los hábitos que han desarrollado (Triplehorn *et al.*, 2005; Chapman, 1971; Coronado y Márquez, 1972):

- **Tipo saltador** (Figura 2.3), son patas largas y con fémures engrosados, típicas en los órdenes: Orthoptera, Siphonaptera y Hemiptera.

- **Tipo corredor** (Figura 2.4a), son largas y delgadas, como en algunos Coleoptera y Blattaria.

- **Tipo raptora** (Figura 2.4b), patas adaptadas para capturar presas, como en el orden Mantidae.

- **Tipo cavadora** (Figura 2.4c), principalmente son insectos de hábitos subterráneos. Coleoptera (Melolonthidae).

- **Tipo colectora** (Figura 2.4d), adaptadas para el transporte de polen por algunos insectos como abejas y abejorros (Hymenoptera).

Tipo nadadora (Figura 2.4e), se encuentran en insectos acuáticos de las familias Dytiscidae, Gyrinidae y Belastomatidae.

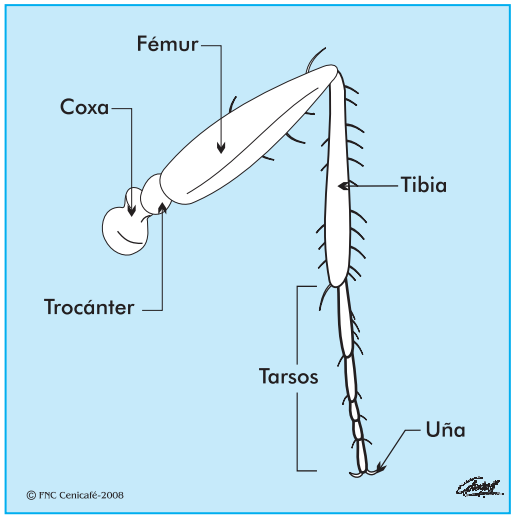


Figura 2.3. Pata típica de un insecto mostrando los diversos segmentos que la componen (Tipo saltador).

Exoesqueleto

Los mamíferos, los peces, las aves y los reptiles son vertebrados, porque tienen espina dorsal o columna vertebral. Los insectos, en cambio, no tienen esqueleto interno o endoesqueleto. La parte de afuera, llamada **tegumento,** es una especie de "coraza" que sirve de protección y de sostén para sus músculos y demás órganos, y es el **exoesqueleto** o esqueleto externo, que también cumple otra función y es evitar la pérdida de humedad del insecto (Wigglesworth, 1972; Osuna, 1995).

Alas

Generalmente, los insectos son alados y poseen dos pares de alas, pero algunos son ápteros, y en familias como Diptera sólo poseen un par de alas. Muchos insectos han perdido la capacidad de volar, pero aún poseen las alas. Otros insectos las usan permanentemente como las moscas, que tienen un solo par desarrollado, o las libélulas, que poseen dos pares. Las alas varían mucho en tamaño, forma, textura, nervaduras y en la posición en que se mantienen en reposo. Pueden tener escamas (como en las mariposas) o estar transformadas en un par de duros élitros más un par de alas membranosas (como en los escarabajos). Cuando las alas están algo endurecidas, se denominan **tegminas**, y están presentes en grillos, angostas y cucarachas. Cuando las alas están totalmente endurecidas o quitinizadas, se denominan **élitros**, y quienes las portan son escarabajos del orden Coleoptera. También hay insectos sin alas, entre ellos están las pulgas y los piojos.

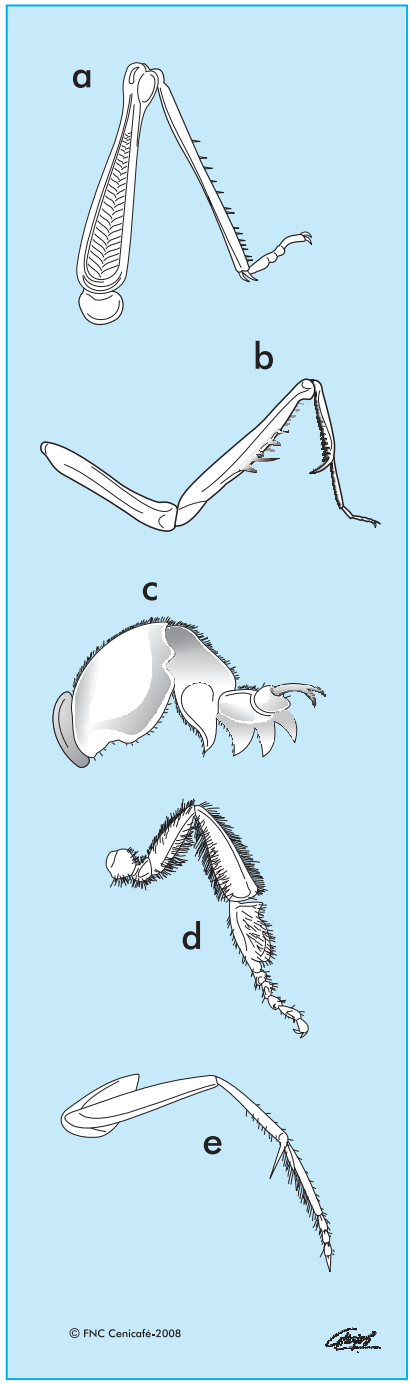


Figura 2.4. Tipos de patas en insectos: **a**. corredor; **b**. raptora; **c**. cavadora; **d**. colectora; **e**. nadadora.

Las alas de los insectos son evaginaciones de la pared del cuerpo, localizadas dorso-lateralmente entre los notos y las pleuras. La base del ala es membranosa, esto hace posible su movimiento. La mayoría de los insectos son capaces de doblar las alas sobre el abdomen cuando están en reposo, pero los grupos más primitivos, como las libélulas, no pueden hacerlo y, mantienen las alas extendidas hacia afuera o reunidas encima del cuerpo.

Algunos insectos como grillos y langostas machos, son capaces de producir un sonido característico, cuando friccionan las dos alas anteriores entre sí, o las alas anteriores con las patas posteriores. Muchos insectos como las moscas y abejas, mueven las alas tan rápidamente que se produce un zumbido.

Antenas

La presencia de antenas es característica de los insectos, son apéndices móviles multiarticulados. Los insectos adultos y la mayoría de las larvas, presentan un par de antenas, éstas están conformadas por un número variable de **artejos** o **antenómeros**. En las antenas se distinguen tres partes, las dos primeras son únicas y uniarticuladas, y la tercera, posee un número variable de antenómeros que se denominan respectivamente: **escapo, pedicelo** y **flagelo o funículo**.

La función de las antenas es eminentemente sensorial. La función **táctil** es la principal, gracias a los pelos táctiles que recubren casi todos los artejos; también desempeñan una función **olfativa**, proporcionada por áreas olfativas en forma de placas cribadas de poros microscópicos, distribuidas sobre la superficie de algunos antenómeros terminales. Finalmente, pueden tener una función **auditiva** y a veces, una función **prensora** durante la cópula, al sujetar a la hembra. Las antenas son fundamentales en la comunicación entre insectos y el reconocimiento de otras especies y hábitats, a través de semioquímicos (Wigglesworth, 1972).

Diferentes tipos de antenas en insectos. Las antenas corresponden a un par de apéndices con segmentos móviles que se encuentran entre los ojos compuestos de los insectos. Estos apéndices son muy variados en cuanto a formas y tamaños (Triplehorn *et al*., 2005; Chapman, 1971; Atkins, 1978). Entre las formas más comunes se encuentran las antenas:

Filiformes, en forma de hilo, se encuentran en langostas, grillos y mántidos (Figura 2.5a).

Lameladas, en forma de láminas, en Coleoptera (Melolonthidae) (Figura 2.5b).

Setáceas, en forma de pelo, se observan en algunos Hymenoptera (Figura 2.5c).

Aserradas, en forma de sierra como en Buprestidae (Figura 2.5d).

Capitadas, terminan en una porra, presentes en muchos Coleoptera (Figura 2.5e).

Pectinadas, en forma de peine, se encuentran en Lucanidae y Coleoptera (Figura 2.5f).

Moniliformes, en formas de cuentas de rosario, en Isoptera (Figura 2.5g).

Geniculadas, en forma de codo, en algunos Coleoptera (Figura 2.5h).

Setiformes, terminan en una seta como en algunos Odonata (Figura 2.5i).

Clavadas, terminan en el ápice en forma engrosada, en algunos Lepidoptera (Figura 2.5j).

Flabeladas, terminan en forma de un abanico, comunes en Sandalidae. (Figura 2.5k).

Aristadas, terminan en una arista, comunes en Muscidae (Figura 2.5l).

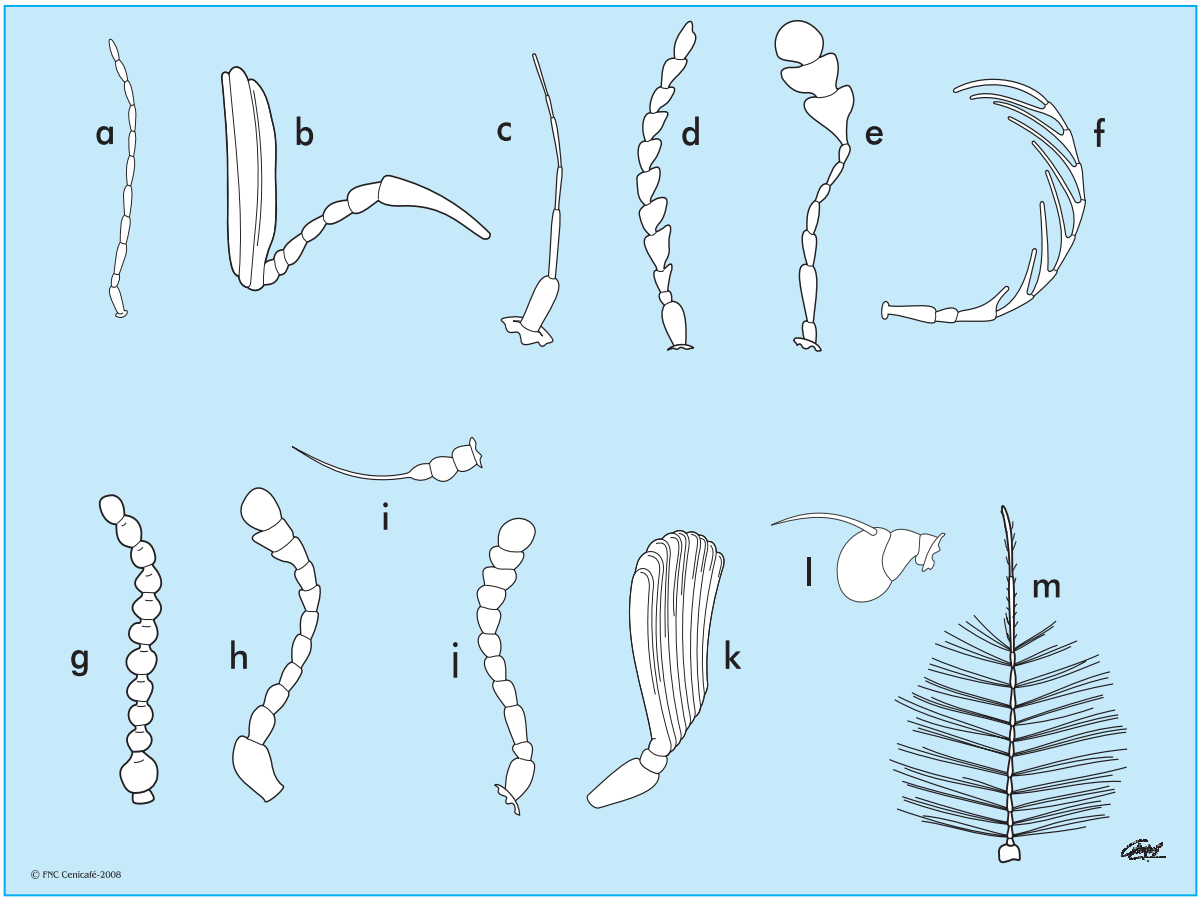


Figura 2.5. Tipos de antenas en insectos: **a.** filiforme; **b.** lamelada; **c.** setácea; **d.** aserrada; **e.** capitada; **f.** pectinada; **g.** moniliforme; **h.** geniculada; **i.** setiforme; **j.** clavada; **k.** flabelada; **l.** aristada; **m.** plumosa.

Plumosas, con setas a lo largo de ambos lados de la antena, se presenta comúnmente en Culicidae (Figura 2.5m).

Simetría bilateral

Los insectos siempre tienen a través de una línea meridional longitudinal, mitades totalmente correspondientes.

Tamaño pequeño

Comparados con los animales de sangre caliente, como aves y mamíferos, los insectos son, en general, diminutos. Miden pocos centímetros o menos de un centímetro. Algunos son difíciles de distinguir a simple vista.

Metamorfosis de los insectos

La metamorfosis es un proceso de desarrollo postembrionario, mediante el cual los insectos alcanzan su fase adulta o imago. Según el tipo de metamorfosis que presentan los insectos se pueden agrupar en: Apterygota y Pterygota (Wigglesworth, 1972; Chapman, 1971; Borror *et al.,* 1992).

Apterygota

En este grupo se encuentran los insectos llamados **ametábolos** o sin metamorfosis, como son los insectos de las familias: Protura, Diplura, Collembola y Thysanura. En éstos los juveniles no se diferencian de los adultos, salvo por la madurez sexual y el tamaño.

Pterygota

En este grupo se encuentran los insectos que presentan metamorfosis, son los llamados metábolos. Los insectos que poseen metamorfosis incompleta se denominan hemimetábolos, y aquellos con metamorfosis o completa se conocen como (holometábolos).

- **Hemimetábolos**: Metamorfosis gradual en la cual las tecas alares y los órganos sexuales se van desarrollando poco a poco; si bien las diferentes fases juveniles son semejantes entre sí y el adulto, los cambios en la última muda son más marcados (por ejemplo: aparición de alas).

- **Holometábolos**: Metamorfosis completa (huevo, larva, pupa e imago), en la cual los tejidos del adulto se originan a partir de grupos especiales de células llamadas imaginales, durante una fase del ciclo de vida conocida como pupa.

Ciclo de vida de un insecto holometábolo

Los insectos holometábolos pasan por los estados de huevo, larva, pupa y adulto (Figura 2.6).

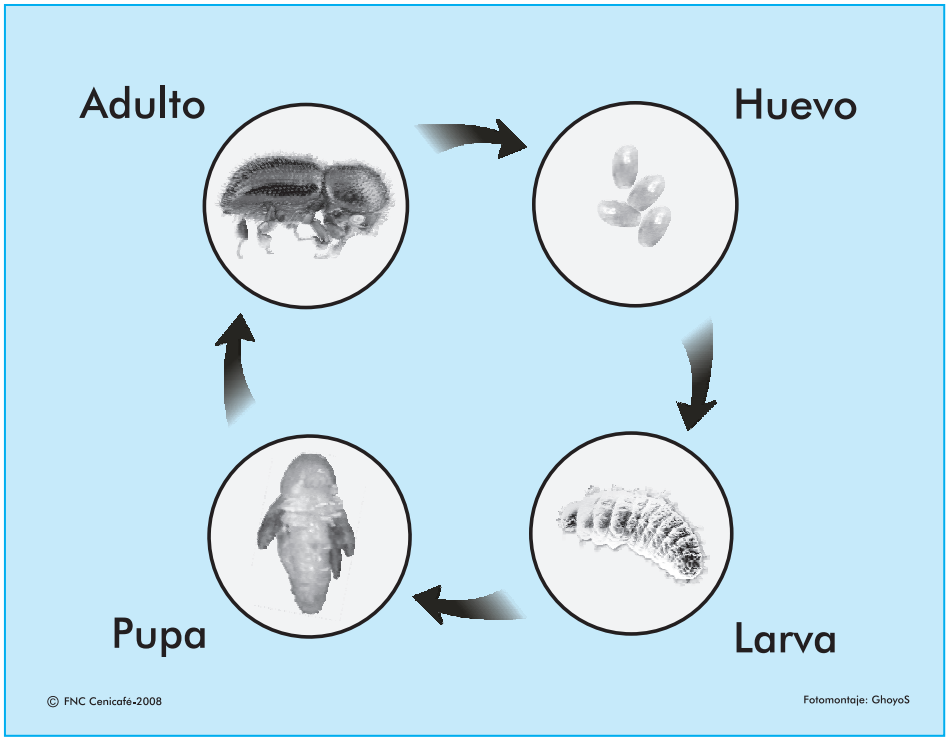


Figura 2.6. Ciclo de vida general de un insecto holometábolo.

Características de los diferentes estados de los insectos holometábolos

Huevos. La mayoría de los insectos se reproducen por **huevos**, son ovíparos, pero también pueden presentar otros mecanismos de reproducción como la partenogénesis, dando lugar a huevos que no son viables. Los insectos pueden depositar los huevos en el suelo, bajo cortezas, piedras, sobre el agua, ramillas, hojas, frutos, etc. Algunos también los introducen en los tejidos vegetales, y otros sobre o dentro del cuerpo de los hospedantes. Los huevos son de formas variadas y pueden ser: **esféricos**, **ovalados**, **cónicos** o **aplanados**, de superficie **lisa** o **estriada**, entre otros, y su coloración también es variable (Figura 2.7).

Larva. El estado larval se caracteriza por ser muy activo y en muchos casos, presentan un aparato bucal masticador.

Tipos de larvas: En los insectos se encuentra una gran variedad de larvas (Coronado y Márquez, 1972; Nieto y Mier, 1985; Chiesa Molinari, 1942) algunas de éstas son:

- **Polípodas:** Poseen cuerpo cilíndrico, con tres pares de patas torácicas, y de tres a siete esperipedios o seudopatas (Figura 2.8a).

- **Oligópodas**: Poseen tres pares de patas torácicas más o menos desarrolladas, pero sin apéndices abdominales (Figura 2.8b).

- **Ápodas**: Estas larvas no tienen patas y algunas tienen la cabeza bien desarrollada (Figura 2.8c).

- **Eucéfalas**: Poseen una cabeza pequeña, parcialmente unida al tórax (Figura 2.8d).

- **Acéfalas**: No presentan cápsula cefálica (Figura 2.8e).

Pupa. Es un estado inmóvil, en el cual el insecto no se alimenta. En este estado, el insecto sufre una serie de transformaciones, que dan origen al adulto.

Tipos de pupas: Se pueden encontrar los siguientes tipos de pupas:

- **Obtecta**: En este tipo de pupa los apéndices están protegidos por una envoltura, a la cual se le denomina crisálida (Figura 2.9a).
- **Exarata**: Los apéndices se encuentran libres y son visibles todas las partes del cuerpo (Figura 2.9b).
- **Coartada**: En este tipo, la pupa se forma dentro de la última exuvia de la larva, la que constituye el pupario y se ocultan todas las estructuras exteriores del futuro imago (Figura 2.9c).

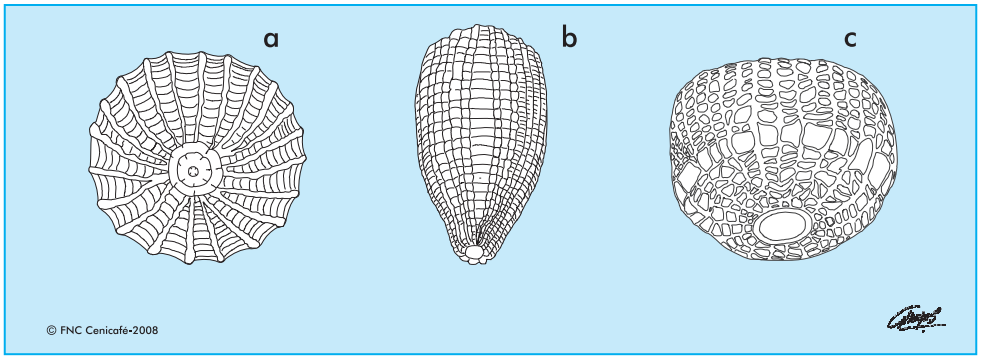


Figura 2.7. Formas de huevos de insectos, **a.** esféricos; **b.** cónicos; **c.** aplanados.

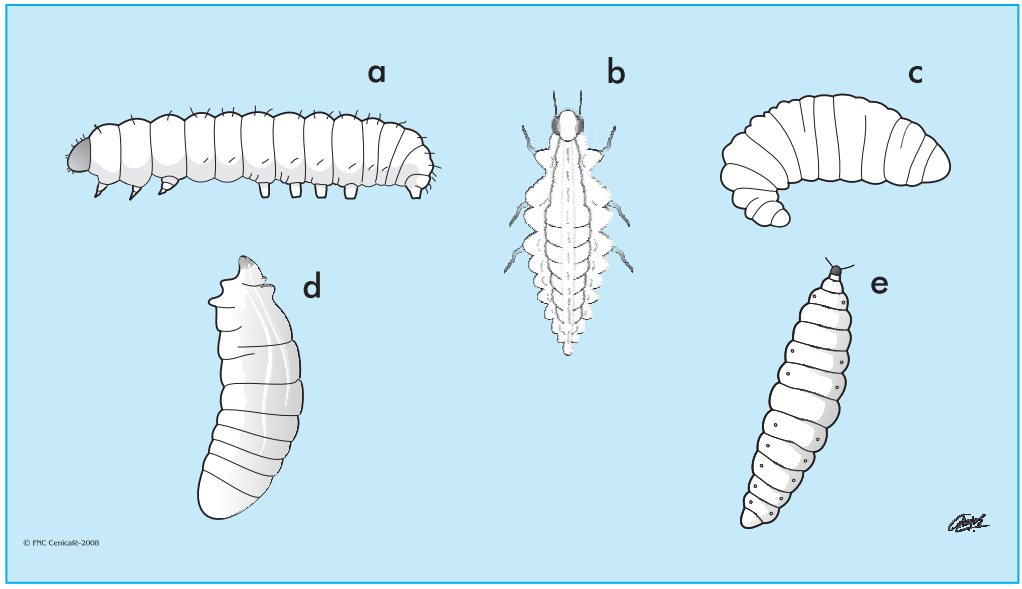


Figura 2.8. Larvas de insectos. **a.** Polípoda; **b.** Oligópoda; **c.** Ápoda; **d.** Eucéfala; **e.** Acéfala.

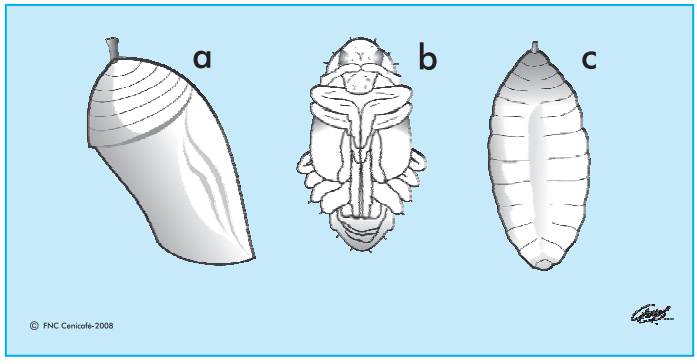


Figura 2.9. Tipos de pupas. **a.** Obtecta; **b.** Exarata; **c.** Coartada.

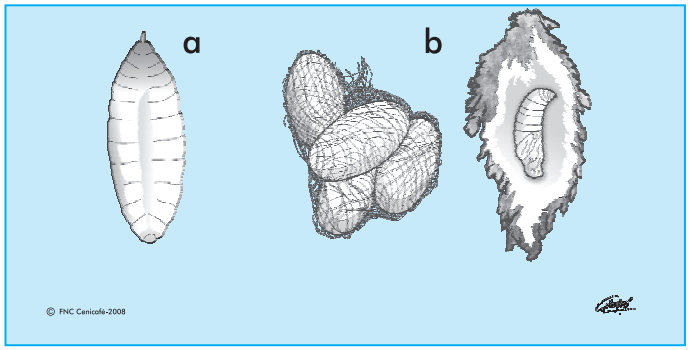


Figura 2.10. Clasificación de las pupas dependiendo de la protección. **a.** Desnuda; **b.** Protegidas.

Dependiendo de la **protección** que poseen las pupas también se pueden clasificar en:

Desnudas: En éstas el tegumento es más esclerotizado (Figura 2.10a).

Protegidas: Las pupas se cubren con un capullo (Figura 2.10b).

Hábitos alimenticios de los insectos

En relación con los hábitos alimenticios (Borror *et al.* 1992, Chiesa Molinari 1946), los insectos se pueden clasificar en:

Xilófagos: Se alimentan de madera viva o muerta. Ejemplos: las familias Cerambycidae y Buprestidae.

Floeófagos: Son aquellos insectos que se alimentan de tejidos del floema o de la corteza de los árboles, como Cerambycidae, Scolytinae y Platypodinae.

Defoliadores: Se alimentan de las hojas de los vegetales. Ejemplos: Geometridae, Diprionidae, Chrysomelidae y Curculionidae.

Minadores: Viven en el interior del follaje de las plantas y se alimentan del tejido de parénquima. Ejemplos: Gracillariidae, Lyonetiidae, Agromyzidae y Hispidae.

Cogolleros: Se encuentran en los brotes de coníferas y otras especies arbóreas. Ejemplo: Pyralidae.

Perforadores de frutos: Los adultos colocan sus huevos dentro de una variedad de frutos. Ejemplo: Tephritidae.

Perforadores de semilla: Se encuentran en el interior de los frutos alimentándose de las semillas. Ejemplos: Bruchidae, Anthribidae.

Lecturas recomendadas

ATKINS, M. D. 1978, Insects in perspective. MacMillan Publishing Co., Inc., New York, 513 p.

BORROR, D. J.; TRIPLEHORN, C. A.; JOHNSON, N. F. 1992. An introduction to the study of insects. 6th edition, Saunders College Publishing Co., New York, 875 p.

CHAPMAN, R. F. 1971. The insects structure and function. Elsevier New York, 2nd, ed., 819 p.

CHIESA MOLINARI, O. 1942. Entomología agrícola. Identificación y control de insectos y otros animales dañinos o útiles a las plantas. D´Accurzio impresor, San Juan, Argentina, 571 p.

CORONADO, R.; MÁRQUEZ, A. 1972. Introducción a la entomología. Editorial Limusa – Wiley, 110 p.

NIETO, J. M.; MIER, M. P. 1985. Tratado de entomología. Ediciones Omega. Barcelona, 245 p.

OSUNA, E. 1995. Morfología del exoesqueleto de los insectos. Volumen I y II. CDCH. Universidad Central de Venezuela, 156 p.

TRIPLEHORN, C. A.; JOHNSON, N. F. 2005. Borror and Delong's introduction to the study of insects. 7th ed. Thompson, Broosks / Cole, Belmont, California, 864 p.

WIGGLESWORTH, V. B. 1972. The principles of insect physiology, 7ª ed., Chapman and Hall, London, 827 p.

CAPÍTULO 3

Órdenes y familias de insectos comunes en los ecosistemas cafeteros

Zulma Nancy Gil Palacios y Álex Enrique Bustillo Pardey

Históricamente, la clase Hexapoda o Insecta se ha dividido en órdenes, los cuáles están descritos sobre la base de las estructuras de las alas, el aparato bucal y el tipo de metamorfosis. Sin embargo, entre los entomólogos existen muchas diferencias con relación a los límites que se deben guardar entre los órdenes y su denominación; es así como ciertos grupos de insectos que son organizados en un solo orden, algunos taxónomos los presentan en dos o más, mientras que otros táxonomos combinan varios órdenes en uno solo.

En el presente capítulo se seguirá la clasificación presentada por Triplehorn y Johnson (2005), quienes dividen la Clase Insecta en 31 órdenes. Se resalta que actualmente, el orden Hemiptera está conformado por los subórdenes: Heteroptera, Auchenorrhyncha y Sternorrhyncha. El primero comprende las verdaderas chinches y los otros dos, el antiguo orden Homoptera (Schuh y Slater, 1995; Henry y Froeschner, 1988).

Triplehorn y Johnson (2005), también acogen el nuevo agrupamiento de las familias del orden Coleoptera, que reflejan las opiniones, bien fundamentadas con modernos métodos taxonómicos, a las que llegaron más de 80 especialistas (Arnett y Thomas, 2001; Arneth *et al.,* 2002). Es bastante curioso para el lector encontrar muchos insectos antes clasificados en las familias Scolytidae y Platypodidae, que ahora se consideran subfamilias de la familia Curculionidae, como es el caso de la broca del café, *Hypothenemus hampei.* También se presentan cambios en la familia Scarabaeidae, que ahora pasa a ser Melolonthidae, y que agrupa insectos muy importantes en la agricultura, como son las chisas.

La zona cafetera colombiana es muy extensa, abarca cerca de cuatro millones de hectáreas a través de toda la geografía del país, en la cual hay aproximadamente 830.000 hectáreas sembrada en café. Esta zona se encuentra localizada en las cordilleras, en donde los ecosistemas son muy variados, se extende entre los 2° de Latitud Sur hasta los 9° de Latitud Norte, y el café es cultivado en altitudes que van de 1.100 a 1.800 m. Cabe resaltar que la zona cafetera se considera megadiversa, con abundante y variada flora y fauna (Botero *et al.,* 1999a, 1999b; López *et al*., 2002; Baker y Duque, 2007). Los insectos no son una excepción (ICA, 1989; Gil *et al*., 2000, 2007; Valencia *et al.,* 2005) y de acuerdo con los múltiples cultivos y las arvenses que caracterizan la zona cafetera, se puede decir que hay una fauna insectil muy numerosa.

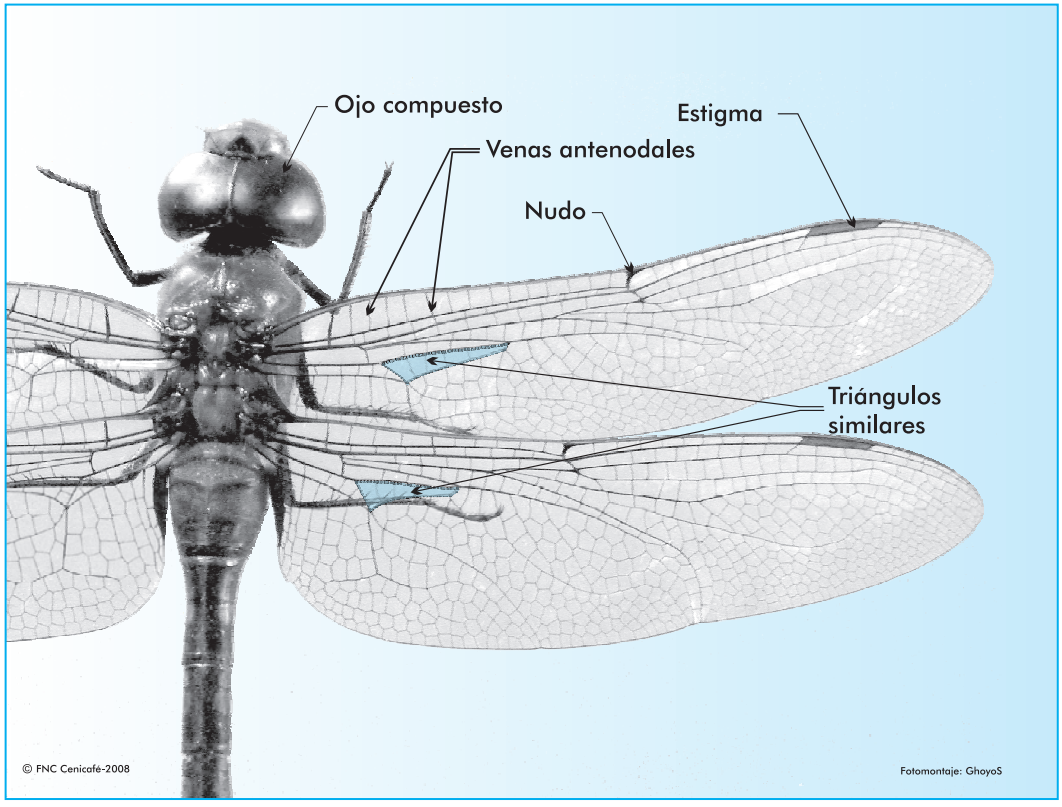
El propósito de este capítulo es darle a lector una idea sobre los insectos más representativos que se pueden encontrar en la zona cafetera colombiana y proporcionarle información sobre sus características más sobresalientes, por medio de la descripción de los órdenes y familias más comunes, para que se familiarialice con ellos.

Para una mayor información sobre la sistemática y taxonomía de los insectos el lector debe referirse al final de este capítulo a las lecturas recomendadas. Cabe anotar que gran parte de la información que se presenta a continuación se basa en los trabajos clásicos de varios autores como Atkins (1978), Triplehorn y Johnson (2005), Romosser y Stoffolano, (1998), Chapman (1982), Borror *et al*. (1992), Snodgrass (1935) y Saunders *et al.* (1998).

Orden odonata

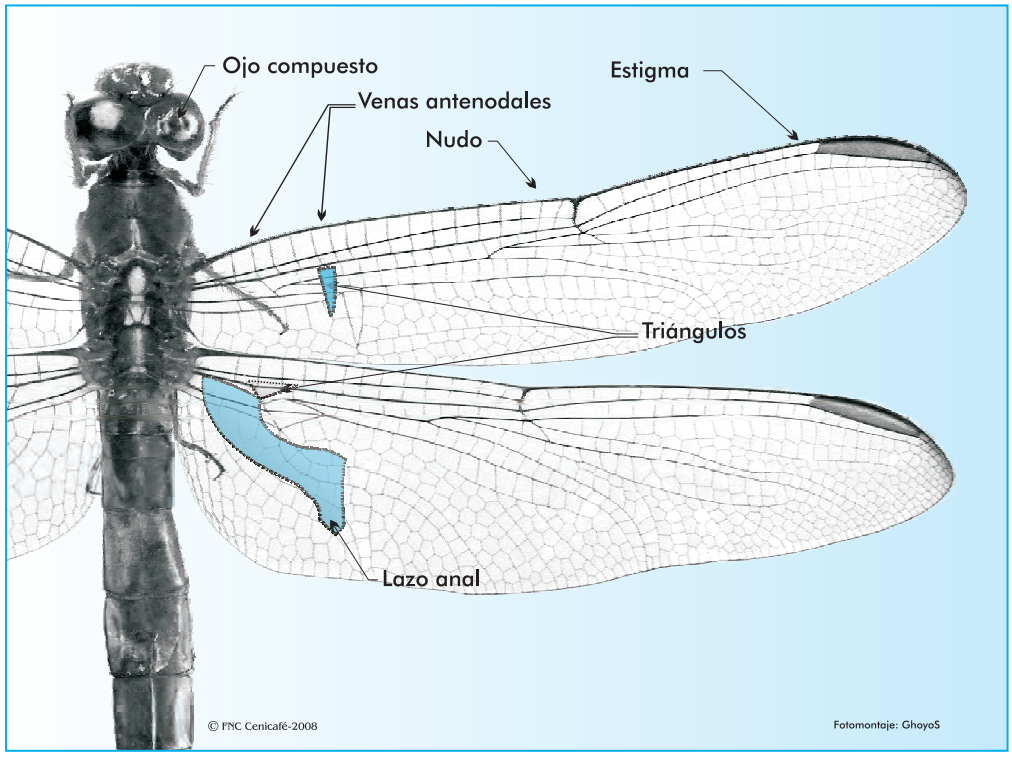
Comprende las libélulas o caballitos del diablo; son insectos predadores, de tamaño mediano a grande (3 a 20 cm), con metamorfosis incompleta. Los adultos poseen dos pares de alas rígidas y reticuladas, similares en forma y tamaño, tienen patas bien desarrolladas, antenas setáceas, aparato bucal masticador y ojos grandes y semiesféricos. Las ninfas son acuáticas y se alimentan de insectos, peces y otros organismos pequeños. Los adultos son ágiles volando y se alimentan de otros insectos que capturan al vuelo. Las familias más representativas de este orden en la zona cafetera son Libellulidae y Aesnhidae.

Familia Aeshnidae



Son libélulas de tamaño grande a muy grande (60 a 80 mm), con cuerpo alargado y muy robusto. La cabeza es esférica, con los ojos grandes y unidos en la parte dorsal; los ojos son brillantes y de colores vivos. La región delantera de la cabeza es amplia y plana, y generalmente de color claro o vivo. El tórax es grueso y negro con bandas de color claro en los costados o de un sólo color (pardo, verde claro, rojo). Las patas son largas y fuertes. Las alas son largas, anchas en la base y con una tonalidad parda en algunas especies. El primer par de alas tiene la forma y la venación un poco diferente al segundo par. El abdomen es largo y delgado en los machos, y grueso en las hembras; en algunas especies los dos primeros segmentos abdominales son más gruesos que los demás. El abdomen presenta una coloración vistosa en muchas especies, con manchas y líneas de colores claros (verde, azul) en cada segmento. En algunas especies el macho y la hembra presentan coloración diferente. Ambos sexos tienen cercos muy desarrollados, pero a las hembras generalmente se les quiebran cuando están desovando. Las hembras poseen ovipositor. Esta familia tienen parecidos los triángulos de ambos pares de alas, así mismo, se distingue porque sus ojos están juntos en la región dorsal de la cabeza y por tener vena de enlace en sus alas.

Familia Libellulidae



Los libelúlidos son odonatos de tamaño muy variable, entre los 25 y 50 mm, y cuerpo robusto. La cabeza es redonda, con los ojos grandes, juntos y brillantes, de colores vistosos (azul, verde, rojo, celeste). La región delantera de la cabeza es amplia y plana, y generalmente, de tonalidades claras o vivas. En esta familia la coloración del cuerpo es muy diversa, aunque generalmente son de colores vistosos (rojo, amarillo, celeste, magenta); algunas especies también tienen alas con colores. En muchas especies, el macho y la hembra tienen diferente coloración. Las alas son grandes y anchas en la base; el primer par tiene la forma y la venación un tanto diferente al segundo par; los triángulos presentan una forma y posición diferentes en cada par de alas. Las hembras tienen el abdomen más grueso que los machos, y carecen de ovipositor. El modo más fácil de distinguir esta familia es por su venación: ciertas venas de la base del segundo par de alas tienen forma de pierna o bota.

Orden Orthoptera

Comprende insectos de muy variadas formas, tamaños, colores y hábitos, que muchos autores agrupan en diferentes familias.

Por cuestión de simplicidad, a lo largo de este capítulo se adopta la clasificación de Comstock (1962), quien conforma el orden Orthoptera con las familias Tettigoniidae, Acrididae (= Locustidae), Gryllotalpidae y Gryllidae, e incluye dentro del orden a Phasmatodea. El orden Orthoptera representa insectos ampliamente conocidos por el común de la gente, como son saltamontes, grillos verdes, grillos aradores, grillos cebolleros, mantis religiosas, cucarachas e insectos palo. Los ortópteros comparten las siguientes características: dos pares de alas apergaminadas (tegminas), con las anteriores más duras y angostas, y las posteriores muy amplias hacia el margen anal, que permanecen plegadas bajo las anteriores; algunos tienen alas vestigiales o son ápteros. Estos insectos tienen aparato bucal masticador, su metamorfosis es gradual y su reproducción es sexual, aunque existen casos de partenogénesis teliotoquia, como algunos Phasmidae. La mayoría de los Orthoptera presentan cercos uni o multisegmentados.

Familia Gryllidae

Conocidas también como chicharras. Poseen antenas largas y filiformes, son de tamaño mediano al compararlos con los Tettigonidae. Pueden ser ápteros o pueden tener alas parcial o completamente desarrolladas. Su cuerpo es robusto y poco aplanado en el dorso. Poseen órganos timpánicos en las tibias de las patas anteriores, y son buenos cantadores, estos sonidos les permiten atraer a las hembras para la cópula. Se alimentan de arvenses, aunque con frecuencia se encuentran en lugares donde habita el hombre.

Familia Gryllotalpidae

Son los llamados verraquitos de tierra o guagüitas; son cafés y poseen patas anteriores de tipo fosorial (cavadoras). Son ágiles corredores, y se encuentran conmúmente causando daños en las plantas pequeñas, como trozadores.

Familia Tettigonidae

Poseen antenas muy largas y filiformes, y la mayoría de las veces son más largas que el cuerpo. Son de colores verdes, y pueden mimetizarse fácilmente con el sustrato vegetal en el que se alimentan. Su cuerpo es comprimido lateralmente y las hembras presentan un ovopositor largo en forma de sable. Poseen órganos estridulatorios, y los tímpanos (sensilas para detectar ruido) están localizados en las tibias de las patas anteriores.

Orden Mantodea

Coloquialmente llamadas mantis religiosas o rezanderas. Son insectos de tamaño medio a grande, con metamorfosis simple, paurometábola. Tienen patas anteriores de tipo raptorial y presentan un marcado mimetismo con hojas verdes o secas, en las cuales se posan esperando a sus presas. Son buenos depredadores generalistas y la familia Mantidae es la más conocida. Las hembras son caníbales durante la cópula, es así como cuando el macho se ha aproximado lo suficiente a la hembra, de repente salta encima de ella, un error de cálculo significa una muerte segura y la menor posibilidad de aparearse. Una vez el macho está en posición de copular, la hembra le arranca la cabeza de un mordisco. La parte restante del cuerpo del macho lleva a cabo, con reacciones reflejas, el acto de la cópula. Una vez finalizado el acto, la hembra devora al macho.

Este grupo de insectos por su hábito depredador, contribuye con el equilibrio de las poblaciones de otros insectos fitófagos.

Orden Blattodea

En este orden se encuentran las cucarachas. Son insectos paurometábolos muy primitivos y de gran éxito reproductivo en lugares muy cercanos a los efectos antrópicos. Su cuerpo es bastante deprimido, el pronoto es amplio y cubre en parte la cabeza. Son muy buenos corredores, aunque tienen alas y pueden volar; las alas anteriores son tegminas (alas coriáceas o endurecidas). Poseen fémures con muchas espinas y colocan sus huevos en un estuche conocido como ooteca. Son detritívoros, de tal manera que en los ecosistemas intervienen en el reciclaje de la materia orgánica.

Familia Blattidae

Son insectos de más de 25 mm. Se conocen diferentes especies que actúan como plagas caseras. La placa subgenital de la hembra se observa dividida, y en el macho se observa que ambos cercos tienen longitud y forma similares.

Familia Blattellidae

Es un grupo bastante grande que comprende cucarachas de 12 mm o menos. También son ampliamente conocidas por ser plagas caseras. Este grupo se puede diferenciar por que presenta los fémures frontales con dos o tres espinas y la placa anal sin lobulaciones.

Familia Blaberidae

Este grupo incluye las cucarachas más grandes dentro del orden Blattodea, con un tamaño mayor a los 50 mm. Frecuentemente son de color café, aunque se conocen algunas especies de color verde pálido. Pueden hallarse en literas u hojarasca, y en muy pocos casos en el interior de las casas.

Orden Dermaptera

Comúnmente conocidos como tijeretas, son insectos hemimetábolos cuyo tamaño varía de 5 a 45 mm de longitud, de cuerpo muy esclerotizado, aplanados dorsoventralmente, con dos pares de alas, con los élitros anteriores muy cortos y de aspecto truncado y las alas posteriores en forma de abanico, con una venación radial muy característica; cuando no están volando, el par de alas posterior se pliega, y queda casi oculto bajo los élitros. Algunas especies son ápteras. Una característica de este Orden es la presencia de un par de pinzas o forceps, que son modificaciones de los cercos. Poseen aparato bucal masticador y tienen ojos grandes; sin embargo, cuando poseen ocelos, éstos son muy poco visibles. Las antenas son filiformes o moniliformes, normalmente más cortas que el cuerpo. Algunas especies norteamericanas atacan dalias y otras flores, pero la mayoría viven en lugares húmedos y oscuros alimentándose de materia orgánica. Las familias Forficulidae y Labiduridae son conocidas por su acción predadora sobre otros insectos.

Familia Labiduridae

Son fácilmente reconocidos por su gran tamaño (20 – 30 mm) y rayas longitudinales oscuras en el pronoto y la tegmina. Son depredadores nocturnos y se esconden bajo la hojarasca durante el día.

Familia Forficulidae

Los miembros más comunes de esta familia son negros y tienen un tamaño entre 15 y 20 mm de longitud. Ocasionalmente causan daños considerables en frutales, cultivos de cereales y plantas ornamentales.

Familia Labiidae

Son insectos de 4 a 7 mm de longitud y están cubiertos por pubescencias brillantes. Son buenos voladores diurnos, aunque en las noches también son atraídos por las luces.

Orden Isoptera

Lo conforman las termitas, comejenes u hormigas blancas. Son insectos pequeños de 2 a 15 mm, excepto la reina que alcanza hasta 75 mm, presentan formas aladas y ápteras. En la colonia se producen individuos, machos y hembras, alados que realizan vuelos nupciales, en los cuales copulan para dar origen a la reina, que inicia una nueva colonia.

Las formas ápteras, son sexualmente inmaduras y, con excepción de la familia Hodotermitidae, son ciegas. Esta casta cumple un papel importante en las colonias, ya que es la que desarrolla la mayor parte de los trabajos.

Los alados tienen dos pares de alas membranosas con venación reticulada y de igual tamaño (iso: iguales, ptera: alas), que mantienen sobre el cuerpo cuando están en reposo. Poseen aparato bucal masticador y metamorfosis incompleta. Su forma es similar a la de las hormigas, pero su cuerpo es blando y generalmente son blancas o amarillentas, y el punto de unión del tórax con el abdomen es amplio. Sus ojos son pequeños o ausentes y sus antenas moniliformes. Las principales familias son:

Familia Termitidae

Este grupo incluye las termitas sin soldados, termitas de desierto y las conocidas como termitas con forma repugnante. Las termitas sin soldados hacen nidos bajo los troncos y no son de importancia económica. Las termitas de desierto son subterráneas y ocasionalmente causan daños al alimentarse de la madera de edificaciones y postes. Las termitas repugnantes atacan árboles vivos, por lo que se consideran peligrosas en algunas plantaciones.

Familia Kalotermitidae

Estas termitas no tienen casta trabajadora y las jóvenes de otras castas realizan el trabajo de la colonia. Carecen de fontanela y no construyen túneles subterráneos.

Familia Rhinotermitidae

Este grupo incluye termitas pequeñas entre 6 y 8 mm de longitud. Las formas carentes de alas son muy pálidas, y la casta reproductora y alada es negra. Los miembros de este grupo construyen cavernas subterráneas comunicadas con troncos. Este grupo incluye probablemente las especies más destructivas de este orden.

Orden Hemiptera

Suborden Heteroptera

Comprende insectos cuyo tamaño varía entre 1 y 45 mm, comúnmente conocidos como “chinches” o “grajos”. Poseen aparato bucal chupador, que forma un pico, posee un escudo muy esclerotizado y un escutelo que forma un triángulo en la unión basal de las alas anteriores. Tienen dos pares de alas, las anteriores son hemiélitros y se caracterizan por presentar la parte basal coriácea y la apical membranosa; las características de los hemiélitros son importantes en la clasificación de las familias. Su cuerpo es comprimido y algunos (Pentatomidae y Coreidae) poseen glándulas mefíticas, que les sirven de defensa. En su mayoría tienen ojos compuestos grandes o prominentes y en algunos casos, ocelos. Generalmente, las antenas son filiformes con 4 a 10 segmentos.

Los hemípteros en la mayoría de los casos se reproducen sexualmente y tienen metamorfosis gradual. Algunos Miridae fitófagos, como *Tropidosteptes chapingoensis* y *Collaria oleosa* Distant, pueden presentar partenogénesis teliotoquia y así producir mayor progenie. Son insectos con una amplia gama de hábitos, no obstante, la gran mayoría son fitófagos, otros son predadores y un grupo más restringido, son hematófagos, y se alimentan de animales de sangre caliente, incluidos los seres humanos, este último grupo de insectos son importantes como vectores de enfermedades.

Entre las especies fitófagas, merecen especial mención, los Miridae y los Tingidae, chupadores de savia que además producen e inyectan toxinas a la planta huésped. Entre los Miridae, *Horciacisca signatus* (Distant) es una especie de importancia forestal, muy frecuente en diferentes especies de *Eucalyptus,* sobre todo en las etapas tempranas de su desarrollo. Entre los Tingidae, *Leptobyrsa decora* Drake, chinche de encaje de las verbenáceas, es una plaga importante que causa severas defoliaciones en períodos secos.

Como predadores, muchos hemípteros son de gran importancia en la regulación de poblaciones de fitófagos, y son de especial importancia las familias Reduviidae *(Zelus* spp.), Anthocoridae *(Orius* spp.), y algunos Lygaeidae *(Geocoris* sp.), que se crian en forma masiva y se comercializan para el control de diferentes plagas en cultivos de invernaderos.

Entre las especies de importancia médica está el grupo de los Triatominae: *Triatoma infestans, T. sordida, Panstrongylus megristus* Latr. y *Rhodnius prolixus* Stal., transmisores del *Trypanosoma cruzi* causante de la enfermedad de chagas, azote de las poblaciones vecinas a bosques en regiones cálidas del trópico. Aunque la mayoría de los autores anotan que no se tiene certeza de la transmisión de enfermedades al hombre por las chinches de cama *(Cimex lectularis,* Hem.: Cimicidae), se ha encontrado que en condiciones experimentales, este insecto es capaz de transmitir por medio de sus heces el *T. cruzi.*

Familia Lygaeidae

Son insectos pequeños (5-10 mm). Los adultos presentan ocelos, un pico de cuatro segmentos al igual que las antenas, las patas poseen tarsos de tres segmentos, las tibias anteriores algunas veces se observan engrosadas, y también es común observar cuatro o cinco venas simples en las membranas del hemiélitro. Difieren de los Miridae por no poseer cuneus, que es estructura más o menos triangular en la porción basal del ala delantera. Se separa de los Coreidae, Alydidae y Rhopalidae porque poseen pocas venas en su membrana. Son de gran importancia agrícola como fitófagos.

Familia Pentatomidae

Mejor conocidos como grajos o chinches hediondas. Son pequeñas a medianas (8-20 mm), de forma ovoide o redondeada, y antenas con cinco segmentos. Poseen glándulas mefíticas muy desarrolladas. Son de gran importancia agrícola en muchos cultivos, debido a que en esta familia se tienen insectos fitófagos como *Antiteuchus* spp., importante plaga en macadamia, a quien se le atribuye la transmisión de un virus. En el cultivo del café en África, es común encontrar las especies *Antestiopsis orbitalis bechuana* (Kirkaldy), *Antestiopsis orbitalis ghesquierei* Carayon y *Antestiopsis intricata* (Guesquiere & Carayon).

Familia Coreidae

Chinches patifoliadas. Son de tamaño pequeño a mediano. Poseen glándulas mefíticas bien desarrolladas, cuyas aberturas se encuentran a los lados del tórax entre las coxas medias y las posteriores. Generalmente, son de colores oscuros y con la cabeza más corta y estrecha que el pronoto. En el área membranosa de las alas presentan venas con líneas paralelas muy juntas entre sí. Algunas especies tienen las tibias posteriores dilatadas como foliolos, en cambio otras especies pueden tener los fémures engrosados, o tener estas dos características. Al igual que el anterior, es un grupo que incluye especies que causan graves daños en los cultivos.

Familia Cydnidae

Son chinches cavadoras, de hábitos subterráneos, de cuerpo amplio y un poco grueso, y de tamaño pequeño a medio. Sus colores son uniformes, desde amarillo hasta rojo oscuro. Presentan más espinas en la tibia que los Pentatomidae. Sus patas posteriores son parecidas a las de Blattodea y las patas anteriores tienen modificaciones para cavar. Posee antenas con cuatro segmentos. Algunas especies atacan raíces en cultivos como la yuca y cebolla.

Familia Pyrrhocoridae

Parecidos a los Lygaeidae, pero no poseen ocelos, son más engrosados y tienen algunas venas ramificadas y celdas en la membrana del hemiélitro.

Familia Tingidae

Chinches de encaje. Son pequeños, generalmente menores a 5 mm, aunque algunos pueden llegar a medir hasta 1 mm. Se caracterizan por presentar muchas ornamentaciones en el dorso del cuerpo y el pronoto expandido hacia los márgenes laterales. Son especies importantes en plantaciones forestales, ornamentales y algunos cultivos.

Familia Miridae

Es la familia más grande dentro del orden. Su tamaño es pequeño. Se caracterizan porque en muchos se observa la membrana del hemiélitro caída, además tienen una o dos celdas formadas por venas de la membrana y un cuneus claramente visible. Las antenas y el pico tienen cuatro segmentos, y carecen de ocelos. La chinche del café, *Lamprocapsidea coffeae* (China), es una plaga que causa bastantes problemas a cafetales en África, y es considerada plaga cuarentenaria para el continente Americano. Otro género muy importante es *Monalonion velezangeli*, que recientemente se ha registrado haciendo daño en cafetales en Colombia.

Familia Anthocoridae

Son pequeños, de cabeza corta, hemiélitros con embolio bien definido, la parte membranosa generalmente sin venas. La proboscis está dividida en tres segmentos. Su importancia radica en que son buenos depredadores, principalmente de huevos y primeros estados inmaduros de otros insectos. Es común encontrarlos en flores pero algunos pueden estar bajo cortezas sueltas. En Colombia, en los cafetales se encuentran dos chinches de esta familia, pertenecientes a los géneros: *Calliodis* sp. y *Scoloposcelis* sp. que actúan como predadores de estados larvarios de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari).

Familia Reduviidae

Mejor conocidas como chinches asesinas o pitos. La cabeza es romboidal alargada, ojos prominentes, antenas largas y delgadas. Cuerpo delgado y alargado, y su tamaño es pequeño a medio. Las patas posteriores son largas. El extremo apical del pico roza la placa prosternal para producir estridulación.

En esta familia se encuentran importantes depredadores que atacan larvas de lepidópteros. Las especies de la subfamilia Triatominae son hematófagas, y se encuentranen las zonas tropical y subtropical de América. Algunas especies como *Rhodnius prolixus* Stal., son transmisoras del mal de chagas (tripanosomiasis americana), que produce úlceras de difícil cicatrización.

Familia Scutelleridae

También llamadas chinches escudo. Son de tamaño pequeño a mediano, presentan un escutelo muy desarrollado que les cubre todo el abdomen y las alas, y en algunos casos pueden ser confundidos con otros coleópteros. El cuerpo es algo redondeado, convexo u ovoide con colores metálicos u opacos. Poseen ocelos y glándulas mefíticas y son comunes sobre variada vegetación.

Familia Gerridae

Chinches patinadoras. Su tamaño es pequeño a mediano. Son insectos acuáticos, depredadores en aguas quietas y frescas. Presentan hábitos gregarios sobre la superficie del agua y se mueven rápidamente cuando son molestados. Sus patas medias y posteriores son muy largas y la parte posterior de su cuerpo termina en forma de cuña.

Familia Belostomatidae

Llamados también cucarachas de agua. Son las chinches más grandes dentro del orden, ya que pueden medir más de 10 cm de longitud. Su cuerpo es deprimido, de color café, con ojos compuestos prominentes y carentes de ocelos. Las patas anteriores son de tipo raptorial. Viven en el agua y se alimentan de renacuajos, pececillos, insectos y otros organismos. Pueden ocasionar una dolorosa picadura si no son manipulados con cuidado. Algunas especies llevan los huevos sobre el dorso de los machos hasta que eclosionen.

Familia Gelastocoridae

Se asemejan a pequeños sapitos y saltan de manera similar. Su cuerpo es corto y amplio, con ojos compuestos muy desarrollados y ocelos presentes. Su color es café oscuro. Son depredadores terrestres y se encuentran con frecuencia en los bordes de pantanos, arroyos y en los cultivos con alta humedad.

Suborden Auchenorryncha

Comprende insectos fitófagos de variadas formas y hábitos como son las chicharras, los cercópidos, los cicadélidos, los membrácidos y las salivitas, entre otros. Como características generales del suborden pueden destacarse: el aparato bucal picador-chupador que sale de la parte postero-ventral de la cabeza, por entre las coxas de las patas anteriores. Su tamaño es pequeño a mediano, varía entre 1 y 50 mm, son por lo general alados, aunque también comprende muchas especies ápteras. Cuando tienen alas, ambos pares son de textura apergaminada uniforme y cuando el insecto está en reposo forman una especie de techo sobre el cuerpo del insecto.

Tienen metamorfosis gradual y su reproducción es sexual. Todos son fitófagos, chupadores de savia, y algunos de ellos son eficientes vectores de enfermedades virosas de las plantas.

Familia Cicadidae

Los Cicadidae o chicharras se reconocen por sus alas membranosas, transparentes, colocadas en forma de techo sobre el cuerpo en reposo. Se caracterizan por tener tres ocelos y las antenas salen entre los ojos, y no debajo de éstos. Los machos producen sonido mediante la dilatación de membranas de órganos timpanales, cada especie tiene un sonido diferente. La ninfa vive en el suelo y come raíces. El ciclo de vida generalmente es muy largo (4 a 17 años), duran varios años como ninfa y luego, un mes como adulto. En cafetales del Brasil varias especies de chicharras: *Quesada gigas* (Olivier), *Q. sodalis* (Walker), *Fidicina mannifera* (F.), *F. pullata* Berg y *Carineta fasciculata* (Germar), se registran como plagas muy serias, que afectan el sistema radicular de las plantas.

Familia Membracidae

Los membracidos, toritos o periquitos, se reconocen por la forma curiosa del pronoto, éste se prolonga por delante, encima de la cabeza, y por detrás, encima del abdomen. Este pronoto puede tomar forma de espina, de semillas o formas muy curiosas. Presentan dos ocelos y las antenas son cortas en forma de un pelito. Tienen una o dos generaciones al año; los adultos y las ninfas viven juntos, generalmente sobre las ramitas de las plantas hospederas. Son de poca importancia económica.

Familia Cercopidae

Los cercópidos o salivitas se caracterizan por la forma del adulto, que se parece un poco a una ranita miniatura. Las tibias posteriores presentan pocas espinas. El nombre común viene de las ninfas, que viven adentro de una masa de burbujitas hechas en un líquido que parece baba. Algunas especies tienen importancia económica, más que todo en pastos.

Familia Cicadellidae

Los Cicadellidae o saltahojas miden desde 2 hasta 20 mm. Generalmente son verdes pero también pueden ser amarillos, cafés, grises, negros y a veces, anaranjados, rojos o violetas. A lo largo de las tibias posteriores presentan una o más hileras de espinas. Muchas especies son de importancia económica por chupar plantas, pero más que todo por ser vectores de enfermedades. En el cafeto se registran muchas especies, algunas comprometidas en la transmisión de fitoplasmas que causan daños a la planta de café.

Familia Dictyopharidae

Caracterizadas por la cabeza con una prolongación, el cuerpo de coloración verde y las alas transparentes. El tamaño del cuerpo es alrededor de 1 cm.

Familia Flatidae

Los Flatidae presentan una forma un poco rectangular y una coloración variable, blanca, gris, negra o verdosa. Los flátidos pueden ser grandes, pero varían de 4 a 32 mm. Son fáciles de reconocer por la combinación de estas dos características: muchas venas transversales paralelas a lo largo del margen costal de las alas anteriores y un grupo de pequeñas protuberancias o tubérculos en la base de la clava de estas alas. Las alas las colocan en posición de techo. Estas especies frecuentemente se encuentran en grandes cantidades sobre árboles y arbustos. Muchos se alimentan de una gran variedad de plantas.

Suborden Sternorrhyncha

Este suborden lo componen los insectos de hábitos chupadores como: moscas blancas, áfidos, perlas de tierra, ortézidos, cochinillas y escamas, entre otros. La historia de vida de algunos Sternorrhyncha es muy compleja, algunas generaciones son bisexuales y partenogenéticas, se presentan individuos alados y sin alas. Muchos alternan plantas huéspedes, algunas especies transmiten enfermedades a las plantas, y un gran número son plagas serias en cultivos.

Familia Ortheziidae

Las hembras se caracterizan porque presentan un ovisaco más grande que el resto del cuerpo, su cuerpo es segmentado y posee espiráculos abdominales. Los machos presentan un solo par de alas, antenas simples de nueve segmentos y una cerda apical espinosa.

En los últimos años se ha registrado la especie *Orthezia praelonga* causando graves daños en cítricos en varias zonas del país; también son frecuentes en ornamentales y ocasionalmente en cafetales.

Familia Diaspididae

Los Diaspididae son escamas planas, de forma circular, ovalada o alargada. Las hembras de Diaspididae son pequeñas y blandas, cubiertas completamente por una escama de cera. Los machos tienen alas, también tienen antenas y patas largas. La reproducción puede ser bisexual o por partenogénesis. Las hembras son ovíparas o seudovivíparas. Los huevos en general, quedan protegidos debajo de la escama de la hembra; la ninfa I es activa y puede caminar una pequeña distancia.

Familia Coccidae

Los Coccidae o insectos escama semejan escamas redondas, gruesas, a veces un poco alargadas. El exoesqueleto es duro y cubierto de cera. La hembra tiene patas, pero generalmente no tienen antenas. Los machos son alados o ápteros según las especies.

Se presentan en poblaciones muy abundantes, son comunes en ornamentales, frutales y forestales. *Coccus viridis* (Green) y *Saissetia coffeae* (Walker) son plagas del cafeto.

Familia Pseudococcidae

Los Pseudococcidae o cochinillas harinosas tienen un cuerpo aplanado, con prolongaciones de cada lado, y producen cera que les da una coloración blanca. La hembra es de cuerpo alargado, con patas bien desarrolladas. Se encuentran sobre cualquier parte de la planta. En cafetales es común encontrar infestaciones de *Planococcus citri* (Risso), *Puto antioquensis* (Murillo), *Puto barberi* (Cockerell), *Neochavesia caldasiae* (Balachosky), *Rhizoeccus coffeae* Laing y *Dysmicoccus brevipes* (Cockerell).

Familia Aleyrodidae

Los Aleyrodidae o moscas blancas forman una familia muy conocida por su carácter de plaga de muchos cultivos. Son pequeños (2 a 3 mm), los machos y hembras son alados. Los adultos son muy activos y chupan savia de las plantas, algunas especies trasmiten enfermedades virosas a las plantas. Pasan por un primer estadio ninfal activo, los estadios ninfales siguientes son inmóviles y parecen escamas. El último estadio ninfal, a veces se le denomina pupa, porque es un estadio de reposo. Las alas se desarrollan internamente en las ninfas, no son visibles como se acostumbra en los heterometábolos. Muchas especies son blanquecinas, pero por lo menos una es oscura, la mosca negra de los cítricos. En cafetales ocasionalmente se presentan ataques de *Aleurothrixus floccosus* (Maskell).

Familia Aphididae

Los Aphididae, áfidos o pulgones, son bien conocidos por su carácter de plaga de muchos cultivos. Son pequeños, con alas grandes y transparentes. Las antenas son largas. El abdomen es algo globoso y presenta dos prolongaciones. Existen formas aladas y ápteras. El ciclo de los áfidos es a veces complejo, pasa por generaciones sexuadas y por generaciones partenogenéticas. En el trópico se reproducen por partenogénesis, las hembras dan progenie vivípara y no se conocen los machos. Muchas especies forman sobre el follaje de las plantas grupos muy numerosos, dejando estas hojas llenas de melaza. Algunas especies son atendidas por hormigas, que las protegen a cambio de una mielecilla que producen los pulgones. Las generaciones son muy cortas. Los adultos y ninfas chupan el follaje de las plantas y provocan deformaciones, algunas especies son vectores de enfermedades. En los cafetales se puede presentar en plantas jóvenes o en brotes tiernos el ataque del pulgón negro, *Toxoptera aurantii* (Boyer de Fonscolombe).

Orden Thysanoptera

Este orden contiene unos insectos conocidos como trips, con cuerpos aplanados y muy diminutos alcanzando tamaños entre 0,5 y 10 mm en longitud. Pueden o no tener alas, y cuando las poseen éstas son muy delgadas y largas, con muy pocas venas y con bordes con muchos pelos largos. El aparato bucal es chupador y la proboscis es una estructura fuerte y asimétrica, localizada en la parte posterior de la superficie ventral de la cabeza. El labro forma el frente de la proboscis, las porciones basales de las maxilas forman los lados y el labio conforma la parte posterior. Las antenas son cortas, con cuatro a nueve segmentos. Los tarsos tienen uno o dos segmentos con una o dos uñas, tipo de cuchilla. En algunos trips el ovipositor está presente y en otros la punta del abdomen es tubular y carecen de ovipositor.

Familia Thrypidae

Esta familia es la más grande del orden y contiene la mayoría de las especies que son de importancia económica. Las alas son muy delgadas y estrechas en la punta, y las antenas tienen de seis a nueve segmentos. La mayoría de los Thrypidae se alimentan succionando la savia de las plantas y un gran número son considerados plagas muy serias de muchos cultivos. En Colombia, el *Thrips palmi* es de reciente introducción, y causa serios problemas en explotaciones de flores para exportación. En cafetales de África

se ha registrado *Diarthrothrips coffeae* Williams, que puede ocasionar daños en cafetales. Esta especie no ha sido encontrada en América.

Orden Neuroptera

Comprende un grupo muy interesante por sus hábitos predadores, que los hacen valiosos reguladores de poblaciones de insectos dañinos. Se caracterizan por tener dos pares de alas membranosas, con venación reticulada y muchas venas cruzadas que se extienden en forma de techo sobre el abdomen, cuando el insecto está en reposo; en las familias Ascalaphidae y Myrmeleontidae, las alas se mantienen extendidas en posición perpendicular al cuerpo.

Presentan antenas largas, multisegmentadas, con excepción de las familias Mantispidae y Myrmeleontidae que tienen antenas cortas. Los adultos y las larvas tienen aparato bucal masticador, pero en estas últimas las mandíbulas se transforman en un par de ganchos acicalados, que les permiten pinchar sus presas y extraerles los fluidos internos.

Los neurópteros son de tamaño mediano, varían entre 10 y 100 mm. Son de reproducción sexual y su metamorfosis es completa. Los Sialidae y Corydalidae permanecen durante sus estados inmaduros en ambientes acuáticos o semiacuáticos; los Myrmeleontidae y los Ascalaphidae pasan el período larval en el suelo, los primeros se caracterizan por la construcción de trampas en forma cónica en la arena para capturar sus presas, preferiblemente hormigas. Chrysopidae y Hemerobiidae son importantes predadores que se crían masivamente en el laboratorio y se comercializan para el control de diferentes plagas como pulgones, seudocóccidos, trips y aleyrodidos, entre otros.

Familia Ascalaphidae

Los ascaláfidos son un grupo de neurópteros grandes, cuyos adultos tienen una longitud de las alas anteriores entre los 40 y 50 mm. Tienen ojos divididos transversalmente, alas angostas y vuelan rápidamente. Se asemejan mucho a libélulas, pero se distinguen fácilmente por sus antenas largas y capitadas. La mayoría son de color café oscuro. Las alas no tienen marcas o pueden tener grandes manchas negras, especialmente en la punta del ala o a lo largo del margen anterior. Los machos poseen abdómenes mucho más delgados que las hembras.

Los adultos de la mayoría de las especies vuelan al oscurecer y los atraen las luces. Son depredadores activos que se alimentan de pequeños insectos voladores. Durante el día se posan sobre ramas con sus alas plegadas y su abdomen doblado sobre su espalda. Cuando se molestan, algunas especies despliegan una estructura plana que está sobre el pronoto y exponen un área de color blanco brillante, mientras que otras emiten un fuerte olor. Ovipositan grupos de 30 a 60 huevos, rodeados de huevos abortados. Estos últimos sirven para alejar los depredadores de la masa de huevos y pueden servir también como alimento para las larvas recién emergidas. Las larvas son esferoides con mandíbulas prominentes, fuertemente dentadas y con un fleco de tubérculos abdominales laterales. Son depredadoras, para lo cual esperan el paso de las presas para atraparlas, y reposan escondidas sobre el suelo justo debajo del polvo o permanecen imperceptibles sobre un tronco, debido a su coloración críptica y con sus mandíbulas completamente abiertas en ángulo de 180°. Algunas larvas acumulan basuritas entre los pelos de sus espaldas. Las larvas se alimentan de una gran variedad de presas pero tienen gran preferencia por larvas de moscas, ortópteros y larvas de mariposas sin pelos. Las larvas empupan dentro de un capullo de seda bajo la superficie del suelo o bajo la corteza de los árboles.

Familia Mantispidae

Los mantíspidos son neurópteros de tamaño medio a grande, con una envergadura de 15 a 40 mm. Son reconocidos fácilmente por su largo protórax y por sus grandes patas anteriores raptoriales. Con respecto a esta última característica, pueden ser confundidos con los mantidos (Orden Manthodea) pero se pueden diferenciar por su postura característica con las alas en posición de techo cuando están en reposo. Los

mántidos colocan las alas más aplanadas contra el dorso. Especies grandes de los géneros *Climaciella* y *Entanoneura* son imitadores de avispas. Las especies más pequeñas son de colores crípticos, verdes o cafés. Los machos y las hembras son semejantes entre sí, excepto en las hembras de la subfamilia Platymantispinae, las cuales tienen un ovipositor. Hay aproximadamente 40 géneros y 400 especies en el mundo. Los adultos de algunas especies vuelan en la noche y los atraen las luces, mientras que otros son activos durante el día y pueden formar grupos sobre las flores. La mayoría de los mantíspidos son depredadores que se posan y esperan sus presas que, por lo general, son moscas pequeñas y otros insectos de cuerpo blando (parece ser que son incapaces de agarrar insectos de cuerpo duro con sus patas delanteras).

Las larvas de Mantispidae completan su desarrollo dentro de masas de huevos de arañas. Pueden entrar a un saco de huevos existente o subirse a una hembra de araña e ingresar a un saco de huevos en el momento en que la araña lo produce. Muchas de las larvas de las especies de la subfamilia Platymantispinae están asociadas con avispas Vespidae, Polybiinae, pero otras se han encontrado asociadas con las pupas de mariposas nocturnas de la familia Noctuidae, con coleópteros de la familia Scarabaeidae y con abejas. Las larvas de las especies del género *Nolima* son depredadoras activas de una gran variedad de insectos.

Familia Chrysopidae

Los crisópidos son los neurópteros verdes de ojos dorados. Son variables en tamaño con una longitud de las alas anteriores entre 7 y 35 mm. La mayoría de las especies tienen el cuerpo y las venas de las alas de color verde. La cabeza y el tórax frecuentemente presentan franjas rojas o negras, y las alas y sus venas pueden estar marcadas con puntos o líneas negras. Los machos y las hembras son prácticamente iguales en apariencia. Las especies de crisópidos se encuentran en una gran variedad de ambientes, mientras que la mayoría están asociados con árboles y arbustos, a otras se les encuentra en pastizales densos, y varias especies viven en grandes cantidades en plantaciones agrícolas donde son importantes depredadores de artrópodos plagas.

Generalmente, los adultos son activos en la noche y pueden volar atraídos hacia las luces. La mayoría se alimentan de excreciones melosas de otros insectos y polen, pero unos pocos son depredadores. La presencia de un órgano timpánico en la base de las alas los capacita para detectar y evitar a los murciélagos. Las larvas de la mayoría de los géneros son de apariencia jorobada, de movimientos lentos y con numerosas setas torácicas en forma de gancho, entre las cuales se colocan una gran variedad de basuritas o restos de presas. En unos pocos géneros las larvas son delgadas, de movimientos rápidos y no acarrean basuras. Todas las larvas son depredadoras y la mayoría de ellas se alimentan de insectos de cuerpo blando que encuentran en el follaje.

Familia Hemerobiidae

Los adultos hemerobíidos, son de tamaño pequeño a medio, con alas anteriores de 5 a 10 mm. Pueden separarse de otras familias por la presencia de al menos dos sectores que se originan de la vena radial en el ala anterior. El cuerpo y las venas de las alas son cafés, y éstas pueden estar manchadas con franjas y puntos café-oscuros o negros. Los machos y las hembras tienen la misma apariencia general. Los adultos son activos durante la noche y vuelan atraídos por las luces. La mayoría de las especies viven en los árboles y los adultos son depredadores, que se alimentan de una gran variedad de insectos de cuerpo blando. Los huevos tienen forma oval, son puestos en forma individual o en grupos pequeños y en posición vertical. Las larvas son alargadas, con un cuello y con mandíbulas cortas y curvadas. Son depredadoras y se alimentan de insectos sésiles o de movimientos lentos, como áfidos o cóccidos. Para empupar la larva teje un capullo flojo ovoide y de seda. Algunas especies de esta familia han sido usadas extensivamente como agentes de control biológico de plagas.

Orden Coleoptera

Comprende escarabajos, mariquitas, picudos y gorgojos de tamaño variable, desde 1 mm hasta 12 cm de longitud. Es el orden más grande y diverso de insectos, capaces de colonizar prácticamente todos los hábitats disponibles en el planeta. Su principal característica son sus alas anteriores fuertemente esclerotizadas, que ameritan su nombre de élitros (alas en forma de estuche), que les sirven para la protección del cuerpo y de sus alas posteriores que son membranosas, que cuando no están en vuelo permanecen plegadas bajo los élitros. Presentan aparato bucal masticador, se reproducen en forma sexual y la metamorfosis es completa. El orden Coleoptera presenta la más vasta diversidad de hábitos alimentarios; muchos de ellos constituyen plagas limitativas en cultivos y plantaciones forestales. Entre los hábitos alimentarios más comunes están: fitófagos, predadores, carroñeros, coprófagos, micetófagos y comedores de polen. Entre los fitófagos existen todos los tipos de daños que puedan ocasionar los insectos: comedores de follaje, minadores, barrenadores de tallos, ramas, raíces y frutos, descortezadores y anilladores, entre otros. Algunos barrenadores de tallos viven asociados con hongos como *Xylosandrus morigerus* que en asocio con *Ambrosiaemyces zeilanicus*, ocasiona la muerte descendente en cacao, café y acacias.

Varias especies de Chrysomelidae y Curculionidae, durante su período larval, permanecen en el suelo y se alimentan de las raíces de las plantas; y durante su estado adulto actúan como comedores de follaje. Otro grupo de gran importancia por sus daños, lo constituyen las chisas (Melolonthidae), que atacan raíces; en este caso el daño lo ocasionan las larvas, aunque en algunos géneros como *Macrodactylus*, los adultos también causan daños severos como roedores del follaje. Gran variedad de curculiónidos y cerambicidos actúan como perforadores de tallos e inutilizan maderas muy valiosas. Así mismo, algunos atacan maderas secas y ocasionan pérdidas en muebles, enchapes, techos, cielo rasos, tallas en madera y obras de arte.

Algunos curculiónidos, brúquidos, tenebriónidos y cucújidos se han especializado para alimentarse de granos, harinas y otros productos almacenados. Otros, como los derméstidos se alimentan de telas, tapetes, cortinas, paños de los muebles y colecciones de insectos. No se puede dejar de mencionar algunos insectos que llegan a consumir dietas poco apetecidas, entre éstos están *Lasioderma serricorne* (Fabr.) (Anobiidae), como el que consume polvo de piretro (insecticida), y *Lyctus brunneus* (Stephens) y *Scobicia declivis* (Lyctidae) que perforan las cubiertas de plomo de los cables de teléfonos. No menos importante es la labor de la gran diversidad de especies depredadoras que agrupa el orden Coleoptera, basta citar a manera de ejemplo las especies *Calosoma* spp. (Carabidae), *Pseudoxychila bipustulata* (Cicindellidae), *Chauliognathus heros* (Cantharidae), *Oligota minuta* (Staphilinidae), *Oligota minuta* (Staphilinidae), *Delphastus* spp., *Stethorus* spp., *Coleomegilla maculata, Hippodamia convergens* y *Cycloneda* spp. (Coccinellidae).

Familia Gyrinidae

Los coleópteros de la familia Gyrinidae poseen características únicas que los hacen muy diferenciables, como son: los ojos divididos, antenas con un pedicelo modificado y un flagelo en forma de porra, y patas medias y posteriores en forma de remo.

Familia Dytiscidae

La familia Dytiscidae es el mayor de los grupos acuáticos de adéfagos (*Adephaga*) con una serie de adaptaciones para nadar en los adultos, que incluyen la forma hidrodinámica, coxas posteriores muy grandes que carecen de las láminas llamativas presentes en Noteridae, y fuertes patas posteriores con pelos natatorios.

Familia Carabidae

Los cuerpos de los carábidos varían en longitud, desde menos de 1 a 80 mm. Presentan formas variables, aunque la mayoría tienen aplanados el dorso y el vientre. En general, son negros o de colores oscuros y presentan élitros pulidos y brillantes. Sin embargo, algunos son de colores llamativos o presentan dibujos de

colores vivos, como el amarillo. Las antenas por lo general son largas y filiformes, con 10 a 11 segmentos. Las mandíbulas frecuentemente son grandes y proyectadas hacia adelante.

Los ojos generalmente son grandes y prominentes. La mayoría de las especies no tienen escamas ni están cubiertas de setas, aunque todos tienen al menos algunas setas táctiles sobre y alrededor del borde de los élitros y el pronoto. La mayoría de las especies tienen estrías elitrales claras, generalmente entre 7 y 10 por élitro y son más anchos cerca o en la base de ellos. Los carábidos generalmente son de patas largas y son veloces. En los trópicos, la mayoría tienen alas bien desarrolladas y pueden volar; sin embargo, algunas especies que viven en el suelo, particularmente las de zonas altitudinalmente altas, presentan alas posteriores reducidas o no las tienen, y algunas tienen los élitros fusionados. Todos los carábidos presentan glándulas de defensa en el extremo del abdomen, las cuales producen sustancias nocivas para prevenir el ataque de depredadores.

Los Carabidae comúnmente se mueven en el suelo, pero en las regiones tropicales muchos viven en los árboles y otros hábitats. Se encuentran en el suelo, manto de hojas, a orillas de ríos y estanques, troncos podridos, bajo la corteza, sobre troncos de árboles, frutos caídos, sobre las hojas y sobre pastos. Unos pocos pasan todo su ciclo de vida en los árboles. La mayoría son considerados depredadores generalistas; sin embargo, en estudios más detallados de algunos grupos se ha demostrado que existen depredadores especialistas de algunos grupos como Collembola, larvas de mariposa, larvas de Endomychidae, áfidos, Psocoptera, huevos de grillotálpidos y estados inmaduros de hormigas y termitas. Algunas especies son parasitoides verdaderos (su larva se desarrolla sobre un solo hospedante, al cual le causa la muerte). Unas pocas especies son completamente herbívoras, principalmente de semillas, o pueden ingerir alimento vegetal si está disponible. Las larvas se encuentran en los mismos hábitats que los adultos y se alimentan de lo mismo que ellos.

Generalmente, se considera que los carábidos incluyen grupos como Cicindellinae y Paussinae, incluso Rhysodinae, aunque algunos especialistas consideran que estos grupos tienen categoría de familia.

Familia Cicindellidae

Conocidos también como escarabajos tigre. Usualmente presentan coloración metálica e iridiscente, con un patrón de coloración definido. Tienen ojos prominentes y la cabeza igual o un poco más ancha que el pronoto.

Familia Hydrophilidae

Los Hydrophilidae se caracterizan por tener antenas relativamente cortas que constan de siete o nueve segmentos y una masa pubescente de tres o raramente cuatro segmentos, precedida por un segmento transversal glabro, llamado cúpula. Las especies terrestres más pequeñas, generalmente son mal identificadas como miembros de otras familias caracterizadas por poseer cuerpos pequeños, brillantes, oscuros, redondeados a ovalados. Lo que se debería notar son las antenas cortas y palpos largos, frecuentemente combinados con una superficie inferior opaca, finamente pubescente (plastrón). Los *Epimetopus*, *Georissus* e *Hydrochus* son hidrofílidos inusuales.

Familia Staphylinidae

La familia Staphylinidae es muy grande y diversa. Afortunadamente la gran mayoría de las especies neotropicales tienen élitros muy cortos, que dejan a la exposición tres o más tergitos abdominales, lo cual los separa de la mayoría de los otros coleópteros. Sin embargo, los élitros cortos como éstos se pueden encontrar no solo en otros estafilinidoideos, tales como los sílfidos nicroforinos y algunos ptilíidos, sino también en varios miembros de otras familias presentes en América Central. Los más comunes de los estafilínidos atípicos son los *Pselaphinae* y *Scaphidiinae*, que se consideran como familias aparte. Otro grupo poco común es *Micropeplinae*.

Familia Passalidae

Los Passalidae son un grupo muy distintivo de escarabajos grandes, glabros y con cuerpo pedunculado, con élitros estriados y antenas pectinadas que tienden a enrollarse hacia arriba. A diferencia de todos los otros escarabeoideos, excepto Trogidae, las cavidades mesocoxales están cerradas lateralmente.

Familia Melolonthidae

Esta familia antes conocida como **Scarabaeidae,** está formada ahora por muchas subfamilias, las más importantes son: Melolonthinae, Dynastinae y Rutelinae, en las cuales se encuentran muchos insectos de importancia económica que hacen daño al sistema radicular de las plantas. Son insectos robustos con el cuerpo glabro o setoso, varían mucho en tamaño, hasta más de 100 mm. Se caracterizan por tener un tarso con cinco segmentos y antenas lameladas, con ocho a 11 segmentos. Los últimos tres segmentos antenales se expanden en una estructura en forma de placa que se puede separar o pueden estar fusionadas. Las tibias de las patas frontales son más o menos dilatadas con el borde externo dentado.

Es una familia muy numerosa y diversa. Las larvas son poco activas, cilíndricas, curvadas en forma de "C", con una cabeza bien desarrollada y patas torácicas. Las larvas se alimentan de raíces, savia y madera en descomposición, mientras que los adultos se alimentan de hojas y flores. En algunas especies tanto las larvas como los adultos se alimentan de carroña, excrementos, piel y plumas.

Subfamilia Melolonthinae

Las especies de esta familia desempeñan funciones importantes dentro de las comunidades bióticas por medio de polinización, degradación, facilitación del reciclaje de la materia orgánica.

Sin embargo, esta subfamilia también incluye especies cuyas larvas tienen importancia económica porque se alimentan de raíces de plantas vivas afectando cultivos como maíz, sorgo, leguminosas, cafetos, caña de azúcar y hortalizas, entre otros.

Familia Ptilodactylidae

En general, los Ptilodactylidae tienen un protórax característico, ancho en la parte posterior y angosto en la anterior, con los márgenes laterales reducidos o ausentes. Además, existe un complejo mecanismo protorácico de entrelace que incluye crenulaciones.

Familia Elateridae

La mayoría de los Elateridae no se confunden con otros debido a la forma característica elateriforme, con ángulos pronotales posteriores que se proyectan, proesterno largo, procoxas globulares con trocantines tapados, carencen de una sutura metaventral transversal, láminas metacoxales bien desarrolladas y cuatro ventritos connados. Algunas de las formas más inusuales que podrían ser mal identificadas son los Thylacosterninae y los Lissominae. Los primeros semejan a Eucnemidae y los segundos a Throscidae; ambos tienen un tipo poco usual de cavidad antenal profunda. Algunos miembros de Cebrioninae son también atípicos, ya que poseen cuerpos relativamente suaves, con las cavidades procoxales algo más abiertas.

Familia Lycidae

Los miembros de Lycidae al igual que los de Lampyridae, Cantharidae y Telegeusidae son de cuerpo muy blando y frecuentemente de colores llamativos. Los lícidos generalmente son reconocidos por los élitros, los cuales tienen frecuentemente carinas longitudinales conectadas por otras transversales o separadas por hileras de puntuaciones profundas en forma de ventana. Se encuentran habitualmente en el día sobre las hojas de las plantas.

Familia Lampyridae

Los Lampyridae y los relacionados Cantharidae, son familias muy comunes y frecuentemente se confunde una con la otra. Los Lampyridae se distinguen frecuentemente de los Cantharidae por tener la cabeza cubierta bajo el pronoto y poseer órganos productores de luz, que se aprecian como áreas amarillentas claras, pero algunos lampíridos no tienen órganos de luz y algunos cantáridos tienen la cabeza algo tapada. El labro esclerotizado y articulado puede separar además a los lampíridos de los cantáridos, así como los ojos grandes y las inserciones de las antenas juntas. Las larvas son carnívoras y a veces emiten luz, en algunos lugares se les llama "gusanos luminosos". Existe registros que indican que los huevos de las luciérnagas también emiten luz. Los adultos generalmente son de hábitos nocturnos, de día se los encuentra descansando en las plantas.

Familia Cantharidae

Los Cantharidae comparados con Lampyridae, tienen antenas más separadas y el labro es membranoso o tapado. Existen especies con élitros muy cortos, que muestran los tergitos abdominales. Una de varias características que los distinguen de los Staphylinidae es el lóbulo membranoso presente en el cuarto tarsómero.

Familia Dermestidae

La mayoría de Dermestidae son relativamente fáciles de distinguir por su forma característica, por la cobertura de setas gruesas o escamas, que forman patrones, y por la presencia de un solo ocelo medio en la cabeza. El cuerpo de los derméstidos generalmente es compacto, con excavaciones y cavidades para alojar las antenas y patas.

Los "escarabajos de alfombra", que se alimentan de las alfombras de lana, son muy conocidos porque las larvas consumen casi cualquier tipo de producto animal, como cuero, lana, seda, plumaje, cabello, carne seca, insectos muertos y hasta material seco de plantas. El uso de refrigeración, la compra de carnes en menores cantidades y el menor uso de la carnes curadas por desecación en los hogares, ha reducido la importancia económica de este grupo como plaga. En esta familia se encuentra la plaga cuarentenaria más temida en Suramérica conocida como el gorgojo khapra, *Trogoderma granarium* Everts, un insecto de productos almacenados que puede llegar a convertirse también en plaga del café almendra verde almacenado.

Familia Bostrichidae

La mayoría de los Bostrichidae son de forma elongada y algo cilíndrica, la cabeza permanece doblada hacia abajo y escasamente es visible desde arriba. Las antenas son rectas y terminan con un grupo de tres a cuatro segmentos capitados. La mayoría de las especies varían en tamaño entre 3,5 y 12 mm en longitud. Estos insectos por lo general, son barrenadores de troncos en árboles vivos o de madera en descomposición. La especie más importante, que ataca plantaciones de café, es *Apate monachus* F., es común en África y Asia y también se ha distribuido en Brasil y en Centroamérica, pero aún no se ha registrado en Colombia.

Familia Anobiidae

Los Anobiidae son diversos en forma y frecuentemente son confundidos con miembros de otras familias. Los anobíidos comúnmente encontrados en áreas tropicales, son compactos, con el protórax excavado ventralmente, de forma tal que éste se ajusta a la base de los élitros y cubre la cabeza y las antenas. Los individuos de la subfamilia Ptininae son muy diferentes en forma e incluyen los llamados escarabajos araña. Otra forma inusual en la región neotropical es *Gnostus*, que posee unas antenas altamente modificadas y vive con las hormigas.

Dentro de la familia Anobiidae se encuentra la "carcoma de los muebles", *Anobium punctatum* (De Geer), y el "reloj de la muerte", *Xestobium rufovillosum* (De Geer), dos plagas de la industria de los muebles y de la madera. El *Anobium punctatum* está especialmente difundido en las regiones costeras y en los lugares donde prevalecen condiciones de alta humedad. Preferiblemente atacan la madera cortada. Las larvas son responsables de excavar galerías con carcoma gruesa mezclada con excrementos. Aunque esté muy afectada, la madera no pierde completamente su resistencia y la estructura es siempre reconocible. *X. rufovillosum* ataca de preferencia la madera cortada y ya elaborada, pero siempre con suficientemente humedad, de especies como: encina, olmo, nogal, aliso, o sobre troncos viejos de sauce. Los daños del *X. rufovillosum* son análogos a los de *A. punctatum.*

Familia Nitidulidae

Los Nitidulidae son un grupo grande y variable caracterizado por presentar antenas capitadas bien marcadas, procoxas transversales con trocantines expuestos, y siempre sin galea maxilar. Las subfamilias más importantes son Cybocephalinae, Carpophilinae y Cillaeinae. La subfamilia Cybocephalinae se puede confunidr con la familia Clambidae, pero se diferencian de éstos porque carecen de láminas metacoxales que sí están presentes en Clambidae, y tienen tarsos más anchos y setosos. Los Carpophilinae y Cillaeinae tienen élitros cortos exponiendo más de un tergito abdominal; y algunos se pueden confundir con Staphylinidae, pero la presencia de antenas capitadas prominentes son suficientes para distinguirlos de los Staphylinidae.

Familia Cucujidae

La mayoría de los escarabajos en este grupo son extremadamente aplanados, con coloración café rojiza o amarillenta. Gran parte de las especies de este grupo son predadoras de pequeños insectos y algunas especies parasitan la etapa larval de algunas especies de cerambícidos, y otras pocas especies se alimentan de granos almacenados.

Familia Coccinellidae

Los Coccinellidae son un grupo relativamente grande, que incluye muchas especies diminutas que son difíciles de ubicar. En general, los coccinélidos tienen antenas cortas y claviformes, con palpómeros maxilares muy expandidos, sin sutura frontoclipeal y con líneas curvadas en el primer segmento ventral. Sin embargo los palpómeros extendidos no se presentan en una subfamilia que incluye muchas especies muy pequeñas. Los adultos de Coccinellidae tienen forma de domo oval, su tamaño varía desde 1 a 10 mm, de acuerdo con la especie. Las hembras son un poco más grandes que los machos. Tienen patas y antenas cortas, y usualmente las esconden debajo de sus cuerpos cuando se los molesta. La mayoría de los coccinélidos son de colores brillantes y la mayoría de los adultos y larvas son predadores. Se alimentan de insectos muy pequeños, como áfidos y ácaros, que encuentran en las plantas donde habitan. Pueden consumir néctar de las flores, agua y el fluido dulce que segregan los áfidos, como suplemento nutritivo. Unos pocos, sin embargo, se alimentan de plantas.

Familia Tenebrionidae

Los adultos de los tenebriónidos son normalmente de hábitos nocturnos y es común encontrarlos en troncos y ramas de árboles vivos o muertos, especialmente en aquellos caídos. Otras especies se encuentran en el suelo. Muchos tenebriónidos son atraídos por las luces. Las larvas son de forma cilíndrica y alargada con la cutícula coriácea, y se semejan superficialmente a las larvas de Elateridae. Generalmente, se encuentran en maderas en descomposición, y son poco comunes en el suelo.

Familia Meloidae

Los Meloidae tienen una cabeza característica, la cual es deflexa y abruptamente angosta para formar un cuello; el protórax generalmente carece de márgenes laterales y las uñas tarsales son pectinadas.

Familia Cerambycidae

Una gran mayoría de las especies de esta familia tienen el cuerpo alargado y aproximadamente cilíndrico, con antenas sumamente largas, a excepción de algunas especies de las subfamilias Prioninae y Parandrinae. En muchas ocasiones el primer segmento antenal es mucho más largo que los demás, y los ojos pueden rodearlo parcial o totalmente. El cuerpo puede presentar una coloración vistosa e inclusive metálica. Los tarsos generalmente son bilobulados. Las especies de la subfamilia Parandrinae son conocidas como "cerambícidos aberrantes" ya que son diferentes a la mayoría, especialmente porque la longitud de sus antenas no sobrepasa la base de los élitros.

La gran mayoría de los adultos de Cerambycidae, especialmente aquellos de coloración vistosa, son diurnos y se alimentan de polen. Otros pueden alimentarse de madera, hojas o savia. Cuando la coloración es oscura o críptica, por lo general, son de hábitos nocturnos y durante el día se les puede encontrar en reposo sobre troncos caídos. La madera recién cortada les resulta muy atrayente. En los cafetales de África y Asia se presentan muchas especies de Cerambycidae haciendo daños importantes al cultivo. Las especies más comúnes son: *Xylotrechus quadripes* Chevrolat, *Acalolepta cervina* (Hope), *Bixadus sierricola* (White), *Monochamus leuconotus* (Pascoe), *Dirphya nigricornis* (Olivier). En Centro América se encuentran *Neoclyctus cacicus* Chevrolat, y *Plagiohamus* spp.

Familia Chrysomelidae

Los Chrysomelidae generalmente son fáciles de reconocer por los tarsos seudotetrámeros, generalmente combinados con antenas filiformes, y frecuentemente con surcos en la región frontal de la cabeza. Sin embargo, la familia es grande y diversa, y algunos pueden ser confundidos con gorgojos, los cuales presentan tarsos similares. Los Bruchinae son colocados frecuentemente en una familia aparte.

Familia Curculionidae

Recientemente esta familia ha sido objeto de revisión y ahora comprende un gran número de subfamilias que antes figuraban como familias, entre éstas se destacan Scolytinae y Platypodinae. Los Curculionidae son raramente confundidos con otras familias, excepto quizá los miembros de Scolytinae y Platypodinae, que semejan a algunos Bostrichidae o Ciidae, pero difieren en que tienen ojos alargados y antenas geniculadas capitadas.

La mayor parte de las especies en este grupo son plagas no solo de cultivos, plantaciones forestales y ornamentales, sino también de productos almacenados.

Subfamilia Scolytinae

Son cucarrones pequeños y cilíndricos, raramente miden más de 8 mm de longitud y usualmente son de color café o negro. Las antenas son cortas y geniculadas y tienen antenas que terminan en una clava prominente.

Este grupo es considerado de gran impacto económico en agricultura y plantaciones forestales. En algunos casos se ha registrado causando daños hasta en un 90% de las plantaciones. En esta subfamilia se encuentra la plaga más importante del café en el mundo, *Hypothenemus hampei*.

Subfamilia Platypodinae

Estos insectos son de forma elongada, alargada y con la cabeza levemente más ancha que el pronoto. Presentan coloraciones cafés o negras, y mide entre 2 y 8 mm de longitud. Los tarsos son 5-5-5, muy delgados y alargados, con el primer segmento más largo que todos los segmentos restantes.

Este grupo es considerado muy importante en el ámbito económico, debido a que los adultos atacan algunas plantaciones forestales.

Familia Anthribidae

Los miembros de esta familia se encuentran normalmente sobre maderas en descomposición o sobre hongos. A pesar de ser una familia numerosa, apenas una especie, *Araecerus fasciculatus* (De Geer), es capaz de producir serios daños a los granos y otros productos almacenados. Es una plaga seria del café almacenado. Debido a su gran capacidad de vuelo pueden infestar los productos en el campo, y continuar su desarrollo durante el almacenamiento.

También puede alimentarse de una gran variedad de productos tales como almendras de cacao, nuez moscada, fríjol, yuca, batata dulce, semillas de girasol, frutos secos, etc.

Orden Diptera

Comprende las moscas, los mosquitos, los zancudos y los jejenes. Tienen como característica principal el poseer un solo par de alas (Di =dos, pteron =ala) localizadas en el mesotórax (Figura 3.1). Las alas posteriores (metatorácicas) se han reducido a pequeñas estructuras en forma de cerillas denominadas hálteros o balancines. El aparato bucal varía según los hábitos alimentarios: picador-chupador en los hematófagos como Culicidae, Simuliidae, Tabanidae y algunos Muscidae, y raspador-lamedor como en la mayoría de los Muscidae. En algunos, las antenas son filiformes y plumosas en otros, pero en la mayoría son de tipo aristada. En las familias Tipulidae y Micetophilidae las patas son muy largas y delgadas, en comparación con el resto de las familias.

En el orden Diptera se encuentra una gran diversidad de hábitos alimentarios, los más importantes son: minadores de hojas, Agromyzidae; barrenadores de tallos y de frutos, Lonchaeidae; perforadores de maderas, Pantophthalmidae; perforadores de frutos, Tephritidae; micetofagos, Mycetophilidae; agallícolas, Cecidomyidae; hematófagos, Culicidae, Simuliidae y Tabanidae; parasitos del ganado, Cuterebridae; carroñeros (necrófagos), Muscidae; vectores de enfermedades humanas, Culicidae y Muscidae; predadores, Asilidae; y parasitoides, Tachinidae y Bombylidae, entre otros.

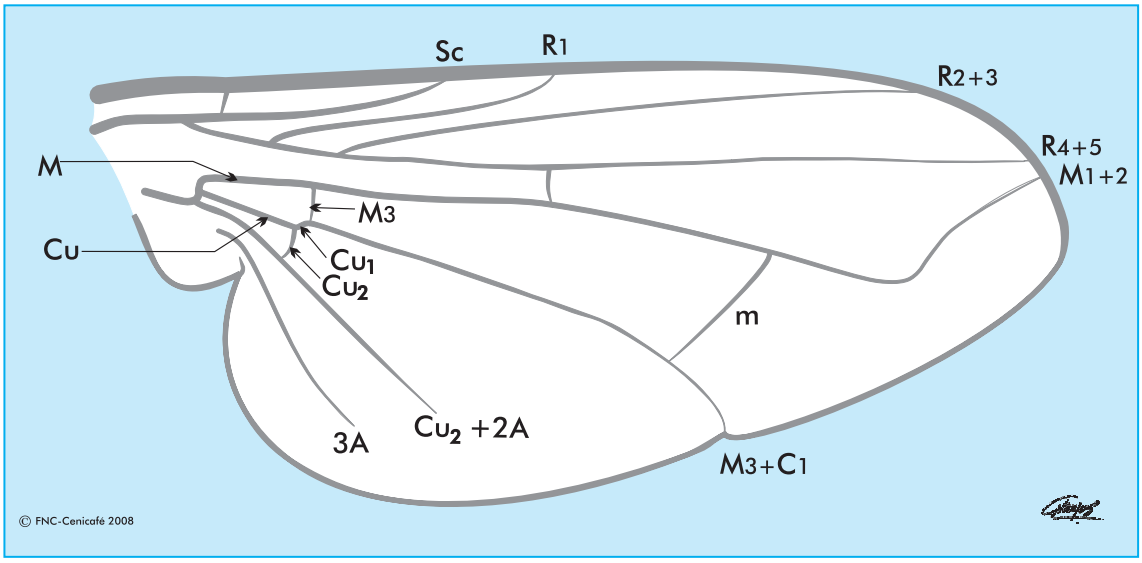


Figura 3.1. Esquema general de las alas de un díptero. Se observa la distribución de las venas y celdas.

Familia Sciaridae

Los Sciaridae son un grupo considerablemente grande de moscas, de tamaño que varía entre 1 y 11 mm. Las especies de la mayoría de los géneros presentan puente ocular y antenas largas con sus artejos cilíndricos y cubiertos de setas. Los palpos maxilares presentan de 1 a 4 segmentos; cuando se presenta más de un segmento, el basal es muy reducido y el segundo por lo general tiene un foso sensorial. Tienen tres ocelos. Algunos de los escleritos pleurales son peludos, particularmente el pronoto y el proepisterno. Generalmente, es evidente un foso pleural. Las alas de los Sciaridae son típicas, debido principalmente a la posición longitudinal de las venas R-M y M-Cu, la vena R5 nunca es bifurcada, y está paralela a C en la mayor parte de su longitud. Las venas R2+3 y R4 siempre están ausentes. Tampoco presentan la M3 y la celda discal y la posición basal de la bifurcación de CuA.

Los Sciaridae se parecen a los Mycetophilidae, pero la venación es diferente. En general, son negros o café oscuro, miden de 3 a 10 mm. Las larvas atacan raíces de plantas.

Las larvas de los sciáridos se alimentan de hongos tal y como lo hacen otros Mycetophiliformia. Pueden ser recolectados en casi cualquier lugar húmedo con materia vegetal en descomposición atacada por hongos. Diferentes grupos de la familia están especializados en atacar tejidos vivos de plantas. Se conocen sciáridos que atacan plantaciones de hongos comestibles y también ocasionan daños a eucaliptos, a varias especies de *Solanum* y a cultivos de rosas. El hábito de las larvas de empupar juntas es un patrón general en la familia, aunque se ha perdido en algunos subgrupos.

Familia Cecidomyiidae

Los Cecidomyiidae son Diptera: Nematocera, de tamaño pequeño, más conocidos por las agallas que producen sobre las plantas, que por los insectos en sí. Los adultos son zancudos muy pequeños, delicados y con patas y antenas largas. Las venas del área costal son fuertes, las demás, cuando existen, son delgadas.

Los cecidomiidos o mosquitos de agallas, son moscas finas y frágiles, generalmente de 3 mm de longitud. Las antenas son por lo general largas y flexibles, principalmente en los machos. La venación de las alas es muy reducida, con solo dos venas largas y notorias. La tibia carece de espinas. El color es variable, algunas veces con patrones llamativos, claros y oscuros.

Las larvas de la mayoría de las especies producen agallas en las plantas, las otras son fitófagas (algunas viven en agallas producidas por otros insectos) y algunas son saprófagas (por ejemplo, los Lestermiinae). Algunas especies son depredadoras de áfidos, escamas e insectos pequeños. Las larvas son gusanitos delgados con una marca en forma de T sobre el lado ventral del protórax. Son de coloración amarilla, anaranjada, roja o rosada. Pueden producir agallas sobre cualquier parte de la planta y pueden tener muchas formas diferentes, pero por cada especie solo existe un tipo de agalla, siempre situado en el mismo lugar de una planta. Existe el fenómeno de pedogénesis en algunas especies saprófagas, en el cual la larva es capaz de producir huevos que dan lugar a más larvas. Algunas especies son plagas de importancia económica, como *Contarinia sorghicola*, plaga del sorgo.

Familia Culicidae

Los Culicidae forman una familia numerosa de Diptera: Nematocera. Las larvas son acuáticas, los adultos pueden identificarse por la venación alar, con escamas y la proboscis larga. Los adultos son delicados, de 3 a 9 mm de longitud. Con cabeza globosa, grandes ojos compuestos y sin ocelos. Las antenas largas y finas, nacen de los lados de la frente, y están constituidas por 15 segmentos. En la base de cada segmento nacen pelos, que en el caso de los machos son largos y densamente dispuestos, y dan la apariencia de una pluma; en la hembra los pelos son cortos y escasos. Las piezas bucales, de tipo estiletiforme, están escondidas en un estuche, y forman la llamada proboscis. A cada lado de la proboscis se encuentran los palpos, que sirven para distinguir a los sexos y para separar la subfamilia Anophelinae de la subfamilia Culicinae. Son importantes en la medicina, debido a que son vectores de muchas enfermedades tropicales.

Las larvas de zancudos se encuentran en muchos tipos de aguas, por ejemplo en charcos, huecos o recipientes artificiales, cada especie se reproduce en un tipo de agua característico. Estos zancudos depositan los huevos en paquetes sobre la superficie del agua. Las larvas comen algas y material vegetal en descomposición. Las larvas respiran principalmente desde la superficie, con ayuda, muchas veces, de un sifón. Las pupas son acuáticas y al contrario de los otros insectos, son bastante activas. Respiran en la superficie del agua con dos órganos parecidos a unas trompetas, que poseen sobre el tórax.

Los adultos se mantienen cerca de su lugar de crianza. Son principalmente nocturnos y descansan durante el día. Las hembras son hematófagas y los machos consumen néctar de las flores. Los machos se pueden reconocer por las antenas plumosas. Los Culicidae son vectores de enfermedades como malaria, dengue, encefalitis y fiebre amarilla, entre otras.

Familia Tabanidae

Es una familia de moscas robustas que varían en tamaño de 6 a 30 mm. Comúnmente son de color marrón, negro o gris, y pueden presentar un patrón distintivo de líneas o manchas oscuras o claras. También pueden ser de color amarillo, verde o de colores metálicos. La cabeza es relativamente grande. Los ojos ocupan gran parte del frente de la cabeza, y están separados (dicópticos) en las hembras y unidos (holópticos) en los machos. Los ocelos, bien desarrollados, están presentes en las subfamilias Pangoniinae y Chrysopsinae y ausentes en Tabaninae. Las antenas son alargadas y trisegmentadas (escapo, pedicelo y flagelo). El flagelo se subdivide en ocho flagelómeros en Pangoniinae, pero se reduce a cuatro en Tabaninae.

La proboscis es a veces muy alargada, a menudo esclerotizada, especialmente en Pangoniinae, y presenta un labelo agrandado en la mayoría de especies. En los tarsos de las patas, el empodio es pulviliforme, como en otros Brachycera inferiores. En el ala hay una celda discal grande, y las venas R4 y R5 divergen en la parte apical del ala para encerrar la punta (Figura 3.2). Muchas especies presentan alas teñidas o un patrón de marcas claras y oscuras.

Las larvas de Tabanidae son cilíndricas, fusiformes (punteadas a ambos lados). De color usualmente blanco, crema o verdusco a pardusco, y a menudo tiene marcas pubescentes más oscuras.

La cápsula cefálica es retráctil en los segmentos toráxicos y tienen mandíbulas esclerotizadas, paralelas y ventralmente curvadas. Presentan un sifón respiratorio terminal. El cuerpo usualmente tiene estrías cuticulares longitudinales. Los primeros siete segmentos abdominales portan tres o cuatro protuberancias carnosas llamadas seudopatas.

Los Tabanidae o tábanos son hematófagos, atacan animales domésticos y al hombre.

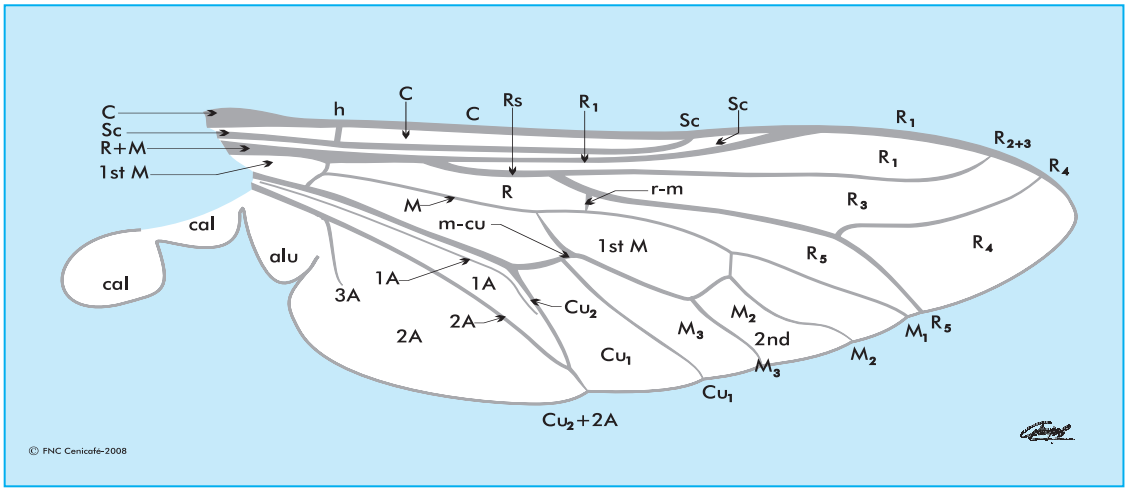


Figura 3.2. Esquema general de las alas de un Tabanidae. Se observa la distribución de las venas y celdas.

Familia Syrphidae

Moscas medianas, miméticas de abejas o avispas, se encuentran sobre las flores. Los Syrphidae se reconocen por la vena recurrente de las alas. Las larvas son depredadoras y viven sobre follaje o son saprófagas y viven en material vegetal en descomposición o en agua sucia. Algunas de las larvas que viven en agua sucia tienen en la parte posterior un tubo para respirar. Frecuentemente se cita una vena falsa como una característica particular de estas moscas. Sin embargo, no se encuentra en todos los sírfidos y además, sí se encuentra en otras familias (Conopidae, Empididae).

Los Syrphidae son de gran importancia económica, debido a que los adultos son polinizadores, y en cultivos agrícolas pueden desempeñar el papel de las abejas. Las larvas de la subfamilia Syrphinae son depredadores muy importantes de muchas plagas tales como áfidos, escamas, trips y larvas de mariposas. Son comparables con las mariquitas (Coccinellidae) y crisópidos en su actividad depredadora; sin embargo, algunos sírfidos son perjudiciales. Las larvas de algunas especies de los géneros *Merodon* y *Eumerus* atacan bulbos y tubérculos de plantas ornamentales y legumbres. Algunas especies han sido reportadas como causantes de miasis accidental en humanos.

Familia Tephritidae

Los Tephritidae se reconocen por tener en el ala la vena subcostal, orientada bruscamente hacia adelante. Sus alas están irregularmente manchadas en patrones variados según la especie. Las hembras poseen el ovipositor bien esclerotizado, lo que las distingue de casi todas las otras familias, excepto de algunas muy cercanas.

Los tefrítidos comprenden especies de moscas de frutas de mayor importancia económica en el mundo. Los adultos generalmente no producen daño, pero las larvas que se alimentan del tejido vegetal vivo, causan daños serios a muchas frutas comerciales, tales como mangos, guayabas y naranjas.

Los tefrítidos presentan varios comportamientos y formas. Algunas especies del género *Rhagoletis* colocan las alas de tal forma que sus dibujos se asemejan a una araña saltadora, probablemente para ahuyentar a sus depredadores. Otras especies, por ejemplo *Toxotrypana curvicauda*, son imitadoras de avispas. Frecuentemente, el cortejo incluye la ondulación de las alas y la producción de feromonas por los machos; los cuales, en algunas especies, tienden a formar grupos mientras liberan la feromona de atracción para las hembras. En otras especies, como en el caso del género *Paracantha*, antes o después de la cópula, los machos pasan un fluido salival a las hembras, y ponen en contacto las proboscis. En las especies de *Eutreta* el macho hace una masa de espuma sobre la planta en la que se hospeda para atraer a la hembra. Algunas hembras de Trypetinae producen una feromona de oviposición, con el fin de evitar que otras hembras depositen huevos en el mismo fruto.

Para algunas plagas se emplean trampas especializadas, pero en general la mejor forma de obtener tefrítidos es criándolos en los huéspedes en donde se alimentan.

Familia Otitidae

Los Otitidae son moscas pequeñas, alargadas, con las alas, muchas veces, marcadas en bandas transversales negras. El cuerpo a veces es brillante o metálico. En general, los adultos se encuentran en lugares húmedos. Las larvas viven en material vegetal en descomposición, algunas atacan plantas y pueden ser plagas agrícolas.

Familia Lonchaeidae

Los Lonchaeidae son pequeñas moscas brillantes, a veces metálicas. Los adultos se encuentran en lugares húmedos. Las larvas atacan plantas y pueden llegar a ser plagas.

Familia Agromyzidae

Los Agromyzidae son moscas pequeñas, negruzcas o amarillentas. Las larvas son minadores de hojas, hacen una mina serpentina. Algunas especies son plagas serias, más que todo en cultivos jóvenes.

Familia Muscidae

Los adultos de Muscidae son de tamaño medio, generalmente entre 3 y 10 mm. Presentan colores oscuros, grises o amarillos, pero algunos son azules o verdes metálicos. La familia Muscidae puede reconocerse por presentar la vena A1 + CuA2 incompleta, pero extendida más allá de la mitad del trayecto desde la base al margen del ala; la tibia posterior sin una seta dorsal submediana, aunque algunas veces hay una seta similar, la "calcar", ligeramente posterior a la dorsal y situada en la mitad apical de la tibia; el segmento tarsal basal de las patas posteriores no tiene una seta ventral; las láminas fronto-orbitales son angostas, los márgenes internos cóncavos, más anchos cerca de la parte media de la frente. Los grupos más primitivos presentan la subcosta ligeramente curveada y no sinuosa, con setas orbitales inclinadas y un par de setas cruzadas en la vista frontal.
Los Muscidae comprenden una familia muy grande, compuesta de unas 1.000 especies especies, entre las que se encuentra la especie más representativa, la mosca casera, *Musca domestica* L. Las larvas comen basura o excrementos. Los adultos se alimentan de toda clase de materia orgánica o azucarada, son vectores de enfermedades, ya que se posan sobre excrementos y luego sobre la comida o en las heridas de animales o humanos.

Las larvas de algunos grupos son muy importantes en la agricultura, debido a que son plagas primarias en plantaciones. Además, algunas son invasoras de productos almacenados, que incluyen productos agrícolas y comerciales. La mosca de los establos *Stomoxys calcitrans* L., es muy abundante en áreas rurales o semirurales y, frecuentemente, causan molestias a animales y al hombre. La mayoría de las especies, sin embargo, tienen hábitos reservados y casi no tienen contacto con el hombre y su ambiente. Algunos grupos como las subfamilias Limnophorinae y Coenosiinae, son depredadores de otros insectos. Se sabe que los Limnophorinae son enemigos naturales de Simuliidae y Culicidae (zancudos), tanto en el estado adulto como larval.

Familia Tachinidae

Moscas muy variadas, tanto en tamaño como en forma. La mayoría presentan antenas lisas y el abdomen con pelos gruesos. Son parasitoides de toda clase de insectos. Algunas son importantes en el control biológico de plagas de cultivos.

Los taquínidos adultos varían en tamaño desde los 2 a los 20 mm de longitud. A pesar de que casi todos tienen forma similar a la mosca común, unos pocos son delgados y con forma de avispa y, los miembros del género *Trichopoda* semejan abejas meliponinas (del género *Trigona*). Muchas especies, principalmente las más grandes son de cuerpo duro, muy peludas y frecuentemente de colores vistosos (el abdomen puede ser anaranjado, azul, ocre o amarillo con el extremo negro), pero la mayoría son grises y se asemejan a los Sarcophagidae, y fácilmente se pueden confundir con ellos. Sin embargo, los sarcofágidos (al menos en la subfamilia Sarcophaginae) poseen tres franjas negras en la parte dorsal del tórax, mientras que casi todos los taquínidos semejantes a sarcofágidos pueden tener o no cuatro franjas.

Las larvas de los Tachinidae son parasitoides internos de otros insectos, además de algunas arañas y ciempiés. Al comienzo de su desarrollo son verdaderos parásitos, que consumen los cuerpos grasosos, sin producir daños serios a su hospedante; sólo en el último estadio, las larvas lo destruyen, a pesar de que hay unas pocas especies que no lo hacen, y el hospedante puede sobrevivir y completar su desarrollo. La gran mayoría de los taquínidos son huéspedes en orugas de Lepidoptera. Las hembras de algunas especies escogen un hospedante apropiado y depositan un huevo directamente sobre él, pero la mayoría de los taquínidos no necesitan encontrar directamente un huésped para parasitarlo.

Orden Lepidoptera

Comprende las mariposas y las polillas, es uno de los órdenes de mayor importancia por el gran número de especies plagas en cultivos agrícolas, plantaciones forestales y pastizales. Los lepidopteros (lepidos = escama, pteron =ala) tienen dos pares de alas membranosas, cubiertas de escamas superpuestas, al igual que el cuerpo y las patas. Las partes bucales en el adulto son adaptadas para succionar, con forma de un tubo llamado espiritrompa, que cuando está en reposo permanece enrollada en la parte inferior de la cabeza. Tienen reproducción sexual y metamorfosis completa. Las mariposas (lepidópteros diurnos) presentan colores vistosos, mientras que las polillas (lepidópteros nocturnos) son de colores sobrios, que les permiten generalmente camuflarse con los sustratos sobre los cuales permanecen en reposo durante el día.

En el orden Lepidoptera están agrupadas gran cantidad de especies de gran importancia como plagas en plantaciones forestales, como son: la polilla gitana *Lymantria dispar* (Lep.: Lymanthridae), la mariposita europea de los brotes *(Rhyacionia buoliana)* (Lep.: Tortricidae), los medidores americanos de varias especies forestales *Alsophila pometaria, Ennomos subsignarius* y *Phigalia tittea* (Lep.: Geometridae) y gran cantidad de defoliadores de coníferas en Colombia como son *Glena bisulca* (Rindge), *Oxydia trychiata* (Guenée), *Cargolia arana* Dognin, *Melanolophia commotaria* Maassen y *Sabulodes glaucularia* (Snellen), entre otros.

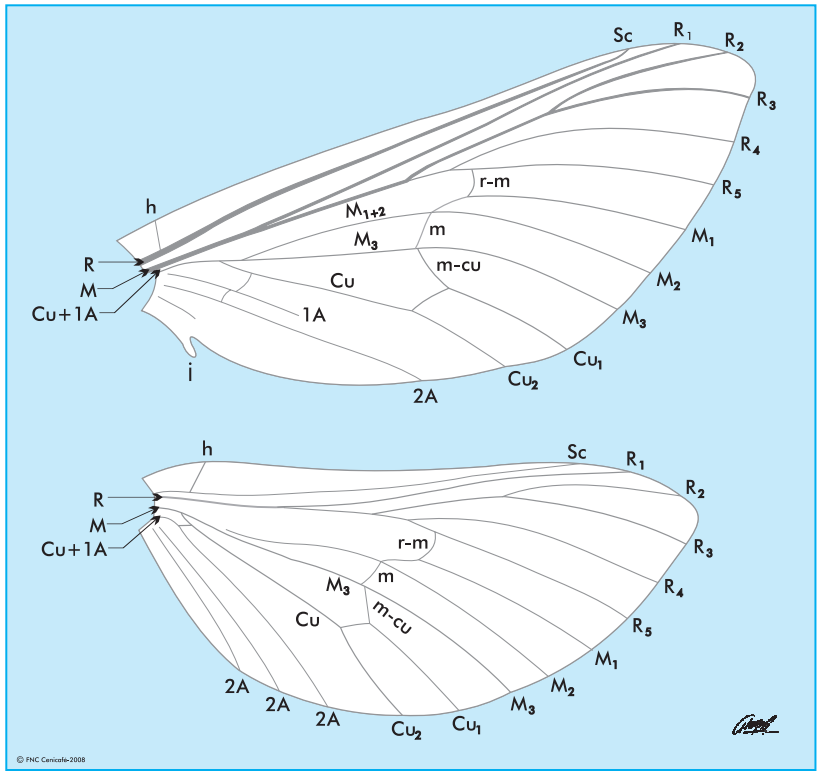


Figura 3.3. Esquema general de las alas de un lepidóptero, anterior arriba y posterior abajo. Se observa la distribución de las venas y celdas.

Familia Saturniidae

Muchos miembros de esta familia son conspicuos o brillantemente coloreados, y muchos tienen áreas transparentes en las alas. Su cuerpo es pequeño, pero pueden tener una envergadura de más de 15 cm. El tórax es grueso y peludo, y el abdomen es grueso. Las antenas son plumosas (bipectinadas o cuadripectinadas)

por casi la mitad o más de su longitud, y son más largas en los machos que en las hembras. Las partes bucales están reducidas y los adultos no se alimentan. Las hembras producen una feromona sexual que los machos pueden detectar desde largas distancias bajo el viento. Muchas especies vuelan durante las horas del día o en el crepúsculo.

Esta familia tiene una vena anal en el ala posterior, la celda discal del ala frontal puede estar abierta o cerrada, y la M, en el ala frontal, no está junta con la R. Las antenas del macho son pectinadas en el ápice.

El cuerpo de la larva generalmente tiene escolus prominentes, éstos son tubérculos en forma de proyecciones espinosas que salen del integumento con ramificaciones de setas. Megalopygidae, Limacodidae y Saturniidae son las tres familias con larvas urticantes dentro de Lepidoptera. Una característica que separa a este grupo y a la familia Nymphalidae es la cabeza, que es lisa y redondeada en los Saturniidae, pero angulosa o portando tubérculos o escolus en los Nymphalidae.

Los adultos son fototrópicos. En cafetales y cacaotales pueden presentarse ocasionalmente *Automeris junoniai* (Wlk.) y *A. zozine* Druce. *Dirphia mediensis* Draut es común en palmas e *Hylesia nigricans* (Berg.) en cipreses.

Familia Arctiidae

Generalmente son pequeñas. La venación de las alas es muy similar a la de los Noctuidae pero la Sc y la Rs en el ala posterior, están usualmente fusionadas hasta casi la mitad de la celda discal. Son polillas nocturnas y cuando están en reposo colocan sus alas sobre el cuerpo. Las larvas presentan crochets heteroideos de diferentes tamaños, y además, poseen muchas verrugas con pelos gruesos. Los capullos pupales son elaborados con pelos de la larva.

El gusano "santamaría" pertenece al género *Antarctia* y son frecuentes en pasto kikuyo y otras gramíneas. En aguacate se conoce el gusano cosechero *Turuptiana oblicua* Walk., y en leguminosas es común *Utethesia ornatrix* (L.).

Las larvas de Arctiidae, Ctenuchidae y Pericopidae generalmente se distinguen de otros miembros de la superfamilia Noctuoidea porque presentan crochets heteroideos, o sea que difieren entre sí. La mayoría de los Arctiidae se pueden separar de los Ctenuchidae y Pericopidae porque poseen cuatro verrugas encima de la coxa en T2 y T3, mientras que estas últimas familias poseen solo tres. Unos pocos Arctiidae poseen crochets homoideos o iguales, y muchos no tienen verrugas, y solo presentan setas en pináculos.

Familia Noctuidae

Son llamados comúnmente pájaros nocturnos. Esta familia es la más abundante del orden Lepidoptera y la de mayor importancia agrícola, son de tamaño pequeño hasta muy grande, en Colombia se encuentra la mariposa más grande del mundo, *Thysania agrippina*.

Las larvas poseen pocos pelos y en general, presentan colores oscuros, pero algunos grupos de esta familia presentan mucho policromismo. La mayoría tienen cinco pares de seudopatas, y las que no las presentan se conocen como falsos medidores. Son filófagas pero también existen carpófagas y trozadores de plántulas o tierreros.

Algunas especies de importancia son: *Mocis latipes* (Guen.) dañina en pastos y otras gramíneas, *Trichoplusia ni* (Hbn.) en algodón, repollo y fríjol. La mayoría de los tierreros o trozadores pertenecen a los géneros *Agrotis*, *Spodoptera*, *Feltia* y *Peridroma*. *Spodoptera frugiperda* (Smith) se conoce como el gusano cogollero del maíz.

Familia Geometridae

Es la segunda familia en importancia en el orden Lepidoptera. Las polillas de esta familia son generalmente pequeñas (2 a 3 cm de envergadura), delicadas y con alas muy amplias comparativamente con su delgado cuerpo, estas alas a menudo son marcadas con finas líneas en forma de V. Son polillas principalmente nocturnas y muy atraídas por las luces. Los machos a menudo poseen antenas plumosas y son filiformes en las hembras. Las larvas se conocen con el nombre de gusanos midecuartas y poseen arreglo podial 3-1-1. En Colombia ocasionan daños en plantaciones forestales de pinos y cipreses las especies: *Glena bisulca* (Rindge), *Oxydia trychiata* (Guenée), *Cargolia arana* (Dognin) y *Sabulodes* sp. Las dos primeras especies defolian ocasionalmente cafetales en Colombia.

Familia Limacodidae

Las larvas son urticantes, los capullos son densos, pilosos en forma de bola, los adultos son pequeños, robustos, muy pilosos y de abdomen pequeño. De esta familia las especies más importantes son: *Phobetron hipparchia* (Cramer) llamado gusano araña y *Sibine* spp., conocidos como gusanos monturita, comunes en musáceas, mango, yarumo, coco, palma, cacao y café.

Familia Pyralidae

Es la tercera familia en importancia dentro del orden, los adultos son generalmente polillas pequeñas y delicadas, y todas poseen órganos timpanales abdominales. Las alas frontales son alargadas o triangulares, los palpos labiales a menudo se proyectan hacia adelante, por esta razón son llamadas polillas tromponas. Las especies de mayor importancia económica son: *Diaphania hyalinata* (L.) y *D. nitidalis* (Stoll). Una especie muy importante que perfora los tallos de caña de azúcar es *Diatraea saccharalis* (F.), mientras que *Galleria mellonella* (L.) se alimenta de la cera de los panales de las abejas. Las especies *Plodia interpunctella* (Hubner) y *Anagasta kuehniella* (Zeller), son dañinas en granos almacenados. En África Central se registra la especie *Prophantis smaragdina* (Butler), como una plaga muy seria en cafetales.

Familia Stenomidae

Actualmente se considera como una subfamilia (Stenominae) de la familia Oecophoridae. Los Stenomidae (menos de 2 cm de envergadura) son los más grandes dentro de los microlepidópteros. Las alas son relativamente amplias y en reposo las colocan sobre el cuerpo, por lo que adquieren un perfil campaniforme. *Stenoma catenifer* Wals., perfora frutos de aguacate y *Cerconota annonella* (Sepp.) perfora frutos y semillas de guanábana.

Familia Psychidae

Son llamados gusanos canasta o gusanos cartucho. La gran mayoría de las hembras son braquípteras (alas cortas) o ápteras, no poseen ojos ni patas en el estado adulto. Las hembras de algunas especies son partenogenéticas. Los adultos machos son generalmente pequeños y con alas bien desarrolladas. La cópula toma lugar en la canasta y los huevos son puestos allí mismo. La larva desde que emerge empieza a construir el canasto con restos de ramas, palos y hojas, y las pega con seda que produce en su aparato bucal hasta formar un cartucho cónico. Son filófagos de poca importancia económica gracias a que tienen muy buenos controladores biológicos.

El género más común entre Colombia es *Oiketicus*, que tiene especies de amplia distribución en frutales, ornamentales, pinnáceas, anonáceas y palmas.

Familia Megalopygidae

(Mega: grande; pigidium: abdomen). Las larvas son conocidas como gusanos barba de indio o gusanos de pollo. Poseen abundantes pelos o verrugas que cubren todo su cuerpo. Estas larvas son urticantes y fácilmente reconocibles porque poseen siete pares de seudopatas, son filófagas.

Los adultos son de tamaño pequeño a medio, con cuerpo densamente piloso y poseen un abdomen globoso. Es común en ellos la coloración blanca con pintas cafés aunque también hay amarillos y de colores oscuros. Los machos tienen antenas bipectinadas. En las alas posteriores la Sc y R están fusionadas hasta la mitad de la celda discal o más allá. Algunas ramificaciones de R en alas anteriores están unidas más allá de la celda discal, la M2 en alas anteriores se origina cerca a la M3.

Son comunes en frutales ornamentales. *Megalopyge orsilochus* Cramer se alimenta en guayaba, aguacate, etc., y otros *Megalogype* se encuentran en almendro, frutales, palmas y cítricos, entre otros. *Podalia bolivari* (Heylaerst) se alimenta de helechos, palma africana y coco.

Los adultos de *Megalopyge* tienen las alas anteriores de forma triangular de color blanco, gris u ocasionalmente rosado. Las venas R2 a R5 de las alas anteriores, salen a partir de un tallo común. La R2 y la R3 no se originan de un punto común, mientras que la R4 y R5 surgen del mismo punto. Las venas Sc y R de las alas posteriores, generalmente están unidas en la mayor parte del trayecto correspondiente con la celda discal. En la mayoría de los géneros, las antenas de los machos son bipectinadas hasta su extremo.

Las larvas se reconocen por la presencia de siete pares de seudopatas, sólo cinco de las cuales (A3 a A6 y la A10) poseen crochets. Son variadas en cuanto a los pelos que las cubren y tienen pelos urticantes. Existen dos tipos de formas del cuerpo: el tipo "peludo" con penachos sedosos, largos y densos que se entremezclan unos con otros para formar una especie de "abrigo de cola", por ejemplo, especies de *Megalopyge*, y el tipo "arctiido" sólo con penachos de setas (por ejemplo, especies del género *Norape*). Se alimentan de hojas de árboles y arbustos, algunas veces causan defoliaciones localizadas. El contacto con sus pelos ponzoñosos, especialmente de las especies de *Megalopyge*, puede producir un dolor local muy intenso y quemante.

Familia Sphingidae

Son llamadas polillas avión, pues la forma del adulto es parecida a un avión. Son de tamaño medio a grande, su cuerpo es pesado, robusto y con alas anteriores estrechas y largas. El cuerpo ahusado es puntudo en sus terminaciones anterior y posterior. Las antenas son ligeramente engrosadas en la mitad y en forma de gancho hacia el ápice. La subcosta y el radio en el ala posterior están conectadas por una vena recurrente y R1 casi en frente de la mitad de la celda discal. La proboscis en muchas especies es muy larga, algunas veces tan larga como el cuerpo o más. Estas polillas son buenas voladoras y la mayoría parecen colibríes y estiran su proboscis cuando están en vuelo frente a una fuente de néctar. Los adultos son atraídos por las luces artificiales.

Las larvas son típicas fitófagas, muy voraces en diversos cultivos y malezas. Son muy grandes (hasta cerca de 9 cm), arreglo podial 3-4-1, llamadas gusanos cachones, porque en el segmento adbominal número 8 presentan un cuerno medio dorsal, el cual aparece largo en los primeros ínstares y va disminuyendo su tamaño hacia los ínstares avanzados, y lo pierden completamente en el último; aunque en unas pocas especies no se presenta. Son larvas prácticamente desprovistas de setas, con algunas pináculas. *Herse cingulata* (F.) ataca papa, *Manduca sexta* (L.) es muy dañino en tabaco y tomate. La yuca, el caucho, la papaya, el algodón, etc., son buenos hospedantes para *Erinnyis ello* (L.).

Familia Brassolidae

Algunas son llamadas mariposas búho, porque ventralmente en sus alas posteriores poseen una figura como ojos, que las hacen muy miméticas con buhos cuando están en reposo. Generalmente son grandes, el cuerpo es grueso y fuerte, aunque su gran amplitud alar las hacer parecer delicadas. Los machos no presentan el primer par de patas.

Las larvas son fitófagas voraces, gruesas, pubescentes, a veces lisas, con un juego general de cuatro cuernos en la cabeza (por lo cual son llamados gusanos cabritos) y con apéndices dorsales bífidos en el segmento abdominal 8. Arreglo podial 3-4-1.

Las crisálidas son gruesas y a veces con puntos brillantes. Son de hábitos crepusculares, de vuelo rápido que puede ser bajo hasta alto. Los adultos se alimentan al atardecer sobre excrementos y otros materiales.

Especies de *Opsiphanes* son frecuentes en ornamentales y palmas, cocotero y plátano. *Brassolis* spp., se encuentra en muchas palmas; en Antioquia se registra *Brassolis sophorae* L. El gusano cabrito que ataca las hojas de la caña de azúcar, pertenece a la subespecie *Caligo ilioneus oberon* Butler.

Familia Hesperiidae

Son llamadas chapolitas saltarinas, debido a su rápido y errático vuelo que parece saltando sobre las hojas; son de vuelo bajo. Su tamaño es medio, difieren de las mariposas en que no tienen ninguna de las ramas de la R que salen de ésta, todas salen de la celda discal. La cabeza es tan ancha como el tórax y las antenas salen separadas en la base y usualmente son estiladas. Cuando están en reposo levantan las alas anteriores en sentido vertical al resto del cuerpo y colocan las posteriores en sentido horizontal o las cruzan. Las alas anteriores son más angostas que las posteriores, con colores opacos, aunque las hay de colores brillantes. El tórax es robusto y peludo.

Las larvas son cilíndricas, lisas, con la cabeza más grande que el protórax (larvas cabezonas), con una fuerte constricción posterior a la cabeza formando un cuello; muchas son transparentes y presentan numerosas setas secundarias en la cabeza y el cuerpo. Se encuentran dentro de "cucuruchos" que hacen doblando el limbo de las hojas desde el borde y lo pegan con seda. Una especie muy abundante en fríjol y otras leguminosas silvestres es *Urbanus* (= *Eudamus*) *proteus* (L.). En arroz es común el género *Panoquina*.

Familia Lyonetiidae

Los Lyonetiidae son uno de los grupos de Microlepidoptera menos conocidos, con 150 especies descritas en el mundo. Las polillas son muy pequeñas con alas bastante angostas. Las alas traseras a menudo son lineales con la Rs que se extiende a través del centro del ala. Generalmente no posee ocelos ni palpos maxilares. Las larvas de estos insectos son minadores de hojas o viven formando refugios entre las hojas.

Se han registrado 20 especies de *Leucoptera* de la región Paleártica occidental. En América uno de los insectos de esta familia de mayor importancia económica es la especie *Leucoptera coffeellum*, que causa serios problemas en cafetales en Centroamérica y Brasil.

En Europa y Canadá hay varias especies plagas muy importantes como son: *Leucoptera prunifoliella* (Hübner) y *Leucoptera malifoliella* (Costa), que atacan cultivos de pera, y *Lyonetia clerkella* como plaga de duraznos y cerezos.

Familia Papilionidae

En la región Neotropical las mariposas que conforman esta familia son de tamaño mediano a grande. Todos los papiliónidos se mantienen aleteando cuando están visitando las flores que utilizan como fuente de néctar, ésta es una característica importante para identificar esta familia en el campo. Los papiliónidos tienen tres pares de patas bien desarrolladas con uñas tarsales simples; las patas anteriores son semejantes a espuelas, debido a un proceso llamado epífisis, que es un colchón móvil parecido a un lóbulo en la superficie interior de la tibia anterior. Los palpos labiales son muy reducidos, anchos y peludos por el frente. Hay tres tribus de esta familia: Troidini, Papilionini y Leptocircini.

La Tribu Troidini, a la que pertenecen los géneros *Battus* y *Parides*, que son especies sin cola en las alas posteriores, de tonalidades principalmente negras con verde iridiscente, roja y amarilla en diferentes

patrones. Todas las especies son consideradas de sabor desagradable para los depredadores y las plantas que hospedan sus larvas pertenecen a la familia Aristolochiaceae. En el Neotrópico estas mariposas son modelos importantes en complejos miméticos Batesiano y Mulleriano, que involucran un gran número de insectos.

La Tribu Papilionini presenta un grupo diverso de especies dentro del género *Papilio*. Los sexos son diferentes en color y forma, y en algunas especies las hembras presentan pequeñas variaciones en el color.

Las especies de la Tribu Leptocircini se reconocen por tener las antenas muy cortas y recurvadas. El género *Eurytides* está compuesto por dos grupos: uno que presenta en las alas líneas negras y colas largas, con las puntas negras. El otro grupo no tiene colas y es mimético con otros papiliónidos y algunas especies de Nymphalidae. Los miembros de esta familia se han encontrado en casi todos los ambientes del mundo.

Las larvas de las especies de esta familia se alimentan del follaje de plantas de las familias Aristolochiaceae (flores de Carraco), Annonaceae (anonas), Lauraceae (iras y aguacatillos), Canellaceae (canela), Hernandiaceae (volador), Rutaceae (naranjos), Apiaceae (apio), Piperaceae (pimientas y candelillos) y, en algunas ocasiones, Magnoliaceae (magnolia). Muchas de las especies de estas familias de plantas tienen aceites volátiles, fenoles y alcaloides, que son sustancias que al ser ingeridas por las larvas, las pueden utilizar como defensas químicas contra sus depredadores.

Todas las especies de mariposas de la familia Papilionidae ponen huevos redondos, lisos o muy poco ornamentados. Las larvas en los primeros ínstares tienen tubérculos, desde los cuales salen setas, y en los últimos ínstares puede que los tubérculos desaparezcan o pueden ser flexibles, como sucede con las larvas de las especies de los géneros *Battus* y *Parides*. Las larvas de los papiliónidos tienen en el dorso del protórax un órgano de defensa llamado osmeterio, este órgano lo everte la larva cuando la molestan, y emite un fuerte olor que contiene ácido isobutírico, esta sustancia podría estar dirigida contra moscas y avispas parasitoides. Recientemente se ha sugerido que las secreciones del osmeterio, emiten feromonas de alarma que atraen a las hormigas, éstas ayudan a la oruga cuando está acorralada. Las pupas de estas mariposas están sujetas al sustrato por un hilo de seda que pasa a través del tercer segmento torácico y las alas. El área donde se localiza la cabeza es bífida y algo extendida, las pupas son crípticas con el sustrato.

Familia Pieridae

Estas mariposas son de tamaño pequeño a mediano, generalmente blancas, amarillentas o anaranjadas o una combinación de estos colores, con marcas y márgenes negros. En las alas de algunas especies la superficie ventral tiene color verde similar a las hojas. Los piéridos se reconocen por tener sus patas bien desarrolladas, con uñas tarsales bífidas y la vena radial del ala anterior dividida en tres o cuatro ramas, raramente en cinco. Los Pieridade en el Neotrópico solo tienen tres subfamilias: Dismorphinae, Coliadinae y Pierinae.

Las familias de plantas hospedantes de las que se alimentan sus larvas son: Mimosaceae para los Dismorphinae, Fabaceae, Caesalpinacea, Mimosaceae y Simaroubaceae para los Coliadinae y Brassicaceae, Capparidacea, Tropaeolaceae y Loranthaceae para los Pieridae. Los huevos de los piéridos son alargados, amarillos o blancos y pueden estar solitarios o en grupos. Las larvas son cilíndricas, sin espinas, con pelos largos y la cápsula de la cabeza redonda con la superficie granulada. Las larvas pueden ser solitarias o gregarias. Como en los papiliónidos, las pupas de todos los piéridos tienen un hilo de seda que ata la pupa al sustrato en un ángulo de 45 grados, o la sujeta contra la superficie horizontal. Todas las pupas son crípticas y semejan partes de la planta (botones, hojas nuevas o flores) o deyecciones de aves. De acuerdo a la especie la pupación puede ser simple o gregaria.

Las mariposas de esta familia se alimentan de néctar de flores. Los machos de algunas especies y algunas hembras pueden congregarse por cientos a lo largo de los ríos, lagunas y aguas estancadas en los caminos rurales, para alimentarse de agua lodosa, la cual bombean a través del intestino y expulsan gotas de agua por el ano. Este comportamiento es muy frecuente durante la época seca, pero puede ocurrir en cualquier período del año.

Se ha informado de migraciones a través de mares, sobre pasos de montañas, a lo largo de las costas y dentro del continente. Las migraciones más conocidas en el Nuevo Mundo son las de especies de los géneros *Ascia* y *Phoebis*. Para la mayoría de las mariposas se desconoce el motivo por el cual migran y adonde van los individuos.

Familia Nymphalidae

Son desde pequeñas hasta medianas en tamaño. Las patas anteriores de estas mariposas son muy reducidas y carecen de uñas, sólo usan las patas medias y posteriores para caminar. Este carácter también existe en Danaidae y Satyridae.

La ala anterior es relativamente amplia y triangular, la vena R tiene cinco ramificaciones, la Cu parece con tres ramificaciones y carece de la 3A. El ala posterior tiene dos venas anales, la humeral recta o encorvada hacia afuera del ala, y la celda discal abierta o cerrada por una débil vena.

Familia Ithomiidae

Tienen el tórax pequeño y poco robusto, y el abdomen delgado y largo. Las alas son opacas en unas especies y transparentes en otras. Las alas son algo triangulares, alargadas y redondeadas en el ápice, con el borde interno aplanado, y las posteriores son oblongas y de menor tamaño que las anteriores. Tienen el primer par de patas atrofiado. Las larvas son espiniformes y las crisálidas son de colores metálicos. La especie *Thuridia psidii aedesia* Doulb., es filófaga en tomate de árbol.

Familia Heliconiidae

Son similares a los Nymphalidae, pero el ala anterior es estrecha, alargada y la vena humeral del ala posterior es encorvada hacia la base de la misma. Las alas son delicadas y normalmente de colores vivos (anaranjado, amarillo intenso, rojizo). El primer par de patas está casi atrofiado.

En pasifloráceas se encuentran *Dione juno* (Cramer) y *D. vanillae* (L.) defoliando estas plantas. Son frecuentes las especies *Heliconius* y *Mechanitis veritabilis* Butl., en cultivos de café, cacao y plátano, entre otras.

Orden Hymenoptera

Comprende abejas, avispas, hormigas y abejorros, entre otros, tienen como principal característica poseer cuatro alas membranosas, aunque algunas especies son ápteras; en otras los machos son alados y las hembras ápteras, y otras presentan castas en las cuales sólo los individuos reproductivamente aptos son alados, como las hormigas. Su tamaño varía desde menos de 1 mm hasta 70 mm. Los himenópteros tienen ojos grandes, excepto las hormigas que los tienen reducidos, poseen antenas largas filiformes o geniculadas, algunas con formas especiales. El aparato bucal es masticador en las abejas, con una trompa retráctil como si fuese una lengua con la cual recogen néctar de las flores, en las hormigas las mandíbulas están adaptadas para cortar hojas y para transportar larvas, pupas y huevos. En las especies aladas, las alas anteriores siempre son más grandes que las posteriores y en el margen anterior de éstas poseen minúsculos ganchos llamados "hamuli" que se adhieren al margen posterior de las alas anteriores, por lo que da la apariencia de ser una sola ala. Los himenópteros tienen reproducción sexual o partenogenética, son ovíparos y las larvas son de tipo eruciforme o vermiforme. Algunos himenópteros son de hábitos sociales y en éstos, las larvas son alimentadas y cuidadas por las obreras.

El orden comprende dos subórdenes. El orden Symphyta que se caracteriza por la unión amplia del tórax con el abdomen, sus larvas son eruciformes, son comedores de follaje o perforadores de tallos y ramas, algunos como *Sirex noctilio* son de gran importancia como plagas forestales.

El suborden Apocrita presenta la base del abdomen muy estrecho, a veces con el primer segmento peciolado, y las larvas son vermiformes. Este suborden comprende dos grandes grupos: Parasitica que tiene sus trocánteres bisegmentados y se desarrollan como parasitoides de otros insectos y el grupo Aculeata, con

trocánter de un solo segmento, además, pueden tener hábitos sociales o solitarios. El orden Hymenoptera comprende especies de gran importancia económica por actuar como polinizadoras de los cultivos (Apidae, Bombidae, Xylopidae), por producir miel y cera (Apidae), por ejercer acción reguladora de otros insectos dañinos, actuando como predadores (Vespidae) o como parasitoides (Trichogrammatidae, Scelionidae, Braconidae, Ichneumonidae). Otras son importantes por los daños que causan en cultivos y plantaciones como las hormigas cortadoras (Formicidae) y las avispas de la madera (Siricidae).

Familia Formicidae

Las hormigas se caracterizan por poseer un segmento corporal especializado llamado pecíolo (Figura 3.4). El pecíolo se encuentra entre la región media y posterior del cuerpo de una hormiga y está separado de los segmentos adyacentes por fuertes constricciones. Todas las hormigas tienen antenas acodadas. Las hormigas son insectos sociales, que forman colonias, fundamentalmente de hembras. En una colonia hay una o más reinas que forman la casta reproductiva, y el resto de las hembras son obreras estériles. Las reinas poseen un tórax muy desarrollado el cual inicialmente posee alas. Estas alas se pierden cuando una reina funda una nueva colonia, pero las cicatrices de las alas permanecen claramente visibles. Las obreras estériles, todas hembras, son pequeñas versiones esbeltas de la reina y carecen de cualquier vestigio de alas. Las especies de hormigas pueden ser tanto monomórficas, con todas las obreras del mismo tamaño, como polimórficas. En algunas especies polimórficas las obreras varían en tamaño de una forma continua, en otras hay dos tipos de tamaño claramente definidos. Las obreras más grandes tienen cabeza grande y generalmente tienen un papel defensivo en la colonia. Las hormigas macho, producto de colonias maduras, son aladas y se asemejan a avispas. La hormiga arriera *Atta cephalotes* es un buen representante de esta familia y es de mucha importancia económica en muchos cultivos agrícolas

.

Familia Braconidae

Los Braconidae forman una familia muy amplia de parasitoides de insectos de muchos grupos. Son de tamaño pequeño a mediano, alargados, con antenas y patas largas, el ovipositor puede ser corto o largo.

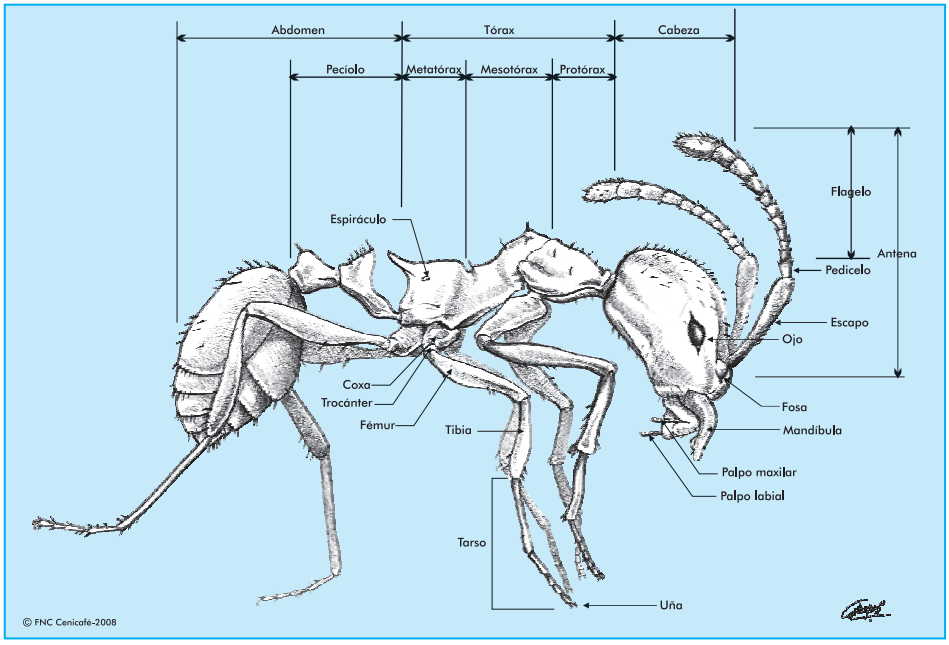


Figura 3.4. Características morfológicas de la familia Formicidae.

Los Doryctinae son ectoparasitoides de larvas barrenadoras de Coleoptera, Lepidoptera o Hymenoptera Symphyta. Algunas especies son fitófagas de semillas. Algunos tienen hospedantes, poco comunes, como avispas u otros del orden Embioptera.
Los Braconinae forman una subfamilia muy numerosa, con más de 2.000 especies en el mundo. Por lo general son ectoparasitoides de larvas escondidas de Lepidoptera, Coleoptera, Diptera e Hymenoptera Symphyta.

Los Rogadinae forman una subfamilia numerosa, representada por varios centenares de especies en el Neotrópico. Son endoparasitoides de larvas de Lepidoptera de muchas familias, inclusive de larvas grandes expuestas y larvas minadoras.

Los Hormiinae son parasitoides externos de Lepidoptera, Coleoptera, Hymenoptera y Diptera. Atacan larvas escondidas. Muchas especies son gregarias.

Los Homolobinae forman una pequeña subfamilia que anteriormente fue ubicada en muchos lugares: Helconinae, Macrocentrinae, Zelinae, Meteorinae o Euphorinae. Son endoparasitoides solitarios de Lepidoptera, tales como Noctuidae, Geometridae o Tortricidae.

Los Opiinae forman un grupo muy amplio de Braconidae, con más de 1.300 especies descritas en el mundo. Son endoparasitoides solitarios de Diptera, principalmente Tephritidae y Agromyzidae.

Los Alysiinae son endoparasitoides de Diptera Cyclorrhapha, ovipositan en las larvas y emergen de los puparios. La mayoría de las especies son solitarias, pero algunas son gregarias.

Los Cheloninae son endoparasitoides solitarios de Lepidoptera, ovipositan en huevos y emergen de las larvas. Son huéspedes principalmente en larvas escondidas de Tortricidae y Pyralidae, pero en algunos casos atacan huevos numerosos y expuestos de Noctuidae.
Los Microgastrinae son parasitoides de todo el espectro taxonómico y ecológico de los Lepidoptera. Todos son endoparasitoides de larvas. Salen del huésped para empupar, formando capullitos sobre las larvas, en algunos casos llegan a formar verdaderos paquetes de algodón formando un especie de tubo alrededor de la larva.

Familia Ichneumonidae

Los Ichneumonidae conforman una familia muy amplia. Incluye avispas pequeñas a grandes, en general muy alargadas, con patas largas, con antenas largas, de coloración muy variada. El ovipositor puede ser corto o largo, hasta muy largo. Son parasitoides de muchos grupos de insectos.

Familia Bethylidae

Está conformada por pequeñas avispitas usualmente de colores oscuros a negros. Las hembras de muchas especies no tienen alas y semejan en apariencia a una hormiga. Estas avispitas son parasitoides de muchos lepidópteros y coleópteros, especialmente atacan aquellas plagas de granos y harinas. Dos especies en particular son muy importantes en la caficultura, *Cephalonomia stephanoderis* Betrem y *Prorops nasuta* Waterston, parasitoides de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari). Estos insectos son originarios de África, y de allí fueron traídos al continente americano, y en Colombia se han desarrollado procesos de producción masiva para el control de *H. hampei*.

Familia Eulophidae

La familia Eulophidae es un grupo bastante grande, compuesto de insectos pequeños de 1 a 3 mm en longitud. Son parasitoides de una gran variedad de insectos. Su biología es muy variada pero una gran parte de éstos parasitan sus huéspedes en el estado de huevo o larva. Los eulófidos se pueden reconocer por los tarsos con cuatro segmentos y las axilas que se extienden hacia adelante, más allá de las tégulas. Muchos eulófidos son de colores metálicos brillantes y los machos de muchas especies tienen antenas bipectinadas.

La broca del café tiene como parasitoide a *Phymastichus coffea* La Salle, que ataca el estado adulto de su huésped cuando éste se encuentra penetrando los frutos de café.

Familia Scoliidae

Los Scoliidae parecen avispas pero son más peludas. Son de tamaño mediano a grande y son negros, a veces con bandas amarillas o anaranjadas. Las larvas son ectoparasitoides de larvas de Coleoptera Scarabaeidae. La hembra escarba el suelo para encontrar una larva de Scarabaeidae, luego la mata con el aguijón y escarba más profundo para enterrarla adentro de una celda, luego deposita un huevo en la parte ventral de la larva.

Familia Pompilidae

Los Pompilidae se parecen a las avispas pero son glabras, presentan un pronoto casi cuadrado y una sutura en el mesopleuron. El tamaño varía de 8 a 80 mm. Su coloración es negro azulado, con las alas transparentes o azuladas, algunos llevan manchas amarillas, blancas o anaranjadas. Los adultos cazan arañas que entierran como comida para sus larvas.

Familia Sphecidae

Los Sphecidae forman una familia amplia de avispas solitarias, de forma, tamaño (2 a 40 mm) y coloración muy variada. Algunos presentan un principio de socialización. Los nidos varían mucho de un grupo a otro, pueden aprovecharse de una pequeña cavidad natural, pueden cavar un hoyo en la tierra, algunos construyen nidos de barro, etc. Muchas especies de Sphecidae tienen un tipo preciso de presas para sus crías. Algunos son cleptoparásitos, es decir, que ponen sus huevos adentro de los nidos de otras especies.

Familia Vespidae

Los Vespidae, comúnmente llamados avispas, son himenópteros muy comunes tanto en bosques como en cultivos. Sus nidos se pueden encontrar hasta en casas. Muchas especies son depredadores de otros insectos en el campo. Especies de *Polistes* predan el minador de las hojas del cafeto, *Leucoptera coffeellum*. Pueden presentar garras tarsales hendidas o provistas de dientes y ser especies solitarias o gregarias.

Familia Apidae

Grupo de abejas sociales, que incluye la abeja doméstica. Se diferencian de las demás abejas por el aparato bucal y por la presencia de corbículas en las patas posteriores, las cuales sirven para transportar el polen. *Apis mellifera,* se encuentra en cafetales realizando polinizaciones y muchos agricultores las aprovechan para la producción de miel y cera.

Familia Anthophoridae

Los Anthophoridae forman una familia amplia, muy variada, de abejas robustas y peludas. Hacen sus nidos en el suelo. *Ceratina* y *Xylocopa* son considerados como una subfamilia separada (Xylocopinae), este grupo hace sus nidos adentro de ramas. Los Nomadinae (*Epeolus* y *Nomada*) parecen avispas y depositan sus huevos en nidos de otras abejas.

Familia Halictidae

Los Halictidae son abejas pequeñas o medianas, metálicas o brillantes, que se reconocen por la venación, principalmente por la forma de la vena basal. La mayoría anidan en el suelo. Hacen un túnel principal vertical terminado por una sola celda. En general, muchas abejas anidan una cerca de la otra. En algunos casos, varias abejas pueden usar el mismo túnel vertical para sus nidos.

Familia Colletidae

Los Colletidae son abejas primitivas, con lengua corta. Se pueden diferenciar de las demás por presentar dos celdas submarginales en el ala anterior.

ORDEN ODONATA

Flia. Aeshnidae

Flia. Libellulidae

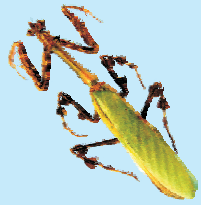
ORDEN ORTHOPTERA

Flia. Gryllidae

Flia. Tettigonidae

Flia. Gryllotalpidae

ORDEN MANTODEA



ORDEN BLATTODEA

Flia. Blattidae

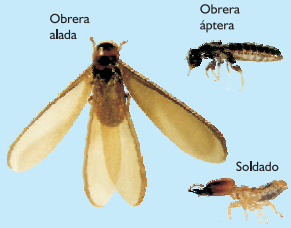
Flia. Blattellidae

Flia. Blaberidae

ORDEN DERMAPTERA

ORDEN ISOPTERA

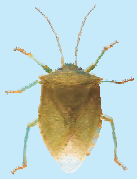
Flia. Termitidae



Flia. Kalotermitidae

ORDEN HEMIPTERA

Flia. Lygaeidae



Flia. Pentatomidae

Flia. Coreidae

Flia. Cydnidae

Flia. Miridae

Flia. Miridae

Flia. Tingidae

Flia. Anthocoridae

Flia. Reduviidae

Flia. Scutelleridae

Flia. Gerridae

Flia. Belostomatidae

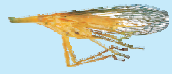
Flia. Gelastocoridae

Flia. Cicadidae

Flia. Membracidae

Flia. Cercopidae

Flia. Cicadellidae

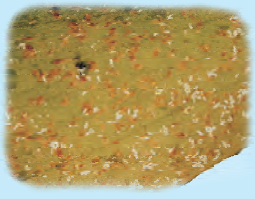


Flia. Dictyopharidae

Flia. Ortheziidae

Flia. Pseudococcidae

Flia. Flatidae



Flia. Diaspididae

Flia. Coccidae

Flia. Aleyrodidae

Flia. Aphididae

ORDEN THYSANOPTERA

ORDEN NEUROPTERA

Flia. Ascalaphidae

Flia. Mantispidae

Flia. Chrysopidae

Flia. Hemerobiidae

ORDEN COLEOPTERA

Flia. Gyrinidae

Flia. Dytiscidae

Flia. Carabidae

Flia. Cicindelidae

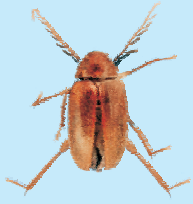
Flia. Hydrophilidae

Flia. Staphylinidae

Flia. Passalidae

Flia. Melolonthidae

Subflia.
Melolonthinae



Flia. Ptilodactylidae

Flia. Elateridae

Flia. Lyciidae

Flia. Lampyridae

Flia. Cantharidae

Flia. Dermestidae

Flia. Bostrichidae

Flia. Anobiidae

Flia. Nitidulidae

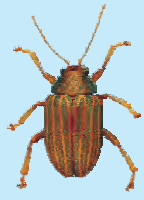
Flia. Cucujidae

Flia. Coccinellidae

Flia. Tenebrionidae

Flia. Meloidae

Flia. Cerambycidae



Flia. Chrysomelidae

Flia. Curculionidae

Subflia. Scolytinae

Flia. Platypodinae

Flia. Anthribidae

ORDEN DIPTERA

Flia. Sciaridae

Flia. Cecidomyiidae

Flia. Ceratopogonidae

Flia. Tabanidae

Flia. Syrphidae

Flia. Tephritidae

Flia. Otitidae

Flia. Lonchaeidae

Flia. Agromyzidae

Flia. Muscidae

Flia. Tachinidae

ORDEN LEPIDOPTERA

Larva

Adulto

Flia. Saturniidae

Flia. Arctiidae

Flia. Noctuidae

Flia. Geometridae

Larva

Adulto

Flia. Limacodidae

Flia. Pyralidae

Flia. Stenomidae

Pupa

Flia. Psychidae

Larva

Adulto

Flia. Megalopygidae

Flia. Sphingidae

Larva

Adulto

Flia. Brassolidae

Flia. Hesperiidae

Flia. Lyonetiidae

Flia. Papilionidae

Flia. Pieridae

Flia. Nymphalidae

Flia. Ithomiidae

Flia. Heliconiidae

ORDEN HYMENOPTERA

Flia. Formicidae

Flia. Braconidae

Flia. Ichneumonidae

Flia. Bethylidae

Flia. Eulophidae

Flia. Scoliidae

Flia. Pompilidae

Flia. Sphecidae

Flia. Vespidae

Flia. Apidae

Flia. Anthophoridae

Flia. Halictidae

Flia. Colletidae

Lecturas recomendadas

ARNETT, R. H.; THOMAS, M. C. 2001. American beetles. Vol 1, New York, CRC press, 1443 p.

ARNETT, R. H.; THOMAS, M. C.; SKELLEY, P. E.; FRANK, J. H. 2002. American beetles. Vol 2, New York, CRC press, 861 p.

ATKINS, M. D. 1978, Insects in perspective. MacMillan Publishing Co., Inc., New York, 513 p.

BAKER, P. S.; DUQUE, H. 2007. Guía para la caficultura sostenible en Colombia. Un trabajo articulado con los caficultores, extensionistas y la comunidad. Cenicafé, Chinchiná, Colombia, 312 p.

BORROR, D. J.; TRIPLEHORN, C. A.; JOHNSON, N. F. 1992. An introduction to the study of insects. 6th edition, Saunders College Publishing Co., New York, 875 p.

BOTERO, J. E.; VERHELST, J. C.; FAJARDO, D. 1999 a. Aves migratorias en la zona cafetera Colombiana. Cenicafé, Avances Técnicos No. 266, Chinchiná, Colombia, 6 p.

BOTERO, J. E.; VERHELST, J. C.; FAJARDO, D. 1999 b. Las aves en la zona cafetera de Colombia. Cenicafé, Avances Técnicos No. 265, Chinchiná, Colombia, 6 p.

CARVALHO, C. J. B. DE. 1997. Muscidae. *In*: Solís, A. (ed.) Las Familias de insectos de Costa Rica. INBio. http://www.inbio.ac.cr/papers/insectoscr/Texto538.html

CHAPMAN, R. F. 1982. The insects: Structure and function. 3rd edition, Cambridge, Mass., Harvard University Press, 495 p.

GIL, Z. N.; POSADA, F. J.; LÓPEZ, L. D. 2000. Mariposas diurnas de la zona cafetera colombiana. Cenicafé, Avances Técnicos No. 273, Chinchiná, Colombia, 8 p.

GIL, Z. N.; BUSTILLO, A. E.; GÓMEZ, N.; GARCÍA, P. A.; ZULUAGA, Y. M. 2007. Las libélulas y su rol en el ecosistema de la zona cafetera. Cenicafé, Avances Técnicos No. 357, Chinchiná, Colombia, 8 p.

HENRY, T. J.; FROESCHNER, R. C. 1988. Catalog of the Heteroptera, or true bugs, of Canada and the Continental United States. Leiden: Brill, 958 p.

ICA. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. 1989. Lista de insectos dañinos y otras plagas en Colombia. Bol. Técnico No. 43, 4a edición, 662 p.

LÓPEZ, J. A.; ACOSTA, A. G.; MAGLODYEN, F. 2002. Evaluación de germoplasma de pasifloras en la zona cafetera. Cenicafé, Avances Técnicos No. 301, Chinchiná, Colombia, 12 p.

SAUNDERS, J. L.; COTO, D. T.; KING, A. B. S. 1998. Plagas invertebradas de cultivos anuales alimenticios en América Central. 2ª edición, Turrialba, Costa Rica, CATIE- TDRI. Manual Técnico No. 29, 305 p.

ROMOSSER, W. S.; STOFFOLANO, J. G. 1998. The science of entomology. Boston, McGraw-Hill, 238 p.

SCHUH, R. T.; SLATER, J. A. 1995. True bugs of the world (Hemiptera: Heteroptera): Classification and natural history. Ithaca, New York, Comstock, Cornell University Press. 336 p.

SNODGRASS, R. E. 1935. Principles of insect morphology. New York, McGraw – Hill, 667 p.

TRIPLEHORN, C. A.; JOHNSON, N. F. 2005. Borror and Delong's introduction to the study of insects. 7th ed., Thompson, Broosks/Cole, Belmont, California, 864 p

VALENCIA, C. A.; GIL, Z. N.; CONSTANTINO, L. M. 2005. Mariposas diurnas de la zona central cafetera colombiana: guía de campo. Cenicafé - FNC- Colciencias, Chinchiná, Colombia, 244 p.

CAPÍTULO 4

Cómo se comunican los insectos y cómo responden a las plantas

Álex Enrique Bustillo Pardey

Los insectos pueden utilizar diferentes mecanismos para comunicarse entre sí o para mandar o recibir mensajes de otros organismos, entre los cuales se incluyen las plantas, con las cuales cohabitan. Esto puede ocurrir al guiarse por la visión, a través de órganos sensoriales táctiles, por los sonidos que producen mediante la adaptación de órganos que los producen y los reciben, o por medio de la emisión de mensajes mediados por sustancias químicas que ellos mismos producen o que son capaces de percibir de individuos de su misma especie o de otras especies. Este tipo de comunicación química es la más desarrollada en insectos y, en los últimos años es objeto de muchas investigaciones, por las repercusiones que se pueden derivar en el manejo de insectos plagas.

La comunicación por medio de la visión es muy utilizada en el manejo de muchos insectos plagas, al aprovechar trampas de luz negra para capturar los insectos y así reducir sus poblaciones o simplemente para monitorear su presencia y abundancia (Figura 4.1). Este hecho se basa en que muchos adultos de insectos con hábitos nocturnos, en general, son capaces de detectar luces de longitudes de onda muy cortas, cercanas a la luz ultravioleta, y alcanzan el pico en 365 nm, que representa una luz denominada negra, por lo tanto, al utilizar este tipo de luces ellos responden dirigiéndose al sitio donde se origina (Bustillo, 1989).

Otro grupo de insectos han desarrollado estructuras o hábitos que les permiten producir sonidos que son perceptibles por su misma especie y en muchos casos los utilizan para localizar a su pareja con fines de reproducción. Los insectos detectan sonidos a través de sensilas en los pelos o por órganos timpales, y producen sonidos ayudados por aparatos estridulatorios y por membranas vibratorias. Es muy particular el sonido de las chicharras así como el sonido producido por los grillos, durante algunas épocas del año. Los

Figura 4.1. Trampa de luz negra, de longitudes de onda muy corta cercanas a la luz ultravioleta, a la cual muchos insectos nocturnos son atraídos (Foto A. Bustillo).

investigadores han podido sintetizar el canto de los grillos y relacionarlos con la especie y con mensajes que emiten a sus congéneres (Figuras 4.2 y 4.3).

Sin embargo, la comunicación en los insectos mediada por químicos es la más importante por las connotaciones que tiene para el manejo de muchas plagas agrícolas. Recientemente se ha acuñado el término

Figura 4.2. El grillo topo *Scapteriscus acletus*, produce un sonido para atraer la hembra para la cópula.

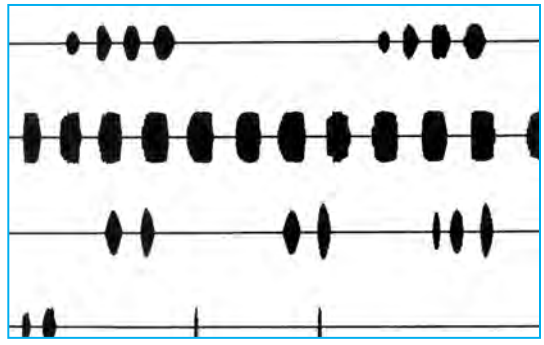


Figura 4.3. Oscilogramas de diferentes cantos de *Gryllus campestris*. La línea superior corresponde a un canto de llamado, la segunda a un canto de agresión, y las dos últimas a la primera y segunda fases de un canto de cortejo (Tomado de Chapman, 1982).

semioquímicos, del griego *semeon* que significa señal, y se consideran bajo esta denominación todos los productos químicos que sirven de intermediarios en las interacciones entre organismos. Los semioquímicos se pueden subdividir de acuerdo con el tipo de interacciones, si éstas son interespecíficas se denominan **aleloquímicos** y si son intraespecíficas reciben el nombre de **feromonas**. Los aleloquímicos provocan reacciones en individuos de una especie diferente a la especie que los origina. Los aleloquímicos están subdivididos en varios grupos dependiendo de la respuesta del receptor, si la respuesta es adaptativamente favorable al emisor pero no para el receptor son **alomonas**, si es favorable al receptor pero no al emisor son **kairomonas**, o si es favorable tanto para el emisor como para el receptor son **sinomonas**. Las **feromonas,** término del griego *phereum* que significa llevar y *horman*: estimular, las libera un miembro de una especie para causar una respuesta en otro miembro de su misma especie (Jones y Lewis, 1981).

Las feromonas se clasifican teniendo en cuenta la acción intermediada, es así como puede hacerse referencia a las feromonas de alarma, de agregación, de seguimiento, de determinación de castas o sexual. Las feromonas de **alarma** son usadas por los insectos para defensas y protección y son comunes en hormigas, abejas y áfidos. Las feromonas de **agregación** las utilizan los insectos para llamar a otros miembros a un sitio apropiado para alimentación o para albergue. La feromona de **seguimiento** es aquella en donde los miembros de la misma especie dejan un rastro químico detectable por los otros miembros de su especie, para que puedan localizar los sitios de alimentación, es muy frecuente en insectos sociales, especialmente hormigas y termitas. Las feromonas de **determinación de castas** permiten a la reina de la colmena, en insectos sociales, decidir cuál será el destino de su progenie. Las feromonas **sexuales** sirven para atraer el sexo opuesto y juegan un papel importante en la cópula de los insectos, éstas son de particular interés en el estudio de insectos plagas, bajo esquemas de manejo integrado de plagas (MIP) (Jones y Lewis, 1981).

El concepto de MIP se basa en el reconocimiento de que para el control de plagas no hay un solo enfoque que ofrezca una solución universal y que la mejor protección del cultivo se puede suministrar por medio de una fusión de varias tácticas y prácticas, que tienen base en principios ecológicos sensatos. Las feromonas son un componente comúnmente usado en muchos programas de MIP (Dent, 1993).

La existencia de feromonas se ha conocido por siglos y aparentemente se originó en observaciones de picaduras masivas de abejas en respuesta a productos químicos liberados por la picadura de una sola abeja.

La primera indicación en insectos de la presencia de atrayentes la propuso, en 1837, el Zoólogo alemán C. T. von Siebold, sin embargo, fue sólo en 1890 que el naturalista francés Fabre demostró que hembras de una polilla denominada *great peacok moth* atraían a los machos, aunque suponía que esto no ocurría a grandes distancias. Sólo en 1900, Mayer llevó a cabo experimentos sencillos para probar la mediación de sustancias en la atracción de machos de *Hyalophora promethea* a las hembras, encontró que estas sustancias eran producidas y emitidas por el abdomen de las hembras (Matthews y Matthews, 1978) (Figura 4.4).

Figura 4.4. Posición típica de llamado de una hembra de Lepidoptera para atraer el macho mediante la emisión de feromonas sexuales.

El primer aislamiento e identificación de la feromona de un insecto se hizo con la polilla del gusano de la seda, *Bombix mori*, en 1959, por científicos alemanes. Desde entonces, se han identificado miles de feromonas de insectos. Actualmente, se tiene una visión mucho más clara de las posibilidades y limitaciones asociadas con las feromonas de insectos en programas de MIP. Los dos usos principales de las feromonas de insectos son para la detección y monitoreo de poblaciones y para la alteración del apareamiento. Estos usos sacan ventaja de las feromonas sexuales de las cuales depende una gran mayoría de los insectos plagas como intermediarias para la reproducción (Matthews y Matthews, 1978).

Producción de olores y quimio-recepción

Los estudios sobre muchas especies de insectos han demostrado que estos químicos no solo provienen del abdomen sino también de la cabeza y tórax, y son almacenados en glándulas exocrinas. La recepción de estos químicos en insectos se produce en células llamadas **sensilas,** las cuales están rodeadas por estructuras características como pelos, cerdas, placas y hendiduras, presentes en la epidermis del insecto (Matthews y Matthews, 1978).

La detección y las pruebas de estos compuestos químicos en insectos se hacen por medio de respuestas electrofisiológicas, que consisten en la inserción de diminutos electrodos en las antenas de un macho vivo, que se conecta a un osciloscopio y al estimularse el insecto se producen electroantenogramas que se pueden registrar. En esta forma se puede asociar la actividad en insectos de los productos sintetizados cuando se trata de producirlos comercialmente para el manejo de poblaciones de insectos en el campo.

Características de las feromonas. Las feromonas sexuales las usan los insectos para comunicarse y copular. Se emiten en muy bajas concentraciones y son compuestos volátiles que se dispersan en el aire. Los insectos las detectan a grandes distancias y causan cambios inmediatos en su comportamiento. Son específicas a especies y no son tóxicas. En la mayoría de los casos son los machos los que responden a feromonas sexuales producidas por las hembras, sin embargo en varias especies de insectos, como en algunos Coleoptera, son los machos los que atraen las hembras o producen una feromona que sirve de agregación y atrae ambos sexos.

Enfoques sobre el uso de feromonas en MIP

Las feromonas son de gran utilidad en programas de manejo integrado de plagas. La principal función de las feromonas sexuales de insectos es atraerlos a las trampas, para su detección y para la determinación de su distribución espacial y temporal.

Para la diseminación de las feromonas en los cultivos se han diseñado diferentes dispositivos como son: fibras huecas de plástico de polivinilo que emiten la feromona por los extremos; fibras huecas selladas, que consisten en bolsas de un plástico que permite la emisión de las feromonas por las paredes; y flecos de plástico laminado que emiten las feromonas por las paredes y los bordes expuestos. Normalmente estos cebos están ligados a una estructura que hace las veces de una trampa para que los insectos que se aproximan se puedan capturar en éstas. La mayoría de las feromonas sexuales de los insectos están formadas por varios componentes mezclados en proporciones de moléculas muy definidas, que en algunos casos pueden ser costosas de elaborar.

La información de la captura puede ser muy útil para tomar decisiones de aplicación de insecticidas y otras medidas de control, para hacer seguimiento de poblaciones, matar los machos que se capturan y controlar la población a través de la **técnica de la confusión** (Figura 4.5). Esta última técnica consiste en atraer y matar los insectos que llegan a la trampa, en la cual el atrayente se impregna con un tóxico para matar el insecto que es atrae. Se considera que es mejor un macho muerto que uno confundido (Flint y Doane, 1996).

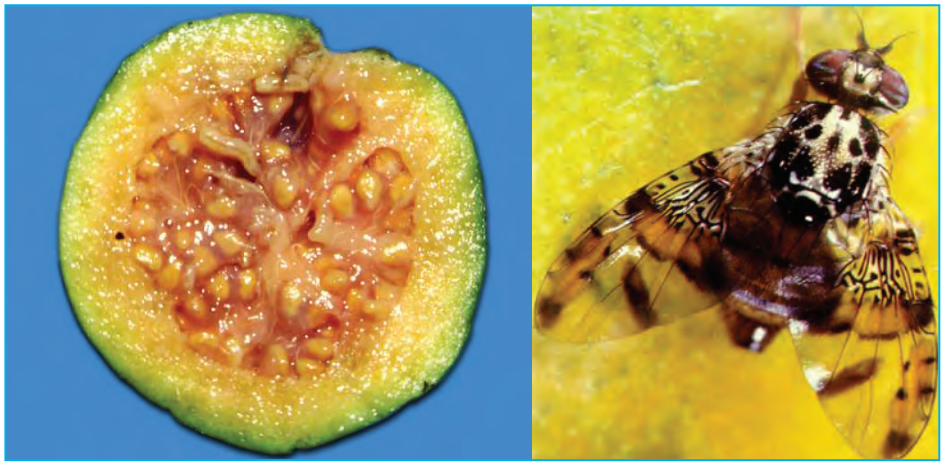


Figura 4.5. La feromona de agregación "Trimedlure", atrae los machos de la mosca del mediterráneo (*Ceratitis capitata*) plaga de muchos frutales (Fotos A. Bustillo).

El enfoque de la técnica de la confusión se ha utilizado masivamente en muchas partes del mundo para tratar de controlar o erradicar muchas plagas de gran importancia económica para la agricultura como el picudo del algodonero (*Anthonomus grandis*), el gusano rosado de la bellota del algodón (*Pectinophora gossypiella*), la polilla del manzano (*Cydia pomonella*), el gusano cogollero del tomate (*Keiferia lycopersicella*), el barrenador del maíz (*Ostrinia nubilalis*) y la mosca del mediterráneo (*Ceratitis capitata*) (Flint y Doane, 1996).

Productos naturales - metabolitos secundarios en plantas

Las plantas producen una gran variedad de compuestos orgánicos que no se encuentran involucrados directamente en procesos primarios metabólicos de crecimiento y desarrollo. Los papeles que juegan estos productos naturales o metabolitos secundarios en las plantas se están analizando recientemente desde un punto de vista de su contexto analítico. Los productos naturales parece que funcionan primariamente en

la defensa contra los predadores y los patógenos, y en proveer ventajas reproductivas como atrayentes de polinizadores y en la diseminación de semillas. Ellos pueden también actuar creando ventajas competitivas como venenos para especies rivales.

La mayoría de los productos naturales se pueden clasificar en tres grandes grupos: terpenoides, alcaloides y compuestos fenólicos (principalmente fenilpropanoides).

Entre los **terpenoides** existen más de 25.000 compuestos, éstos se derivan del precursor isopentenil difosfato, denominado isopreno, que está formado de cinco unidades de carbono, las cuales son sintetizadas vía acetato/mevalonato o vía gliceraldehído 3-fosfato/piruvato. Muchos terpenoides de plantas son tóxicos e inhiben la alimentación de herbívoros o actúan como atrayentes de varios insectos.

En los **alcaloides** hay cerca de 12.000 compuestos, se sintetizan principalmente de los aminoácidos. Estos compuestos que contienen nitrógeno protegen las plantas de una gran variedad de animales herbívoros, y muchos poseen actividades farmacológicas importantes.

Los **compuestos fenólicos** (cerca de 8.000 compuestos), que se sintetizan primariamente de productos de la vía metabólica del ácido shikímico, tienen varios papeles importantes en las plantas. Son precursores de taninos, ligninas, flavonoides y algunos compuestos fenólicos sencillos que sirven como defensa contra herbívoros y patógenos. Además, las ligninas confieren fortaleza a la pared celular y muchos pigmentos flavonoides son atrayentes para los polinizadores y la dispersión de las semillas. Algunos compuestos fenólicos tienen actividad alelopática y pueden influenciar adversamente el crecimiento de plantas vecinas.

A través del curso de la evolución, las plantas han desarrollado defensas contra los herbívoros y contra el ataque de microorganismos. Las plantas que mejor se defienden y son más competitivas han generado más progenie y así estos metabolitos ecológicamente útiles, se han establecido ampliamente en el reino vegetal. Las presiones de los herbívoros y patógenos, así como una constante competencia, continúan la selección por nuevos productos naturales. En especies cultivadas, sin embargo, tales defensas químicas a menudo han sido artificialmente seleccionadas.

Los estudios sobre la bioquímica de los productos naturales de las plantas tienen muchas aplicaciones prácticas. Los enfoques biotecnológicos pueden aumentar selectivamente las cantidades de los compuestos de defensa en plantas cultivadas, y por lo tanto reducir la necesidad de utilizar plaguicidas muy costosos y potencialmente tóxicos.

De manera similar la ingeniería genética puede utilizarse para aumentar los rendimientos de los materiales farmacéuticos, sabores y perfumería, insecticidas, fungicidas y otros productos naturales de valor comercial.

Atracción de insectos a las plantas. El estudio de las propiedades de defensa de las plantas empezó hace muchos años, a finales de 1800. Pero no fue sino después de 50 a 60 años que otros investigadores se dedicaron a este campo de estudio. En esa época se indicó que estas sustancias secundarias, aunque sin conocerse su función metabólica, estaban presentes en muchas plantas, sino en todas. Así empezó la búsqueda por determinar el papel de estas sustancias en las plantas. La meta fue determinar si los químicos jugaban un papel meramente metabólico o si ellos eran verdaderamente químicos defensivos, con un papel ecológico para la planta.

Se ha encontrado que muchas plantas producen una mezcla de compuestos volátiles por las hojas, como en el caso del algodón donde estos compuestos son muy importantes en orientación de los insectos hacia estas plantas. Estos compuestos que permiten que el insecto oviposite, se alimente y encuentre refugio en las plantas son principalmente monoterpenos. Los monoterpenos son de naturaleza lipofílica y derivados de la condensación del ácido mevalónico. Estos odorantes de las plantas son principalmente secreciones glandulares, que pueden actuar como atrayentes, inhibidores y estimulantes de la oviposición. En la planta de algodón se han encontrado principalmente monoterpenos como pineno, mirceno, limoneno y ocimeno, que son una señal para insectos como *Popilia japonica* y *Anthonomus grandis* para encontrar esta planta (Shahida *et a*l., 2001).

Defensas de las plantas. Una de los muchos mecanismos de defensa conocidos en las plantas es el uso de químicos volátiles, que atraen o repelen ciertas especies de insectos. Aunque esta estrategia puede parecer contraproducente, en efecto atrae solo insectos que predan organismos que son dañinos a la planta. A su turno, este mecanismo provee una protección a la planta y una fuente de alimentación al insecto que preda sobre el herbívoro.

Los compuestos volátiles poseen una estructura química que les permite evaporarse fácilmente en el aire, y una vez allí, las sustancias volátiles dan señales a los predadores de los herbívoros sobre su existencia y proveen protección a la misma planta. Los volátiles químicos más frecuentemente caracterizados son los compuestos de la familia de los terpenoides y el indol un producto de la vía sintética del ácido shikímico. Varias especies agrícolas han mostrado poseer las vías de defensa responsables de estos compuestos, entre las que se incluyen el maíz, el algodón, el fríjol y la col de Bruselas.

Turlings *et al.* (1990), presentaron resultados de un experimento conducido en maíz, en el cual encontraron que los compuestos volátiles de la clase de terpenoides e indol eran los atrayentes primarios. En este caso en particular, los insectos herbívoros eran las larvas de *Spodoptera exigua,* que dañan la mazorca del maíz, y después del ataque se incrementó la liberación de volátiles en el aire que atraían a *Cotesia marginiventris*, las cuales atacaron las larvas del cogollero del maíz.

En un segundo experimento conducido por Paré y Tumlinson (1999), encontraron que los compuestos volátiles constituían una estrategia defensiva en el algodón. En la misma forma que ocurría la liberación de volátiles en las plántulas de maíz, sucedía en las plantas de algodón. De nuevo se utilizó *Spodoptera exigua* para atacar la planta de algodón. Sin embargo, en este experimento los investigadores encontraron que los compuestos volátiles eran sintetizados por la planta como resultado del daño del insecto. En este estudio se demostró por primera vez evidencia de la síntesis de metabolitos secundarios y ayudó a comprobar el papel dinámico que juegan las plantas no solamente con los herbívoros sino también con sus enemigos naturales (Paré y Tumlinson, 1997, 1998).

En los experimentos antes mencionados, los principales compuestos volátiles que las plantas liberaron fueron los terpenoides y tipos de indol. Los terpenoides son considerados una de las clases de compuestos naturales más complejos e importantes. Estas estructuras se encuentran en una gran gama de organismos y realmente todos los organismos en los cuales se han buscado, se han encontrado. Es interesante el hecho de que los terpenoides se pueden usar en productos comerciales ya que los compuestos de esta clase de bajo peso molecular exhiben propiedades de fragancia. La subclase especial de terpenoides volátiles, en este caso, actúa como atrayente a insectos. Los terpenoides volátiles los conforman los monoterpenos y los sesquiterpenos.

El segundo compuesto volátil común en ambos experimentos es el indol, que es producido a través de la vía metabólica del ácido shikímico, la cual solo ocurre en el reino vegetal y provee la principal ruta a través de la cual los compuestos aromáticos se producen a partir de esqueletos básicos de carbohidratos. Esta vía metabólica logró su nombre del ácido shikímico que es el paso clave en la formación de los aminoácidos aromáticos L-fenilalanina, L-tirosina, y L-triptofano. El indol tiene una estructura aromática que forma parte de una clase de compuestos llamados fenólicos.

Recientemente se encontró en plantas de maíz atacadas por larvas de *Spodoptera exigua*, un elicitor o iniciador de volátiles en las plantas. Este compuesto se ha denominado volicitina y corresponde al N-(17-hidroxilinolenoil)-L-glutamina. La volicitina es un componente clave para que la planta reconozca que está siendo atacada por un herbívoro. Al analizar químicamente la secreción oral de este insecto al momento de alimentarse de la mazorca de maíz, se estableció que la porción de ácidos grasos de volicitina es derivada de la planta, mientras que la reacción de 17-hidroxilación y la conjugación con glutamina es llevada a cabo por la larva, al usar la glutamina originada en el insecto. Irónicamente, estos insectos catalizan modificaciones químicas al ácido linoléico que son críticas para la actividad biológica que promueve la liberación de los compuestos volátiles de la planta, que en su turno atraen los enemigos de la larva (Frey *et al*., 2000).

Algo similar a lo anterior encontraron Alborn *et al.* (2003) con el gusano cachón del tabaco, *Manduca sexta.* Los componentes de la regurgitación de este insecto incitan a la liberación de volátiles en la planta

para su defensa, los cuales se identificaron como: N-linolenoil-L-glutamina (18:3-GLN) y N-linolenoil-L-ácido glutámico (18:3-GLU). También se ha registrado el mismo comportamiento en ecosistemas forestales donde el ataque de un defoliador provoca en la planta la emisión de volátiles que son captados por parasitoides benéficos que acuden en su defensa (Figura 4.6).

Figura 4.6. La oviposicion del insecto *Oxydia trychiata* en *Pinus patula* induce al árbol a emitir volátiles que atraen el parasitoide de huevos *Telenomus alsophilae* (Foto A. Bustillo).

Se ha encontrado también que cuando un insecto ataca una planta la señal de peligro se transmite al resto de la planta, o sea que es una señal sistémica (Mattiacci *et al*., 2001). En estudios con larvas de *Pieris brassicae* que consumían hojas de la parte baja de plantas de *Brassica oleracea* var. *gemmifera* se encontró que este proceso estimulaba la liberación de volátiles en las hojas de la parte alta, que atrajeron al parasitoide *Cotesia glomerata*. La emisión de estos volátiles se inicia después de al menos tres días, en que los herbívoros permanecen alimentándose en las hojas bajeras. Una vez el ataque del insecto termina, la señal sistémica se emite por un máximo de un día más (Mattiacci *et al*., 1994).

Los componentes de la mezcla de terpenos volátiles liberados por la planta de algodón varía notablemente a través del fotoperíodo. Algunos componentes se emiten por lo menos en cantidades diez veces más grandes durante la fotofase que durante la escotofase, mientras que otras se liberan continuamente, sin un patrón especial, durante todo el tiempo que las plantas están sometidas al ataque del insecto (Loughrin *et al*., 1994).

Las respuestas de las plantas al ataque de herbívoros son complejas. Los genes activados ante el ataque están correlacionados con el modo de alimentación de éstos y el grado de daño al tejido en el sitio de alimentación. Sin embargo, insectos como áfidos y moscas blancas que se alimentan del floema y producen pequeños daños al follaje de las plantas, son percibidos por las plantas como patógenos y activan el ácido salicílico y el ácido jasmónico (AJ), que dependen de la ruta metabólica del etileno (Walling, 2000).

El ácido salicílico (AS) induce la floración, inhibe la toma de K^+ y P^+, e inhibe la síntesis de etileno. Probablemente es un antagonista del ácido jasmónico. El AS incita la respuesta sistémica adquirida (RSA) y puede mover a grandes distancias el componente de una señal a través de la vía de transducción. El SA induce las proteínas PR-1, PR-2, PR-5, beta-1,3-glucanasa, y glutatión S-transferasa relacionadas con patogénesis. El AS participa en la RSA y en las respuestas hipersensitivas (HR) localizadas, e induce vías de respiración alternas.

Vía metabólica del ácido shikímico y del ácido jasmónico

La vía metabólica del ácido shikímico es la base de la síntesis de proteínas; además, está directamente relacionada con el crecimiento y la sanidad de las plantas. Se ha demostrado que esta vía metabólica produce fenilalanina por medio de la enzima EPSP sintetasa.

El ácido fosfoenolpirúvico, creado durante la glicólisis, se combina con D-eritosa- 4 fosfato, un producto de la vía metabólica de la pentosa fosfato, para iniciar la formación del ácido shikímico. El ácido shikímico

a través de la vía metabólica continúa produciendo triptofano, tirosina y fenilalanina. La vía metabólica del ácido shikímico no existe en el reino animal y es por esto que estos tres aminoácidos deben ser consumidos en la dieta de los animales, debido a que son ingredientes esenciales para la síntesis de proteínas. Se ha encontrado una enzima clave que usa la fenilalanina para sintetizar metabolitos secundarios, la fenilalanina amonio-liasa (PAL), que es la enzima activa en la vía metabólica de la fenilpropanoide. Esta vía es una extensión de la vía del ácido shíkimico, y crea metabolitos secundarios en presencia de PAL. Es así como en presencia de grandes concentraciones de PAL más fenilalanina se producen más metabolitos secundarios (Paré y Tumlinson, 1999).

La vía del fenilpropanoide, que se inicia con la producción de fenilalanina de la vía metabólica del ácido shikímico y que usa la PAL, orienta varias reacciones para producir ácido cinnámico, el cual es el punto de partida de muchos metabolitos secundarios, y que produce taninos, flavonoides, ligninas y fenólicos sencillos. El aumento de la PAL se ha correlacionado en plantas de tabaco con un aumento en la resistencia a virus, bacterias, hongos e insectos herbívoros.

Una molécula que inicia la señal para activar el gen que produce la PAL se conoce como el ácido jasmónico (AJ). Este ácido es una molécula de señal, originada a través de la peroxidación de los ácidos grasos del ácido linolénico. El ácido linolénico libre se produce en el plasma de la membrana de una célula de la planta que ha sido inducida por la sistemina, una hormona de las plantas producida en respuesta a la predación de un herbívoro. Esta reacción depende en conjunto del daño físico a la planta y de las secreciones orales del herbívoro.

Las plantas producen dos formas de ácido jasmónico. El ácido jasmónico soluble el cual se usa como una defensa directa de herbívoros, activando los genes para la producción de la PAL que cataliza metabolitos secundarios que incluyen proteínas inhibidoras, las cuales disminuyen los beneficios nutricionales a los

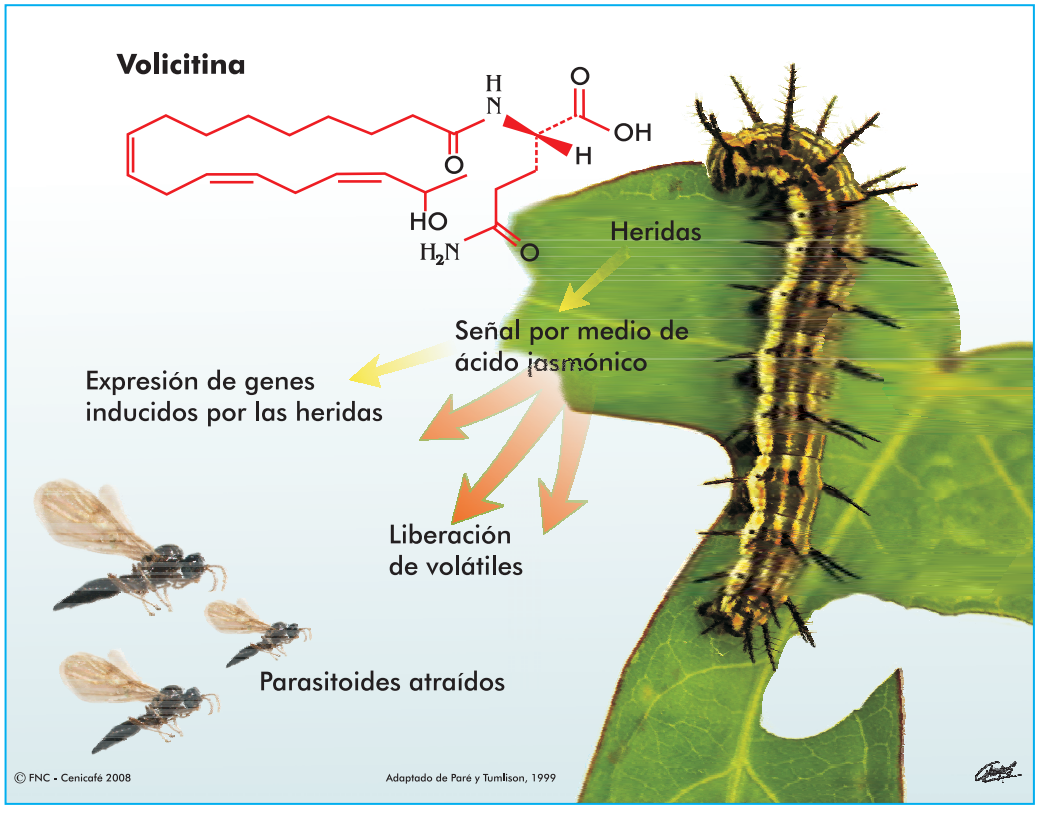


Figura 4.7. Representación de la liberación de compuestos volátiles por las plantas, en respuesta a la alimentación de los insectos, mediada por un elicitor como volicitina producida por las secreciones orales de insectos. Los semioquímicos volátiles son utilizados por avispitas parasitoides, para localizar sus huéspedes (Adaptado de Paré y Tumlinson, 1999).

herbívoros que se alimentan de la planta. Las plantas también producen una defensa indirecta en la forma de un volátil, metil jasmonato (MeJA). Se ha encontrado que el MeJA incita a la producción de AJ en las plantas a su alrededor, aunque ellas no estén siendo atacadas por herbívoros (Figura 4.7).

Protección bioquímica de los insectos herbívoros para evadir enemigos naturales

Las interacciones entre plantas y herbívoros proveen ejemplos muy bien estudiados de coevolución, pero poco se conoce acerca de cómo estas interacciones son influenciadas por un tercer nivel trófico. Un estudio desarrollado por De Moraes y Mescher (2004) demostró que las larvas de *Heliothis subflexa* reducen su vulnerabilidad a enemigos naturales a través de la adaptación de un hecho muy notable y previamente desconocido de su planta huésped *Physalis angulata*. Los frutos de esta planta no tienen ácido linoléico (AL), que es requerido por la mayoría de los insectos para su desarrollo.

Al sobreponerse a esta deficiencia nutricional las larvas de *H. subflexa* obtienen varias ventajas. Primero ganan acceso a una fuente de alimento casi exclusiva: se ha demostrado que las larvas de una especie muy cercana *Heliothis virescens* no pueden desarrollarse en los frutos de *P. angulata*, a menos que el fruto sea tratado con AL. Segundo, se reduce su vulnerabilidad a los enemigos naturales: el AL es un componente clave de la volicitina, un elicitor de señales de defensas volátiles de las plantas. Se demostró que la volicitina no se encuentra en las secreciones orales de las larvas que se alimentan de los frutos y que los perfiles de los volátiles producidos por las plantas de las cuales el insecto se alimentó en los frutos difieren de aquellos inducidos por alimentación del insecto en las hojas o por alimentación en frutos tratados con AL, y que los primeros, son mucho menos atractivos a las hembras del parasitoide *Cardiochiles nigriceps.* Finalmente, los herbívoros se tornan nutricionalmente no aptos para hospedar enemigos que requieren el AL para su propio desarrollo. También se demostró que larvas de *C. nigriceps* no se desarrollan en las larvas del herbívoro, pero sí se desarrollan en larvas que se alimentan en frutos tratados con AL. Así, las larvas de *H. subflexa* no solo se sobreponen a las serias deficiencias en su dieta sino que reducen su vulnerabilidad a enemigos naturales por medio de una forma de encubrimiento bioquímico "cripto-bioquímica".

Posibilidades de desarrollos comerciales

El entendimiento de las respuestas de las defensas inducidas y el mecanismo para controlar estas vías metabólicas, permitirán desarrollar estrategias novedosas para ser utilizadas en escenarios agronómicos. El primer ejemplo de un producto comercial para la protección de un cultivo, que actúa induciendo una vía de respuesta de defensa endógena, se denomina "Bion", este producto reduce el nivel de infección en plantas al activar la respuesta sistémica adquirida (Dietrich *et al*., 1999). También se ha encontrado que el benzotiadiazol (BTH) induce la RSA y se comercializa para emplearlo contra enfermedades de plantas y en trigo para controlar el mildeo polvoso.

Así mismo, se están llevando a cabo experimentos para evaluar aplicaciones de ácido jasmónico en varios cultivos, con el fin de inducir la acumulación de defensas en la planta, y así reducir el ataque de los herbívoros en el campo (Karban *et al.,* 2000). Por otra parte, avances en la bioquímica y genética molecular para la síntesis de terpenos, hacen posible pensar en la producción de plantas transgénicas que liberen terpenos para atraer los enemigos de los herbívoros (Degenhardt *et al*., 2003).

La comunicación en la broca del café

Las trampas cebadas con una mezcla de alcoholes atraen a la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari), y los datos de las capturas muestran que estas trampas localizadas en los cafetales sirven como una herramienta de alerta para los caficultores y para conocer cuándo la broca está volando en busca de nuevos frutos (Dufour, 2002; Posada *et al.,* 2003; Bustillo y Jiménez, 2003). Lo anterior es una consecuencia de estudios previos, en los que se ha demostrado la atracción que ejercen mezclas de alcoholes sobre los

adultos de broca; en los cafetales estos alcoholes provienen de los procesos metabólicos de la maduración de los frutos de café (Mendoza, 1991; Cárdenas, 2000).

En experimentos sobre la libre selección de frutos, las hembras adultas de la broca del café prefirieron las cerezas rojas a las verdes y fueron más atraídas por volátiles emitidos por las cerezas rojas (Giordanengo, *et al.,* 1993, Mendoza *et al.,* 1999). Esto se ha podido confirmar con el estudio de Ortiz *et al*. (2003), en donde al analizar la emisión de volátiles de frutos de café, encontraron un incremento en su concentración durante el desarrollo de los frutos de verde a sobremaduro, donde la composición de volátiles está dominada por ésteres y alcoholes (Ortiz *et al.,* 2003). Ellos destacan el acetaldehido, ácido acético, etil éster, quetonas (por ejemplo, 2-propanona y 3-metil-2-butanona), alcoholes (1-propanol y 2-metil-1-propanol) y en menor proporción los monoterpenos, aunque detectaron por primera vez en café, el 2-metil furan. Otros investigadores han encontrado en frutos de café monoterpenos tales como: ß-mircena, 1-phellandrene, α-terpinene, ß-ocimene y (+)-2-carene (Mathieu *et al*., 1998).

En los últimos años se ha desarrollado un difusor para el atrayente de la broca, que permite una 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 realizadas en Nicaragua y Costa Rica. El difusor está fabricado con una membrana plástica por medio de la cual se disemina el cebo, que permanece activo durante ocho semanas, es decir, que su liberación dura cerca de dos meses; después de este tiempo se debe cambiar por uno nuevo. Evaluaciones recientes en Colombia muestran que estas nuevas trampas con este difusor capturan más brocas que las convencionales; se multiplican las capturas por 200.

Estudios de laboratorio llevados a cabo en Cenicafé, muestran que en los olfatómetros, diseñados para que los adultos de la broca pudieran escoger entre frutos maduros de café, el atrayente con mezclas de los alcoholes metanol-etanol y un testigo sin atrayente, se pudo observar que el 76% de los insectos fueron al atrayente con el dispensador de membrana plástica, un 24% a los frutos de café y 0% a la fuente sin atrayentes. Estas observaciones han sido corroboradas en el campo, donde se observa una gran agregación de la broca en los sitios donde se colocan las trampas cebadas con alcoholes (Bustillo, 2004).

Uso de trampas para la captura de brocas

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. Por medio 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 éstos se consolidan. Esta información es importante para que el cafetero pueda tomar medidas más eficientes para el manejo para la broca, al poder decidir sobre el momento más oportuno de control de la broca que en un momento dado esté tratando de perforar nuevos frutos (Bustillo, 2004).

El patrón de distribución de las capturas de adultos de broca, se puede expresar cómo la época de vuelo de estos insectos, muestra un comportamiento bastante similar para cada uno de los sitios de estudio en relación con los tres años evaluados; sin embargo, comparativamente se puede observar que las cantidades de insectos capturados pueden variar.

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

Resultados de experimentos realizados en Cenicafé entre marzo de 2002 y septiembre de 2004, sobre la captura de brocas en trampas, se muestran en las Figuras 4.8 a la 4.16 para las cuatro localidades en que se realizó el estudio. Los datos de captura de adultos en las trampas cebadas con atrayentes para la broca del café se analizaron por tres años en los diferentes sitios (Figuras 4.8 y 4.9), en relación con la precipitación (Figura 4.9 a la 4.12). La Figura 4.13 muestra los datos sobre distribución de la cosecha y la captura de la broca.

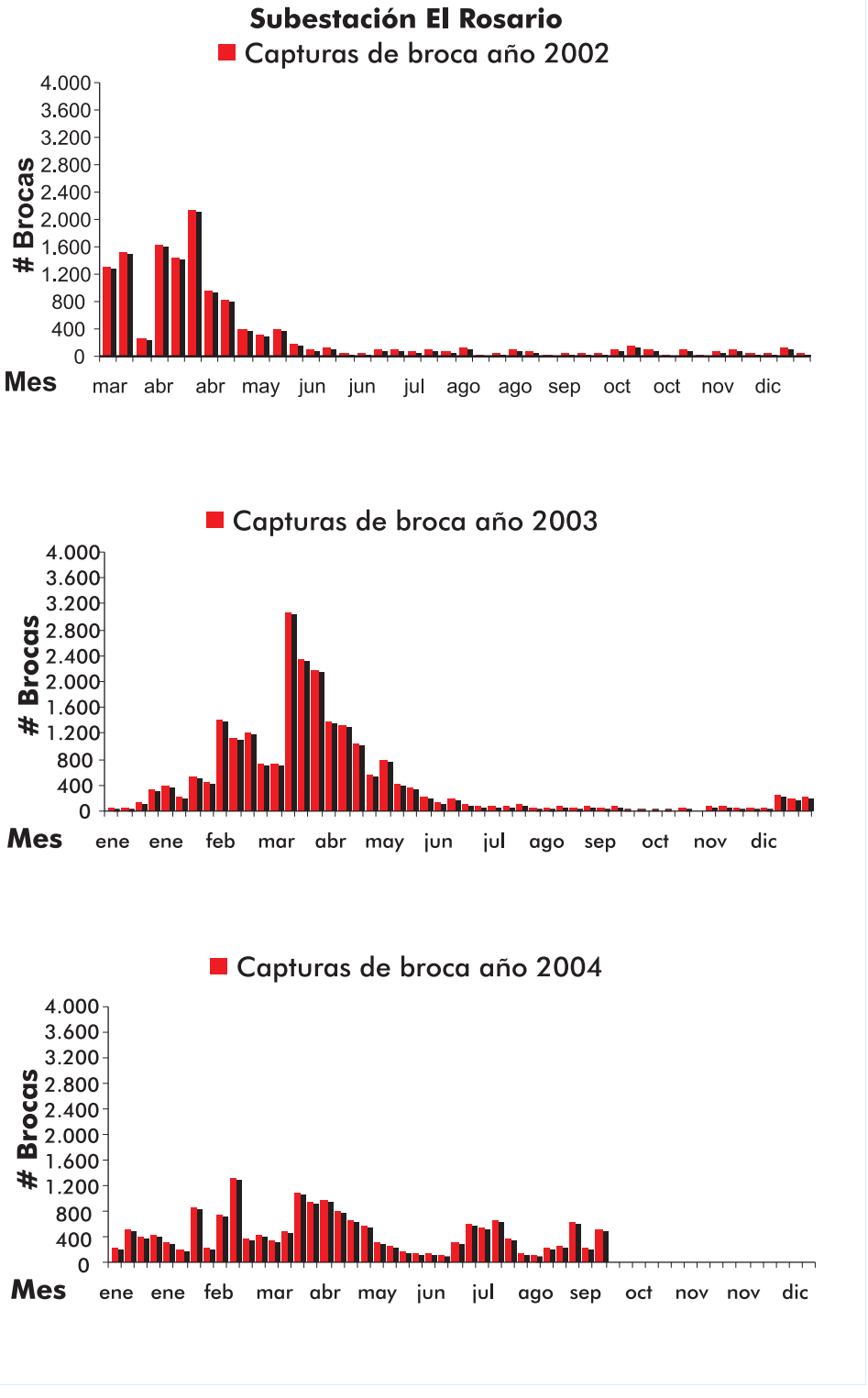


Figura 4.8. Total de adultos de broca capturados en la Subestación El Rosario. Años 2002, 2003 y 2004.

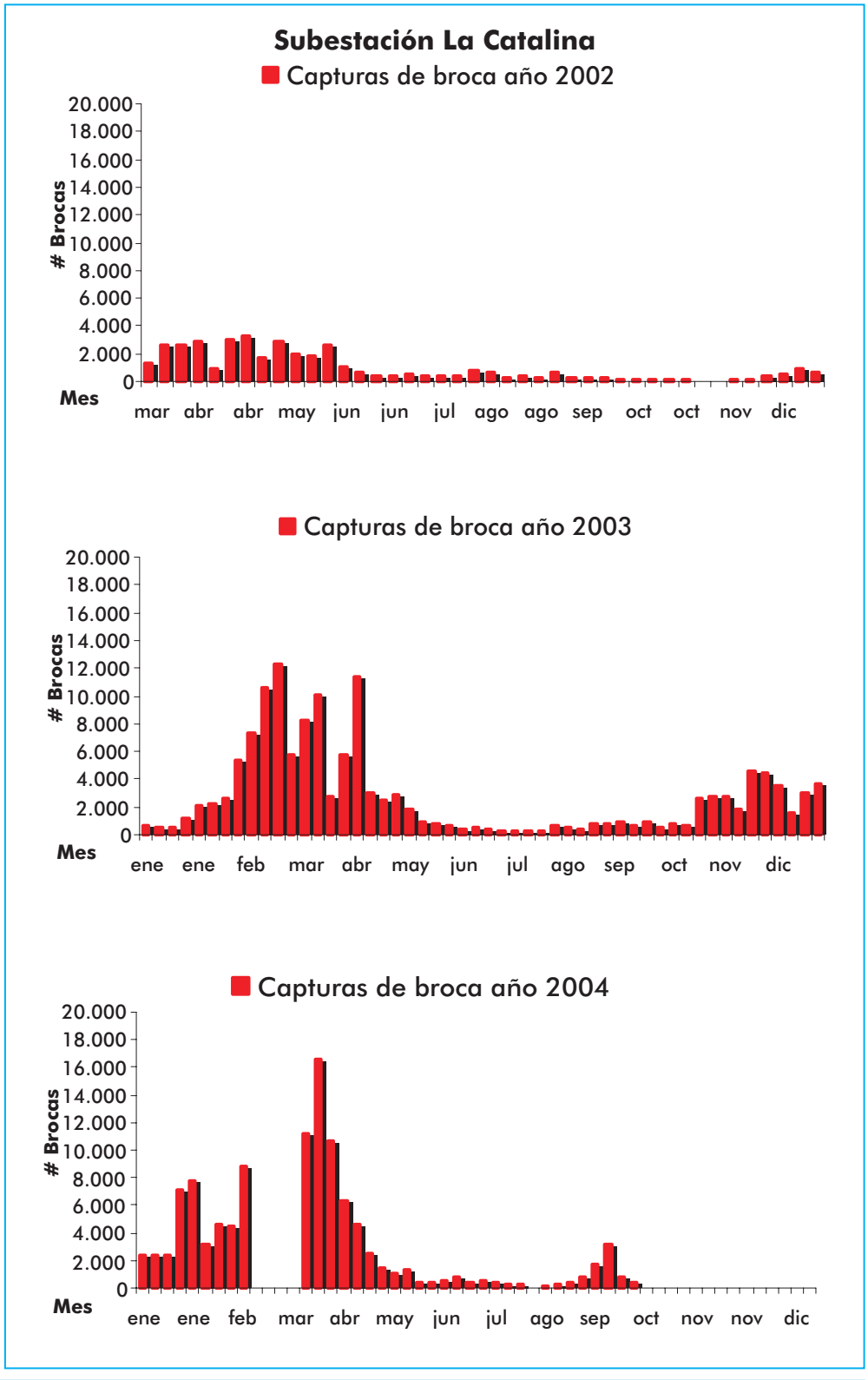


Figura 4.9. Número total de adultos de broca capturados en la Subestación La Catalina. Años 2002, 2003 y 2004.

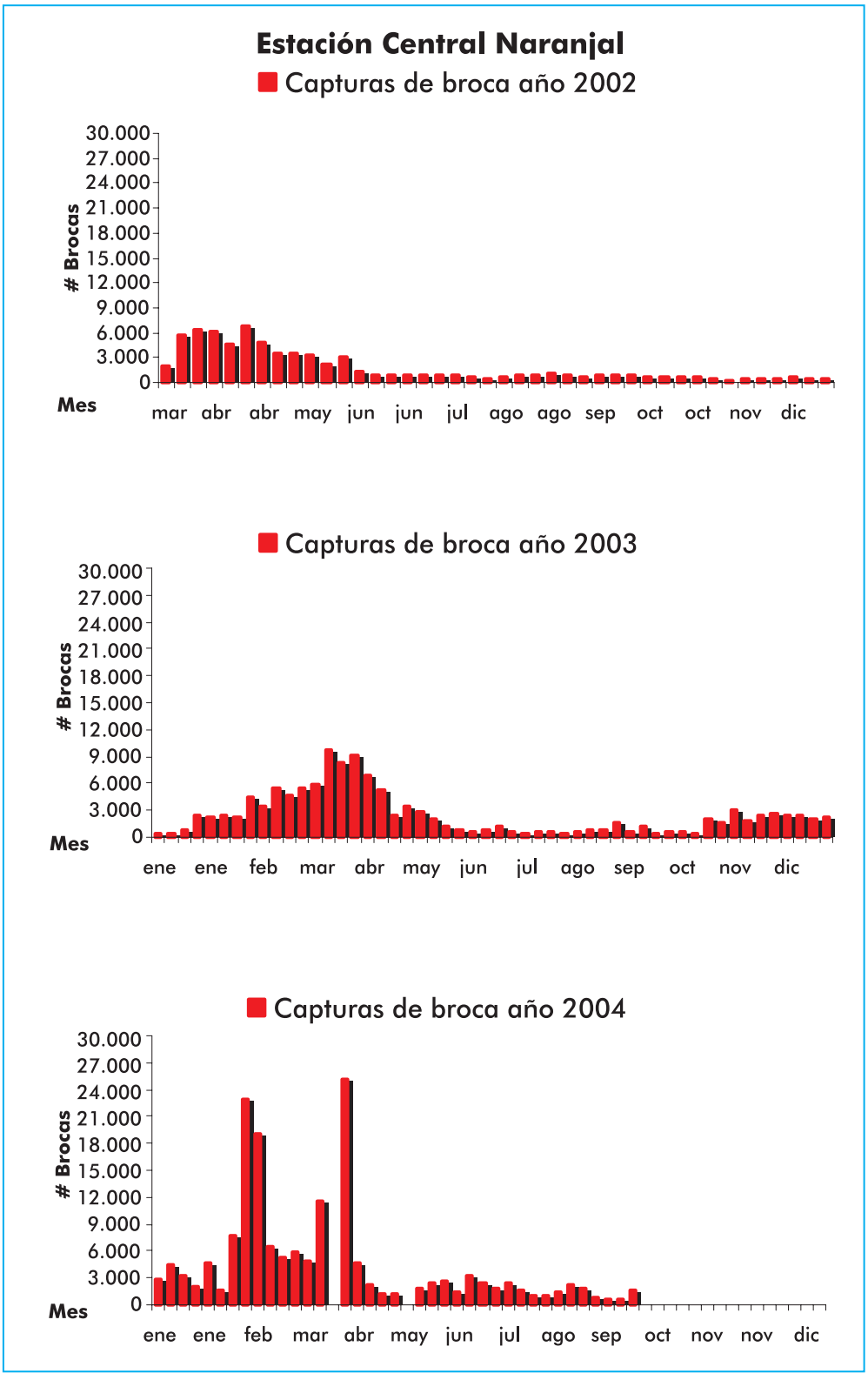


Figura 4.10. Número total de adultos de broca capturados en la Estación Central Naranjal para los años 2002, 2003 y 2004.

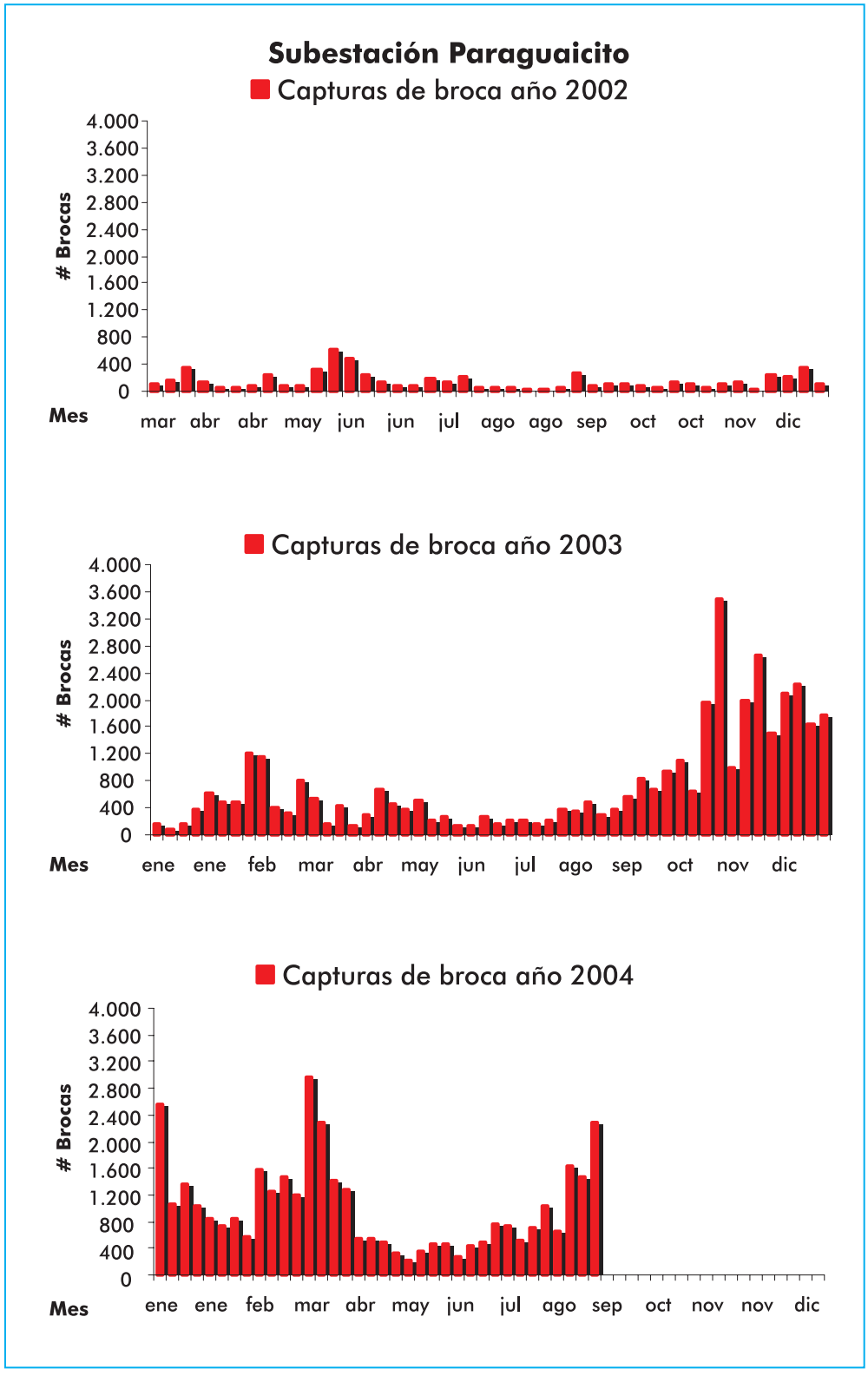


Figura 4.11. Número total de adultos de broca capturados en la Subestación Paraguaicito. Años 2002, 2003 y 2004.

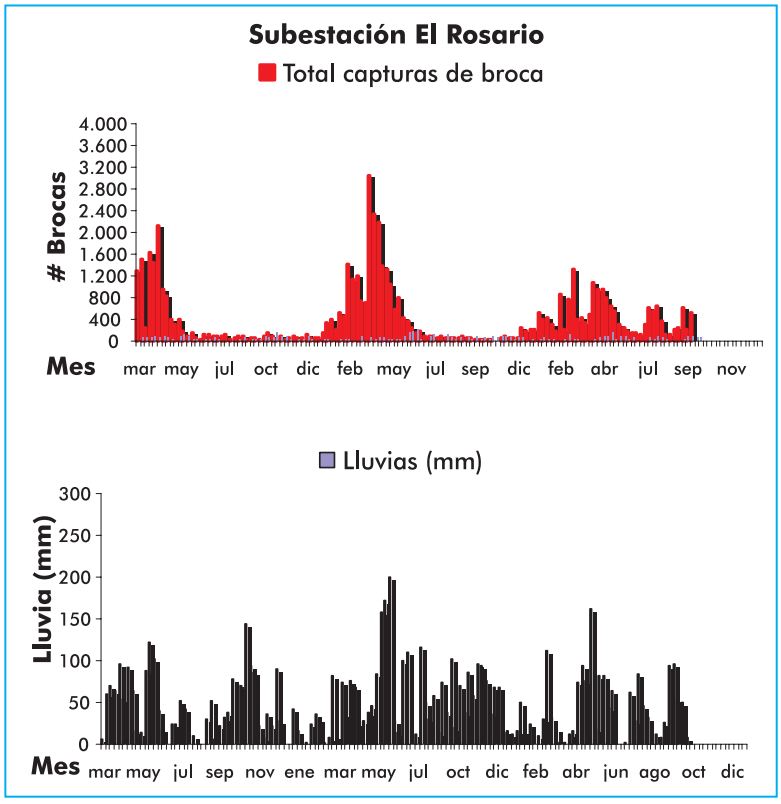


Figura 4.12. Número de brocas capturadas a través del tiempo (arriba) y precipitación (abajo) en la Subestación El Rosario, entre marzo 2002 y septiembre 2004.

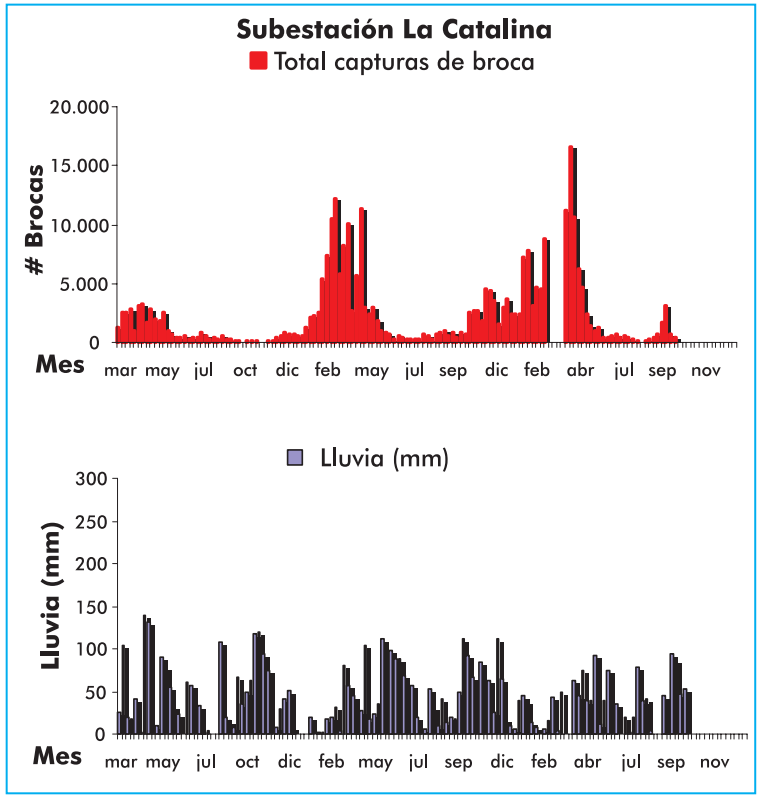


Figura 4.13. Número de brocas capturadas a través del tiempo (arriba) y precipitación (abajo) en la Subestación La Catalina entre marzo 2002 y septiembre 2004.

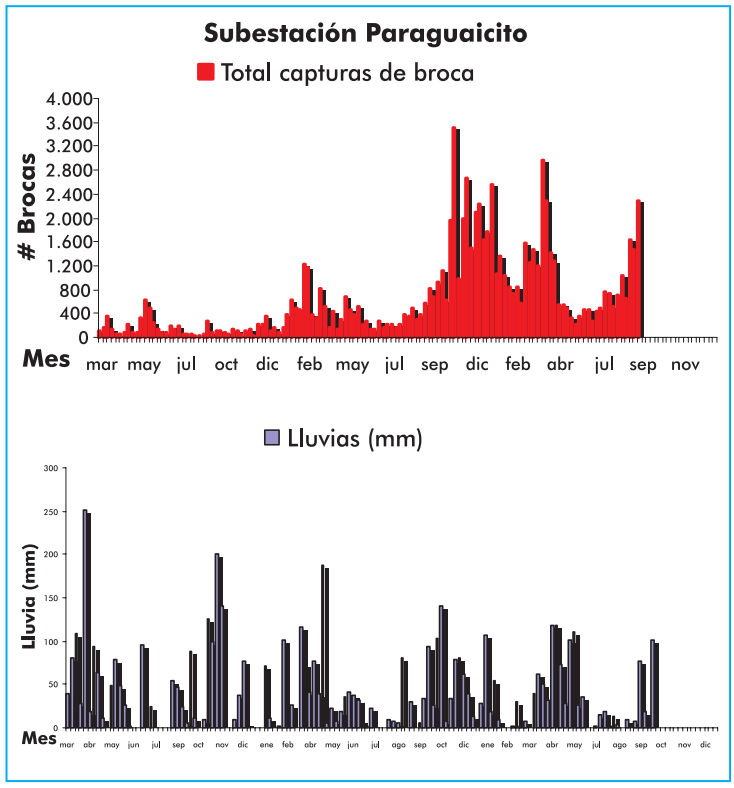


Figura 4.14. Número de brocas capturadas a través del tiempo (arriba) y precipitación (abajo) en la Estación Central Naranjal, entre marzo 2002 y septiembre 2004.

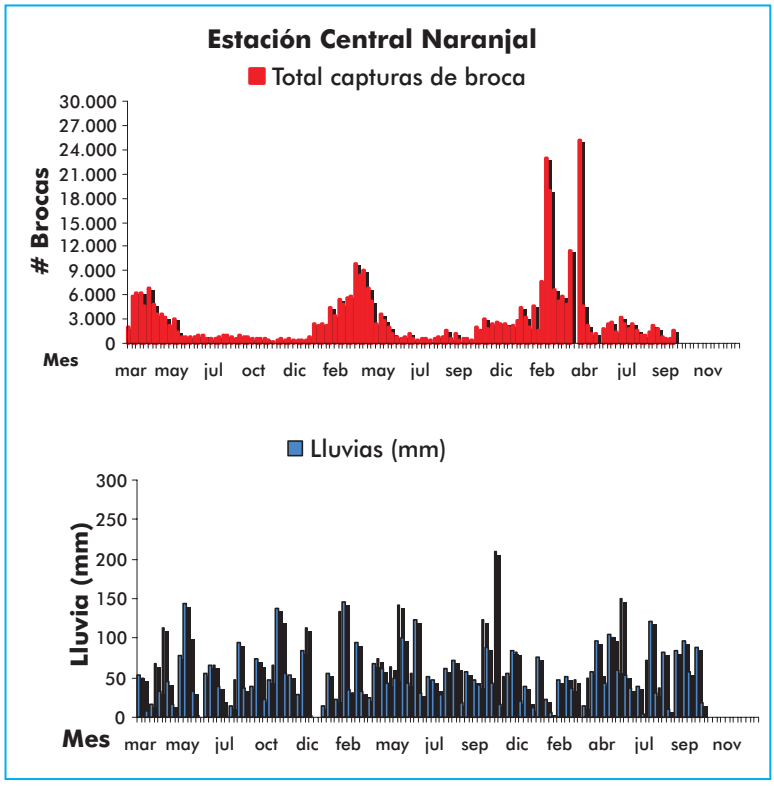


Figura 4.15. Número de brocas capturadas a través del tiempo (arriba) y precipitación (abajo) en la Subestación Paraguaicito entre marzo 2002 y septiembre 2004.

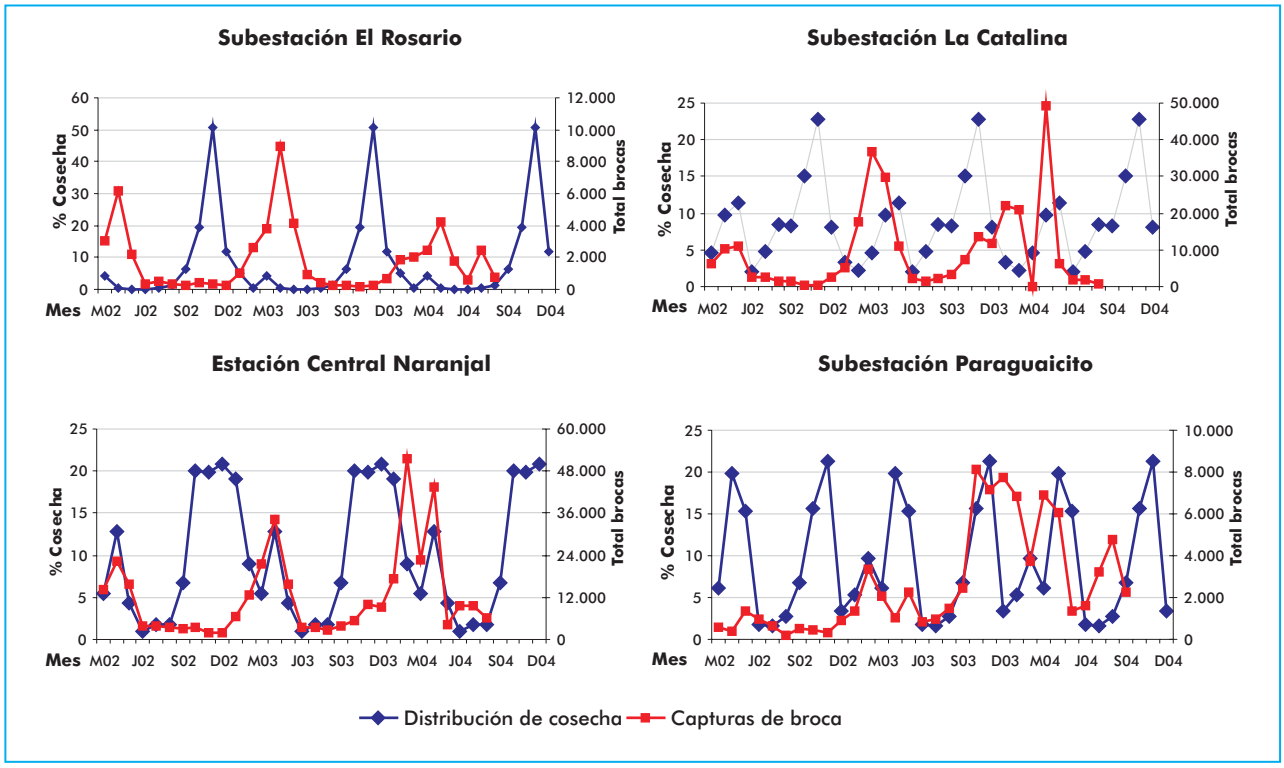


Figura 4.16. Número de brocas capturadas en los diferentes sitios de estudio en relación con la distribución de la cosecha.

En general, se pudo observar que la dinámica de la captura de la broca del café en las trampas es muy variable a través del año y refleja los momentos en los cuales los adultos dejan los frutos en los cuales el insecto se reprodujo, para iniciar la colonización de nuevos frutos en el árbol y está influenciada por el comportamiento del insecto, su capacidad de desplazamiento, las prácticas de manejo para controlarlo, las condiciones agronómicas relacionadas con la cosecha del café y el clima de la región.

El patrón de distribución de las capturas de adultos de broca muestra un comportamiento bastante similar para cada uno de los sitios de estudio en relación con los tres años evaluados. Sin embargo, comparativamente se ve que las cantidades de insectos capturados pueden variar. En las localidades de El Rosario, La Catalina y Naranjal (Figura 4.18) se puede ver cómo la frecuencia de los vuelos, y su proporción fue mayor en el primer semestre que en el segundo. La mayor cantidad de capturas se registró entre los meses de febrero a abril, y después de mayo las capturas fueron mínimas. Durante el período de evaluación las mayores capturas de brocas se concentraron en los meses de marzo, abril y mayo con 78,6%, 71,2% y 69,6% para El Rosario, La Catalina y Naranjal, respectivamente, en el caso de Paraguaicito no se observó tendencia de un mes, en particular.

La distribución de la cosecha (Figura 4.18) en estos sitios es muy similar, lo que probablemente induce a que la actividad de la broca también sea similar. Una excepción a esto ocurrió en La Catalina, para el año 2003, cuando en noviembre y diciembre se incrementaron las capturas, posiblemente por la caída de frutos infestados con broca en el lote durante la cosecha. La localidad Paraguaicito mostró un comportamiento atípico, lo que se considera que es resultado de la distribución de la cosecha que en esta zona es muy pareja en los dos semestres, con picos de capturas de broca para los dos semestres del año (Figura 4.11).

Al analizar los datos de capturas de broca en relación con la precipitación (Figuras 4.12 a la 4.15) durante el estudio, no se encontró ninguna relación directa. Sin embargo, se conoce muy bien que desde que existan adultos de broca en los frutos, tanto en el árbol como en el suelo, éstos inician su emergencia como respuesta a un incremento en la humedad relativa.

El nuevo modelo de trampas constituye una herramienta muy importante para el cafetero, para poder conocer cuándo y cómo son los vuelos de broca en su finca, y así podrá planear más eficientemente las labores de control de esta plaga. Si se logra establecer una red de trampas en una región y se centraliza el análisis de la información, ésta se puede convertir en un mecanismo de alerta para el caficultor en las diferentes regiones cafeteras.

Conclusiones

Los insectos han desarrollado mecanismos muy sofisticados para la comunicación interespecífica e intraespecífica y así, logran ventajas adaptativas para su supervivencia. La comunicación mediada por mensajes químicos denominados semioquímicos, es la más desarrollada y la que recibe actualmente mucha atención por los investigadores. Las plantas a su vez también han desarrollado mecanismos que las benefician para sobreponerse al ataque de herbívoros, enviando mensajes que atraen otros insectos benéficos que son enemigos de estos insectos herbívoros.

El mecanismo funciona así: los insectos, desde grandes distancias, detectan las plantas de las cuales se alimentan por medio de los volátiles que éstas emiten, y a cortas distancias se orientan por su visión. Una vez en la planta y al alimentarse de éstas, como resultado de sus secreciones orales, la planta produce compuestos que envían señales a las células para que se active la hormona sistemina. Esta hormona incita la producción del ácido linolénico que, por peroxidación de sus ácidos grasos, produce el ácido jasmónico. Este ácido jasmónico activa el gen que produce la enzima fenilalanina amonio-liasa (PAL), la cual inicia la síntesis de los metabolitos secundarios. Recientemente, se han encontrado evidencias de otra defensa indirecta de las plantas al producir un análogo del ácido jasmónico, el metil jasmonato, que al liberarse envía señales a plantas vecinas advirtiéndolas sobre el ataque de insectos y así logra que inicien la producción del ácido jasmónico. Los volátiles producidos se diseminan en el aire para que sean captados por los enemigos del herbívoro, los cuales son capaces de discriminar de qué planta provienen y qué insecto está atacando la planta. Una vez en la planta se dirigen a su presa ayudados por las kairomonas producidas especialmente por las heces de la plaga.

En el caso de la broca del café, ésta ha desarrollado mecanismos de detección de volátiles provenientes del proceso metabólico del desarrollo del fruto de café, a los cuales responde para encontrar su huésped. Los volátiles son mezclas de compuestos de alcoholes y, posiblemente, monoterpenoides. Se desconoce la producción de estos volátiles una vez el insecto ataca el fruto, pero se supone que la producción se intensifica y más brocas llegan a estos sitios, lo cual se traduce en los cafetales en "focos" o sitios de concentración de ataques de broca. En relación con los enemigos de la broca nada se sabe sobre sus interacciones con el cafeto para encontrar su huésped, lo cual da lugar a un campo muy interesante de investigación.

Literatura citada

ALBORN, H. T.; BRENNAN, M. M.; TUMLINSON, J. H. 2003. Differential activity and degradation of plant volatile elicitors present in the regurgitant of tobacco hornworm (*Manduca sexta*) larvae. J. Chem. Ecol., 29 (6): 1357-1372.

BORBÓN, O.; MORA, O.; OEHLSCHLAGER, A. C.; GONZÁLEZ, L. M. 2002. Proyecto de trampas, atrayentes y repelentes para el control de la broca del fruto de cafeto, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae). Informe ICAFE, San José, Costa Rica, 18 p.

BUSTILLO, A. E. 1989. El uso de trampas de luz en el manejo de poblaciones de insectos. Actualidades ICA, año 3 No. 35, Medellín, Colombia, p.1-8.

BUSTILLO, A. E. 2004. 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.; JIMÉNEZ, M. 2003. Captura de adultos de la broca del café en trampas con atrayentes. Cenicafé, Brocarta No. 36. Diciembre de 2003, 2 p.

CÁRDENAS, R. 2000. Trampas y atrayentes para monitoreo de poblaciones de broca del café. *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Col., Scolytidae). *In*: Memorias Simposio Latinoamericano de Caficultura, 19. San José (Costa Rica), Octubre 2-6, 2000. ICAFE-PROMECAFE, p. 369-379.

CHAPMAN, R. F. 1982. The insects: Structure and function. 3rd edition, Cambridge, Mass., Harvard University Press, 495 p.

DE MORAES, C. M.; MESCHER, M. C. 2004. Biochemical crypsis in the avoidance of natural enemies by an insect herbivore. Proc Natl. Acad. Sci. (USA), 101 (24): 8993-8997.

DEGENHARDT, J.; GERSHENZON, J.; BALDWIN, I. T.; KESSLER, A. 2003. Attracting friends to feast on foes: engineering terpene emission to make crop plants more attractive to herbivore enemies. Curr. Opin. Biotechnol., 14 (2): 169-76.

DENT, D. 1993. Integrated insect pest management.. *In:* Insect Pest management. CAB International, Wallingford, UK, p. 439-533.

DIETRICH, R. A.; LAWTON, K.; FRIEDRICH, L.; CADE, R.; WILLITS, M.; MALECK, K. 1999. Novartis Agribusiness Biotechnology Research Inc., Novartis Found. Symp., 223: 205-216.

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.

FREY, M.; STETTNER, C.; PARE, P. W.; SCHMELZ, E. A.; TUMLINSON, J. H.; GIERL, A. 2000. An herbivore elicitor activates the gene for indole emission in maize. Proc. Natl. Acad. Sci. (USA), 97 (26): 14801-14806.

GIORDANENGO, P.; BRUN, L. O.; FRÉROT, B. 1993. Evidence for allelochemical attraction of the coffee berry borer *Hypothenemus hampei*, by coffee berries. J. Chem. Ecol., 19: 763-769.

FLINT, H.; DOANE, C. C. 1996. Understanding semiochemicals with emphasis on Insect sex pheromones in integrated pest management programs. *In*: E. B. Radcliffe, W. D. Hutchison, eds. Radcliffe's IPM World Textbook. URL: http://ipmworld.umn.edu, University of Minnesota, St. Paul, MN.

JONES, D. A.; LEWIS, W. J. 1981. Semiochemicals: their role in pest control. Nordlund, ed., John Wiley & Sons, New York, 306 p.

KARBAN, R.; BALDWIN, I. T.; BAXTER, K. J.; LAUE, G.; FELTON, G. W. 2000. Communication between plants: induced resistance in wild tobacco plants following clipping of neighboring sagebrush. Oecologia, 125: 66-71.

LOUGHRIN, J. H.; MANUKIAN, A.; HEATH, R. R.; TURLINGS, T. C.; TUMLINSON, J. H. 1994. Diurnal cycle of emission of induced volatile terpenoids by herbivore-injured cotton plants. Proc. Natl. Acad. Sci., (USA), 91 (25): 11836-11840.

MATTHEWS, R. W.; MATTHEWS, J. R. 1978. Insect behavior. John Wiley and Sons, Inc. 507 p.

MATTIACCI, L.; DICKE, M.; POSTHUMUS, M. A. 1994. Induction of parasitoid attracting synomone in brussels sprouts plants by feeding of *Pieris brassicae* larvae: role of mechanical damage and herbivore elicitor. J .Chem. Ecol., 20: 2229-2247.

MATTIACCI, L.; ROCCA, B. A.; SCASCIGHINI, N.; D'ALESSANDRO, M.; HERN, A.; DORN, S. 2001. Systemically induced plant volatiles emitted at the time of "danger". J. Chem. Ecol., 27: 2233-2252.

MENDOZA, J. R. 1991 Reposta da broca-do-café, *Hypothenemus hampei*, a estimulos visuais e semiquimicos. 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. Atractividade de frutos à broca-do-café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari): estímulos visuais e olfativos. Anais. Londrina (Brasil), UFPR-IAPAR-IRD, p. 313-331.

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). J. Agric. Food Chem., 52*:* 5914-5918.

PARÉ, P. W.; TUMLINSON, J. H.1997 *De novo* biosynthesis of volatiles induced by insect herbivory in cotton plants. Plant Physiol., 114: 1161-1167.

PARÉ, P. W.; TUMLINSON, J. H.1998. Cotton volatiles synthesized and released distal to the site of insect damage. Phytochemistry, 47: 521-526.

PARÉ, P. W.; TUMLINSON, J. H.1999. Plant volatiles as a defense against Insect herbivores Plant Physiol, 121: 325-332.

POSADA, F. J.; BUSTILLO, A. E.; JIMÉNEZ, M. 2003. Seguimiento y captura de brocas usando trampas en cafetales. Cenicafé. Brocarta No. 35, Chinchiná, Colombia, 2 p.

SHAHIDA PERVEEN, S.; QAISRANI, T. M.; SIDDIQUI, F.; PERVEEN, R.; NAQVI, S. H. M. 2001. Cotton plant volatiles and insect's behavior. Pakistan Journal of Biological Sciences, 4 (5): 554-558.

TURLINGS, T. C.; TUMLINSON, J. H.; LEWIS, W. J. 1990. Exploitation of herbivore-induced plant odors by host-seeking parasitic wasps. Science, 250: 1251-1253.

WALLING, L. L. 2000. The myriad plant responses to herbivores. J. Plant Growth Regul., 19 (2): 195-216.

Sección II

El manejo integrado de los cultivos en relación con el control de plagas

Muestra las tendencias actuales del control de plagas en una forma integrada, en la cual se tiene como principal función el manejo del cultivo y el efecto de muchas prácticas agronómicas, culturales, físicas y herramientas de control, sobre las poblaciones de insectos plagas.

CAPÍTULO 5

Cómo implementar un programa de manejo integrado de plagas

Álex Enrique Bustillo Pardey

El desarrollo de insecticidas de síntesis entre 1940 y 1950 causó una revolución en la agricultura, debido a que el agricultor podía resolver los problemas fitosanitarios e incrementar su productividad, y así ampliar la frontera agrícola con mayor confianza hacia un mercado más seguro, con productos de buena calidad y con un flujo permanente. Sin embargo, el uso continuo de estas moléculas muy pronto mostró que su eficacia no se mantenía a través del tiempo, debido a la resistencia que los insectos empezaban a desarrollar, lo cual exigía de la industria nuevos productos para reemplazar los existentes. A pesar de que se seguían desarrollando nuevos insecticidas, su vida en el mercado era muy corta por la rápida pérdida de su eficacia debido a su uso intensivo, sin tener en cuenta las complejidades de los ecosistemas y la dinámica de las poblaciones plagas, que en muchos casos llevaban a desastres económicos de grandes proporciones entre los agricultores.

El uso intensivo e indiscriminado de plaguicidas para controlar insectos plagas (Falcon, 1973; Falcon y Smith, 1974; Bustillo, 1983; Andrews y Quezada, 1989) ha generado varios problemas como son:

- **El desarrollo de resistencia por parte de los insectos a los insecticidas utilizados.** Este hecho ha sido documentado en más de 300 especies de insectos en el mundo. En Colombia, en los cafetales el uso indiscriminado de aplicaciones de endosulfan han llevado al desarrollo de la resistencia a este insecticida por parte de *Hypothenemus hampei*. El problema no solo se ha desarrollado con los insectos a los cuales va dirigido el insecticida, sino también en los sitios adyacentes. Por ejemplo, en Centro América el uso continuo de plaguicidas para el control de plagas en algodón ha producido resistencia en un mosquito que transmite malaria, *Anopheles albimanus*, que habita muchos tipos de vegetación que incluye algodonales.

- **El resurgimiento del insecto atacado después de aplicar el insecticida recomendado.** Esto implica la necesidad de aplicaciones repetidas del plaguicida para reprimir la plaga cada vez que vuelve. En California las poblaciones de *Heliothis zea*, frecuentemente resurgen después de aplicar monocrotofós.

- **El surgimiento de otros insectos que se convierten en plagas.** Esto ocurre por la destrucción de enemigos naturales que mantienen sus poblaciones controladas. Estas especies pueden convertirse en plagas secundarias, que también requieran medidas de control. Las aplicaciones que se hacen en California para el control de *Lygus hesperus* en algodón, eliminan insectos predadores y liberan en esta forma el *Trichoplusia ni* y *Spodoptera exigua*, que aumentan en número y causan severos daños. En cafetales en Colombia la aplicación de insecticidas para el control de *Hypothenemus hampei*, ha ocasionado el surgimiento de plagas como *Leucoptera coffeellum* y *Oligonychus yothersi*.

- **Alteración ambiental fuera de las zonas tratadas con la generación de nuevos problemas de plagas en cultivos adyacentes o la creación de un problema de plagas donde no existía antes.** Esto ha ocurrido en Centro América con el saltahojas (*Dalbulus maidis*) y la enfermedad del enanismo del maíz, causada por un fitoplasma. Antes de 1955 el vector y la enfermedad estaban aparentemente

presentes pero sin causar problemas, tanto en áreas en donde se cultiva algodón como en otras zonas. Desde 1955, la enfermedad ha interferido grandemente en la producción de maíz, pero solo en las áreas cultivadas con algodón donde los plaguicidas se usan extensivamente.

- **Serios peligros a la salud humana se han creado por el uso de plaguicidas.** Como ejemplo se señala que en Nicaragua han ocurrido más de 3.000 casos de envenenamientos y 400 trabajadores han muerto en campos de algodón, durante los últimos años. En cafetales de Colombia, el uso del endosulfan en un solo año, produjo más de 100 intoxicaciones en la zona cafetera del Quindío (Nivia, 2001).

- **Los residuos tóxicos de los plaguicidas sobre los cultivos para alimentación, son otro riesgo que se genera para la salud humana.** En muchas partes del mundo, muchos cultivos se han perdido debido a cantidades de residuos no permisibles acumulados en estos productos, lo cual los hace inutilizables para el consumo de animales y del hombre.

Todo lo anterior se agravó aún más, con los problemas colaterales de muchos insecticidas, que a pesar de ser muy eficientes en el control de plagas, dejaban residuos tóxicos en el ambiente, en el suelo, en las aguas subterráneas e intoxicaciones de la fauna y del hombre. Por otra parte, los grupos ecológicos que clamaban por un mundo libre de contaminaciones ambientales, intoxicaciones humanas y deterioro de la biodiversidad, obligaron a que otras moléculas, consideradas seguras, también se retiraran del mercado (Nivia, 2001). Estos inconvenientes generaron inquietudes en la opinión pública, en los investigadores, las casas productoras de plaguicidas, los asistentes agrícolas y en los agricultores, para un cambio de mentalidad hacia una agricultura más sostenible y amigable con el medio ambiente. Esta estrategia se basó en lo que se conoce como el control integrado o manejo integrado de plagas, que hace uso en una forma racional de todas las herramientas disponibles para controlar un problema de plagas (NAC, 1969; Rabb y Guthrie, 1970).

La concientización de los agricultores por el manejo integrado de plagas ha ido aumentando gradualmente durante las últimas décadas, ya que se trata de un procedimiento práctico y razonable para tratar los problemas de plagas. En el mundo ya hay muchos ejemplos de programas de MIP en cultivos frutales, algodón, yuca, hortalizas y flores bajo invernadero y en el cultivo del café, con resultados muy satisfactorios para los agricultores (Falcon y Smith, 1974, Álvarez y Durán, 1975; Reyes, 1983; Bustillo *et al*., 1998). Un ejemplo muy importante ha sido el del algodón en Colombia donde, a causa de las plagas, este cultivo casi desaparece en la década de los setenta en el siglo pasado, debido a la gran dependencia que alcanzó con los insecticidas y el desarrollo de resistencia por parte de las plagas, hasta cuando con la ayuda de entidades gubernamentales se logró establecer casi por mandato un programa de manejo integrado que permitió continuar con esta actividad (Álvarez y Durán, 1975).

Definición del manejo integrado de plagas

El manejo integrado de plagas (MIP), se puede definir como "El uso de una serie de medidas de control (culturales, biológicas y químicas) tendientes a reducir las poblaciones de la plaga o de las plagas que afectan un cultivo, a niveles que no causen daño económico y que permitan su producción y comercialización en forma competitiva. Las medidas de control deben ser compatibles y tampoco deben causar efectos deletéreos a los habitantes de la zona ni a la fauna, ni contaminar el agroecosistema" (NCA, 1968; Andrews y Quezada, 1989; Dent, 1991).

De la anterior definición se deduce que el manejo integrado de las plagas debe utilizar todas las herramientas que se encuentren disponibles para combatirlas, como son prácticas de control cultural, 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 en la regulación de sus poblaciones. Recientemente se ha acuñado el nombre de Manejo Integrado del Cultivo (MIC), que no es otra cosa que un MIP en donde se incluyen también todas las prácticas de manejo agronómico del cultivo que sean adversas al desarrollo de la plaga (Bustillo *et al.,* 1998; Bustillo, 2002).

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 (NCA 1969, Rabb y Guthrie 1970, Andrews y Quezada, 1989).

Requisitos para el establecimiento de un programa MIP

Un programa de manejo integrado está basado en investigaciones previas y observaciones hechas al agroecosistema, para poder generar un plan ordenado y bien fundamentado con hechos comprobados (Bustillo *et al*., 1998; Harcourt, 1969; Falcon, 1973; Dent, 1991). Por consiguiente se deben llevar a cabo investigaciones que conduzcan a obtener información sobre:

1. Fenología del cultivo en la zona de influencia de la plaga, la cual proporciona información valiosa sobre las épocas de ataque del insecto a través del desarrollo de la planta y la implementación de prácticas agronómicas eficientes para su control.

2. Biología y comportamiento de la plaga, para conocer los puntos débiles que permitan enfocar un control más efectivo.

3. Planes de muestreo, para estimar las poblaciones de las plagas y los umbrales de daño económico. La finalidad es establecer los niveles de población de la plaga que puedan ser tolerados, sin que ocurra una pérdida económica.

4. Factores de mortalidad natural que regulan la abundancia y la dinámica de la población de las plagas, para establecer el papel que pueden jugar en la reducción de las poblaciones de la plaga.

5. Introducción de enemigos exóticos como entomopatógenos, predadores y parasitoides, que se conozca que pueden atacar la plaga.

6. Evaluación individual de los componentes de control, seleccionados para determinar su contribución en el control total.

7. Compatibilidad, armonía y eficacia de los diferentes métodos de control cuando se integran en un programa de manejo integrado.

8. Establecer el impacto que puedan producir los procedimientos de control.

9. Validación del programa de manejo propuesto en cafetales comerciales con la colaboración de extensionistas y agricultores, por medio de la estrategia de Investigación Participativa con Agricultores, IPA.

Para llevar a cabo satisfactoriamente un programa de manejo de plagas es importante contar con personal debidamente capacitado en todos los niveles. En sus estados iniciales se necesitan especialistas entrenados en los principios de biología y ecología así como tener un sentido del enfoque del manejo integrado, y que desarrollen investigaciones para evaluar independientemente los diversos métodos de control de plagas. También deben estar capacitados para conducir investigaciones básicas, que se necesitan para generar la información requerida que se describió anteriormente. Una vez generados los resultados aislados de la investigación, éstos se deben integrar y validar en cultivos comerciales e incluir todos los componentes propuestos para hacer observaciones sobre su comportamiento y eficacia. Estas labores de validación se pueden llevar a cabo a través de la Investigación Participativa con Agricultores (IPA), como se demostró para el caso del cultivo del café en Colombia (Aristizábal *et al*., 2002, 2004; Posada *et al*., 2003; Salazar *et al*., 2003).

Los resultados de investigación deben ir acompañados de un programa de transferencia con extensionistas que hayan vivido también las experiencias de los investigadores, para que las puedan transmitir fielmente y sin problema a los agricultores. Se debe contar con los recursos suficientes para las campañas de divulgación, haciendo uso de los medios escritos, de la radio y de la televisión.

En conclusión, hay que recalcar que los programas de manejo integrado de plagas se desarrollan con lentitud, generalmente basados en un proceso escalonado, y la complejidad del programa surge lentamente. En muchos casos, una simple innovación basada en una buena observación puede producir resultados inesperados.

Conceptos Básicos

Con el fin de unificar criterios es importante definir y aclarar ciertos términos de uso corriente en las actividades de manejo integrado de plagas, y que son utilizados por muchos autores reconocidos (Falcon, 1973; Dent, 1991; Bustillo, 1983; Cardona, 1999; NAC, 1969; Rabb y Guthrie, 1970; Huffaker, 1971; Burges, 1981; De Bach, 1964; Kaya y Stock, 1997).

Ecosistema
Es el sistema en un área, en el que interactúan todos los organismos vivos (animales y plantas) y su ambiente (suelo, clima, refugio). El estudio de los ecosistemas se denomina Ecología.

Agroecosistema
Son ecosistemas agrícolas y se caracterizan porque son establecidos y manejados por el hombre. El agroecosistema puede definirse como una unidad compuesta del complejo total de organismos en una zona de cultivo, juntamente con todo el medio ambiente condicionante y además, modificado por las diversas actividades de índole agrícola, industrial, recreacional y social del hombre. Los agroecosistemas son muy variables en relación a su estabilidad, complejidad y tamaño. Se encuentran normalmente en un proceso de evolución por la intervención permanente del hombre, debido a los cambios en los sistemas de cultivo, las variedades cultivadas o la forma de controlar las plagas. Por lo tanto, es muy difícil establecer con precisión los límites cuando éstos son muy complejos y albergan plagas migratorias.

Comunidad
Es la parte viviente del ecosistema, por ejemplo, para el caso de los insectos, la comunidad la conforman todos los insectos y las plantas que existen en una determinada área (Posada, 1975).

Población
Se define como un grupo de individuos de la misma especie que ocupa un área de tamaño definido y que tiene todos los requisitos necesarios para que esos organismos puedan vivir (Posada, 1975).

Medio ambiente
Son todos aquellos factores que rodean una población y que pueden causarle fluctuaciones en su densidad. El crecimiento de una población está supeditado a su potencial biótico y la resistencia ambiental.

Potencial biótico
Se refiere a la habilidad de un organismo para reproducirse y aumentar su población sin controles. Esta situación nunca se encuentra en la naturaleza, pero debido a que la potencialidad siempre existe, si alguno de los controles se remueve la población insectil toma ventaja y puede resultar en un brote. La habilidad para reproducirse que tienen algunos insectos en la fase de reproducción es sorprendente.

Resistencia ambiental

Está compuesta por todos aquellos factores del medio ambiente que tienden a reducir la población de un organismo. Estos factores se dividen en dos grupos abióticos y bióticos. Los **abióticos** o físicos los constituyen el clima, el suelo, el aire, el espacio y la luz, y los **bióticos** que están constituidos por los depredadores, los parasitoides y los patógenos.

Control natural

De Bach (1964) define el control natural como "el mantenimiento de una población más o menos fluctuante de un organismo dentro de ciertos límites superiores e inferiores definibles sobre un período de tiempo, por la acción de factores bióticos y/o factores abióticos ambientales. Los límites superiores e inferiores y el promedio de densidad cambiarán apreciablemente sólo si la acción de los factores reguladores se cambia o si algunos son eliminados o se agregan otros nuevos. El control natural no necesariamente indica la existencia de bajas densidades de población. Todas las poblaciones de animales, sin importar su densidad, están bajo cierto grado de control natural".

Control biológico

Es el uso de organismos vivos como parasitoides, depredadores y patógenos o de sus productos para prevenir o reducir las pérdidas o daños causados por los insectos plaga. Estos organismos vivos pueden ser: parasitoides, depredadores, patógenos, antagonistas o competidores.

La principal diferencia con el control natural es que en este control no existe la intervención del hombre, mientras que con el control biológico es indispensable la intervención del hombre para su ejecución.

El parasitismo es un proceso por el cual una especie sobrevive a expensas de otras especies. A continuación se presentan las relaciones existentes entre los parásitos y los insectos:

1. Insectos parasitoides

Estos insectos depositan un huevo dentro o cerca de su insecto huésped y las larvas que emergen se desarrollan dentro o fuera de los insectos, por lo que se les denomina endo o ectoparasitoides, respectivamente. El parasitoide pasa su estado larval en el insecto plaga, y éste muere al final de su desarrollo. Cuando el parasitoide llega a adulto es de vida libre y puede tener hábitos diferentes a los inmaduros, puede alimentarse del néctar de las flores o depredar otros organismos. Cada parasitoide utiliza sólo un huésped durante su ciclo de vida. Este grupo está muy bien representado en los órdenes Hymenoptera y Diptera.

Por lo general, los parasitoides son más específicos que los depredadores, y a diferencia de los parásitos pueden dispersarse activamente en busca de sus presas. Por estas razones tienen una gran importancia como agentes de control biológico de insectos plaga, principalmente en la agricultura.

2. Depredadores de insectos

Los depredadores cazan y causan la muerte de los insectos plaga. El depredador se caracteriza por consumir muchos insectos durante su vida y es muy común entre los insectos; existen cerca de 32 grupos que atacan plagas en cultivos agrícolas.

3. Patógenos de insectos

Los patógenos son un grupo de microorganismos que al invadir los insectos tienen la capacidad de causarles una enfermedad. Por lo general, los microorganismos patogénicos invaden y se reproducen en el insecto y se les denomina entomopatógenos. Se transmiten a los insectos por contacto directo, ingestión y por transmisión de una generación a otra. Los microorganismos que pueden causar enfermedades en insectos pertenecen a los grupos de entomovirus, bacterias, hongos, protozoarios y entomonematodos.

Entomovirus. Son partículas diminutas, no celulares, que al ser ingeridas por organismos vivos se tornan parasíticas. La infección viral en los insectos ocurre por vía oral, al ingerir alimento contaminado con el virus. El virus ingresa al intestino y de ahí atraviesa la pared intestinal para reproducirse y dispersarse en toda la

cavidad hemocélica. La replicación del virus en los tejidos susceptibles del insecto causa desintegración de éstos y las larvas se tornan blandas y muy frágiles. Los insectos infectados por un virus muestran síntomas de inapetencia, el integumento se torna más claro y normalmente el estado larval se prolonga y es menos activo. En estados más avanzados de la infección se produce la muerte. En la naturaleza existe una gran diversidad de virus entomopatógenos, hay cerca de 16 familias identificadas, y las más importantes son: Baculoviridae, Poxviridae, Ascoviridae, Reoviridae e Iridoviridae.

Baculoviridae es quizás la familia más estudiada y a ella pertenecen los grupos de virus de la poliedrosis y granulosis, que afectan muchos insectos lepidópteros e himenópteros. Estos virus se caracterizan por presentar cuerpos de inclusión de diferentes formas que los protegen contra factores ambientales, como radiación, temperaturas y humedades. En el interior de estos cuerpos se encuentran las partículas infectivas o viriones. Este tipo de virus sólo se ha encontrado en insectos y son probablemente el grupo de microorganismos más exitoso en programas de manejo integrado de plagas.

Bacterias. Son organismos procariotas unicelulares sin un núcleo definido por una membrana nuclear. Las infecciones bacterianas en insectos ocurren especialmente por la ingestión de comida contaminada y luego invaden la cavidad hemocélica a través del intestino de los insectos. Se reproducen en la hemolinfa de los insectos causando septicemias que matan su huésped. Esta muerte se puede acelerar con algunas bacterias que además de invadir el insecto producen toxinas.

Los estados larvales de los insectos infectados con bacterias se tornan oscuros y pierden turgencia, mientras que los órganos internos se desintegran y presentan una consistencia acuosa caracterizada por un olor putrefacto.

Las bacterias del genero *Bacillus*, que forman esporas, presentan las mejores condiciones para su uso en programas de control biológico, ya que la espora les asegura una mayor permanencia en los sitios donde se dispersa. *Bacillus popilliae* infecta larvas de coleópteros especialmente del tipo de las chisas, que se encuentran en el suelo atacando sistemas radiculares de las plantas. *Bacillus sphaericus* es usada para el control de mosquitos Culicidae. Una de las bacterias más conocidas es *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* que afecta lepidópteros, *B. thuringiensis* var. *israeliensis* afecta diferentes familias de Diptera y *B. thuringiensis* var. *tenebriones* afecta algunas larvas de Coleoptera.

Muchos estudios se han llevado a cabo con *B. thuringiensis,* con registros de más de 30 subespecies y aislamientos de muchas cepas. Esta bacteria produce una proteína tóxica conocida como cristal paraesporal o delta endotoxina, que es la que causa la enfermedad en el insecto.

Hongos. Son formas eucarióticas, unicelulares o multicelulares, con un núcleo claramente definido por una membrana. Los primeros organismos que se identificaron como causantes de enfermedades en insectos fueron los hongos, debido a que era posible observar su crecimiento en la superficie de los insectos.

Los insectos generalmente son infectados por las esporas o conidias (unidades reproductivas) de los hongos. El hongo penetra el insecto por ruptura del integumento y en algunos casos a través de sus aberturas naturales (cavidad bucal, espiráculos). El modo de penetración depende de las propiedades de la cutícula de los insectos, pero generalmente, las esporas germinan y producen una hifa que penetra la cutícula del insecto por medio de la producción de enzimas. Dentro de la cavidad del cuerpo del insecto, el hongo se multiplica en forma de fragmentos cortos o cuerpos hifales, los cuales se diseminan a todas partes del insecto, y eventualmente destruyen órganos internos. La muerte del insecto ocurre por deficiencias nutricionales, invasión y destrucción de sus tejidos, así como por las sustancias tóxicas que produce el hongo. Luego, el hongo produce estructuras reproductivas y sale del insecto para su diseminación.

Los hongos entomopatógenos están presentes en todas las clases de hongos conocidas, los más ampliamente distribuidos pertenecen a los Deuteromycetes y Entomophthorales. Los Deuteromycetes, *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae,* agentes causales de las enfermedades en insectos, conocidas como muscardina blanca y verde, respectivamente, son muy importantes por su amplio potencial de aplicación como biocontroladores.

Protozoarios. Incluyen un heterogéneo grupo de microorganismos. Existen alrededor de 1.200 especies de protozoos, de 15.000 descritas, que están asociadas a insectos. Los protozoos entomopatógenos se encuentran comúnmente en el tracto digestivo de los insectos como comensales o en asociaciones mutualistas. La mayoría de los protozoos entomopatógenos entran al insecto por la boca y luego alcanzan el tracto digestivo. La penetración por la cutícula ocurre en algunos casos. El estado infeccioso del protozoo es generalmente una espora, que luego de pasar por el intestino penetra el hemocelo y termina en la hemolinfa en donde puede permanecer de forma extracelular o puede penetrar las células de órganos y tejidos, y causa la patología. Para estos microorganismos no se ha registrado la producción de toxinas. La infección se caracteriza porque los insectos se tornan cloróticos o blancuzcos, su tamaño se reduce y permanecen en estado inmaduro. La gran cantidad de esporas de los protozoos que se encuentran en el tejido graso y la hemolinfa hace que estas estructuras se vean blancas. El integumento de los insectos muertos permanece firme y no se desintegra. Los protozoarios entomopatógenos más importantes incluyen las microsporidias del género *Nosema* spp. y los eugregarinos, que pueden causar infecciones letales. *Nosema* ha sido usado, y tiene potencial, para controlar saltamontes y en algunas plagas de granos almacenados.

Entomonematodos. En la literatura mundial, se registran más de 40 familias de nematodos asociadas a insectos. Sin embargo, las especies consideradas con potencial para el control de plagas son las pertenecientes a las familias Steinernematidae y Heterorhabditidae. El hábitat de estas especies de nematodos entomopatógenos es el suelo y se consideran parásitos eficientes de insectos ya que matan a su hospedante durante las siguientes 48 horas después de infectarlo.

Por lo general, las especies de estas dos familias presentan un ciclo de vida simple: huevo, cuatro ínstares de estados juveniles y dos sexos en el adulto. El tercer ínstar del estado Juvenil Infectivo (JI), se encarga de buscar al hospedante. Los JI se introducen en el insecto por sus aberturas naturales (boca, ano o espiráculos). Los JI de heterorhabditidos también pueden infectar los insectos atravesando la cutícula, gracias a una estructura queratinosa que se asemeja a un pequeño diente. Una vez en el interior del insecto, los JI alcanzan el hemocelo. Luego, el JI "inyecta" en el hemocelo del insecto su simbionte, una bacteria localizada en el tracto digestivo de los estados juveniles infectivos del nematodo.

Steinernema spp., debido a cambios en la composición bioquímica del insecto, causados durante la multiplicación del simbionte en el hemocelo, pasa al siguiente estado J4, el cual se alimenta del insecto, y a partir de éste se desarrollan los adultos: hembra y macho. Una vez los adultos han madurado, se presenta la cópula y a partir de los huevos fecundados, localizados en el interior de las hembras, se desarrollan los estados J1 con posterior desarrollo a J2 y J3; estos últimos, salen de las hembras ejerciendo una presión mecánica desde su interior, lo que causa su rompimiento. Si la reserva de alimento que proporciona el hospedante no es suficiente, el J3 adquiere la bacteria simbionte, se alimenta de los tejidos del cadáver del insecto y lo abandona, para iniciar la búsqueda de un nuevo hospedante.

En *Heterorhabditis* el desarrollo del JI, después de haber alcanzado el hemocelo del insecto y liberado el simbionte, continúa con el J4; éste a diferencia de *Steinernema,* se desarrolla en un adulto hermafrodita. En estos adultos, los huevos autofecundados, dan lugar a estados juveniles J1, con el posterior desarrollo en J2 y J3, de manera similar a lo mencionado anteriormente. Lo particular de esta familia es que en la segunda generación de adultos (formados de progenie de estados infectivos) se desarrollan machos y hembras.

En los últimos años se han realizado trabajos que han permitido conocer ampliamente sobre la biología de los insectos huésped y su epidemiología, dando las bases para avanzar en los procesos de su producción, formulación y métodos de aplicación (Ricci *et al.*, 1996). Lo anterior, ha permitido incorporar a los nematodos entomopatógenos con éxito en programas MIP.

Dinámica de poblaciones

Es la rama de la ecología que investiga las causas de los cambios en las poblaciones y el mecanismo del control natural de estas poblaciones (Milne, 1962).

Tablas de vida
Es una presentación sistemática de la mortalidad y supervivencia en una población. La tabla de vida de un insecto se debe realizar durante varios años en un mismo sitio, con el fin de aumentar nuestro entendimiento de la dinámica de una población de insectos y al mismo tiempo revelar los períodos más oportunos para el manejo de la plaga, y así influenciar la tasas de supervivencia (Harcourt, 1969).

Índice de umbral económico
Es la densidad de la población del insecto a la cual se deben realizar medidas de control para prevenir que la plaga alcance el nivel de daño económico (Stern, 1973). Es decir, el umbral económico es el punto en el cual la densidad de insectos (o plagas) presentes, está apenas por debajo de aquel límite en el que el costo y el daño hecho en el valor del cultivo igualan el costo del tratamiento.

Nivel de daño económico
Es la densidad más baja de la población de una plaga que causaría un daño económico. El daño económico es aquel que justifica los costos de las medidas de control, de aquí que este nivel varíe de acuerdo con el cultivo, el área y la variación del precio de los insumos y mano de obra (Stern, 1973).

Posición general de equilibrio
Es el promedio de la densidad de una población durante un período en ausencia de cambios permanentes del medio ambiente (Álvarez, 1975).

Muestreo
Antes de decidir sobre una medida de control es necesario hacer un reconocimiento y conteo de la población para determinar su abundancia. Estos conteos no se hacen sobre toda la población, ya que sería imposible llevarlos a cabo, por lo cual se efectúan mediante muestreos de la población en diversos lugares del cultivo. La evaluación debe incluir también la fauna benéfica que esté actuando sobre la plaga. La información que se obtenga del muestreo debe estar relacionada con los índices previamente establecidos de daño económico con los cuales se establece la necesidad del control.

Métodos de control de plagas

El manejo integrado de plagas, como se indicó anteriormente, se basa en el uso inteligente de varios métodos de control, tendientes a disminuir al mínimo el uso de los insecticidas de síntesis, a incrementar los agentes biológicos y como consecuencia proteger la fauna benéfica existente en el agroecosistema. Los métodos de control que se deben tener en cuenta en un programa de manejo integrado son (Dent, 1991; NAC, 1969; Falcon, 1973; Cardona, 1999):

Control natural
Permite y fomenta al máximo los enemigos naturales que normalmente afectan una plaga.

Control biológico
Está relacionado con la liberación de parasitoides y depredadores para el control de una determinada plaga. Se incluyen también aplicaciones de formulaciones de bacterias, hongos, virus y entomonematodos para el control de insectos. Esta práctica se debe hacer en una forma coordinada, con el fin de que otros métodos de control no interfieran con su ejecución y eficacia.

Control químico
Se usan insecticidas químicos para reprimir las plagas, sólo en casos necesarios, cuando la plaga alcanza los índices de umbral de daño económico y no existe otra forma de impedir el daño al cultivo. Debe ser selectivo y se deben usar dosis bajas, con el fin de que se ejerza control y que no se destruya la fauna benéfica. En esta forma se ocasiona el menor daño posible al agroecosistema.

Control cultural
Se basa principalmente en una buena preparación del terreno, control de arvenses agresivas, rotación de cultivos, períodos cortos de siembra en una región y uso de variedades resistentes o tolerantes a la plaga, siempre y cuando sea posible obtenerlas.

Control físico
Se refiere a métodos mecánicos para remover o eliminar una plaga. Normalmente estos métodos son costosos y poco utilizados. Sin embargo, en cultivos de café se ha validado el uso de aspiradoras mecánicas para recoger del suelo los frutos de café infestados por broca[1].

Control legal
Todos los programas de manejo integrado deben basarse en medidas gubernamentales coercitivas, que garanticen el empleo de estas medidas en toda la región. Ejemplo de esto es la resolución No. 306 de 1973, que el Ministerio de Agricultura de Colombia expidió reglamentando el control de plagas en el cultivo del algodón. Además, se requiere un control del gobierno en la calidad de los insumos, las cuarentenas, vedas, movimientos de material vegetativo y destrucción de zocas.

Para el caso de la broca del café en Colombia, también han existido normas legales para contrarrestar este insecto. Además de las medidas que se tomaron para evitar su ingreso al país, una vez que se registró y estableció el insecto, el ICA emitió la Resolución 1986, de julio de 1992, que obliga a realizar prácticas como la cosecha total de frutos secos y sobremaduros, la cosecha periódica y el beneficio oportuno de los frutos cosechados, y no transportar frutos infestados a sitios libres de la plaga.

Clases de plagas en los cultivos

El término plaga se refiere a aquellos insectos u otros organismos como ácaros, arañas, babosas o pájaros, que dañan o compiten con el hombre por el alimento o los bienes que éstos intentan producir. El daño que las plagas pueden inflingir a un cultivo puede variar desde pequeñas manchas que deterioran la calidad de un producto hasta la pérdida total del cultivo. Las medidas para reducir el impacto de las plagas en los sistemas agrícolas varían de acuerdo con su comportamiento, forma de ataque y la respuesta de las plagas a las condiciones creadas por el hombre (Saunders *et al*., 1998).

Las plagas en los cultivos se pueden agrupar en seis clases, de acuerdo con su comportamiento y las actividades que se deben desarrollar para evitar su daño (Saunders *et al.,* 1998; Cardona, 1999):

Plagas endémicas
Son muy constantes, se registran año tras año en los cultivos, y se espera que causen algún daño o pérdida económica. Presentan poca fluctuación en sus poblaciones de un año al otro. Tienen una fauna benéfica presente que normalmente es insuficiente, lo que permite que la plaga alcance poblaciones a niveles que causan daño económico. Por lo general, se requiere tomar medidas para el control de sus poblaciones. En Colombia se pueden citar los casos de *Spodoptera frugiperda* en maíz, *Anthonomus grandis* en algodón y *Trialeurodes vaporariorum* en fríjol.

Plagas esporádicas
Se registran normalmente en un nivel muy bajo o pasan desapercibidas, pero son capaces de incrementar sus poblaciones repentinamente como respuesta a condiciones de clima que les son favorables. En los cafetales

[1] LÓPEZ, H. A.; OLIVEROS, C.; BUSTILLO, A. E.; DUQUE, H. 2005. Evaluación de la Recolección de frutos de café caídos en la cosecha con la aspiradora Cifarelli V77S en esquema de Investigación Participativa (IPA).Informe interno Cenicafé. 15 p.

esto ocurre con la arañita roja, *Oligonychus yothersi*, y el minador de las hojas del cafeto, *Leucoptera coffeellum*, durante épocas de sequía en la zona cafetera.

Plagas inducidas

Son aquellas que el hombre genera como consecuencia de un manejo inapropiado de sus cultivos. Ejemplo de éstas son los brotes de defoliadores geométridos del género *Oxydia* en cafetales del Quindío.

Plagas de irrupción

Son plagas que se originan en cultivos vecinos o en otros huéspedes silvestres y pueden moverse a cultivos aledaños e invadirlos. Las invasiones son generalmente de corta duración, son locales y tienden a ocurrir en la misma época del año. Ejemplos son los gusanos ejército, que a veces invaden cultivos de leguminosas, yuca y maíz, y que actúan como trozadores o defoliadores (*Mocis latipes, Erinnyis ello, Anticarsia gemmatalis, Spodoptera frugiperda, Agrotis ipsilon*).

Plagas clave

Son aquellas especies que se consideran las plagas más importantes en un cultivo y que su mal manejo puede generar otros problemas en el cultivo afectado. Aparecen todos los años en poblaciones que amenazan el cultivo con pérdidas económicas. Este es el caso de la broca del café en los cafetales de casi todo el mundo.

Plagas vectoras

Las plagas o insectos vectores se caracterizan porque en la mayoría de los casos no hacen un daño muy evidente a la planta, debido a que se presentan en bajas poblaciones, pero tienen una capacidad de transmitir enfermedades a las plantas. Son muy importantes cuando ellas y el patógeno que transmiten están presentes simultáneamente. En estos casos la única manera eficaz de evitar pérdidas es sembrando variedades resistentes al vector o resistentes a la enfermedad. También se puede ayudar al control eliminando huéspedes alternos y con la rotación de cultivos. En esta categoría se encuentran muchas especies de Aphididae y Cicadellidae.

Manejo integrado del cultivo

El enfoque del manejo integrado de plagas debe contemplar no solo la factibilidad del control de la plaga sino ampliarse al manejo del cultivo. El fin de los agricultores no es controlar plagas sino producir competitivamente sus productos, y existen muchas prácticas que puede implementar en el manejo de su cultivo que evitan que las poblaciones de insectos plaga se incrementen. Entre estas múltiples prácticas agronómicas (Saunders *et al.,* 1999; NAC, 1969; Rabb, y Guthrie, 1970; Hill, 1975; Bustillo, 2002) se enumeran algunas a continuación:

1. La siembra temprana y simultánea de un cultivo sobre una gran extensión de terreno permite un desarrollo máximo al cultivo antes de que se presenten poblaciones de insectos que alcancen niveles críticos, que afectarían seriamente los cultivos si éstos se encontraran en un menor desarrollo fisiológico. Esto puede ocurrir con *Contarinia sorghicola* en el cultivo del sorgo.

2. La rotación de cultivos con otro que no sea similar puede reducir la reinfestación de insectos que se encuentren en el suelo. Esto sólo es aplicable a plagas que tienen una sola planta huésped o muy pocas, es el caso de los ataques por nematodos fitoparásitos.

3. La siembra intercalada con un cultivo diferente puede reducir las densidades de plagas de ambos cultivos debido a la interferencia química y mecánica.

4. Permitir las coberturas vegetales en cultivos en ladera como el café, no solo protegen el suelo de la erosión sino que son albergue de la fauna benéfica que ataca las principales plagas de este cultivo.

5. La sanidad en los campos cultivados, para lo cual se debe retirar de los campos los residuos de cultivos, huéspedes alternos y malezas que pueden alojar poblaciones de insectos.

6. La labranza o buena preparación del suelo puede destruir las poblaciones de insectos del suelo como las chisas y trozadores, y exponer sus larvas a los depredadores. Es muy común en el Valle del Cauca la depredación de estas larvas por garzas en cultivos de maíz, sorgo, algodón, etc.

7. La cosecha anticipada reduce el tiempo en que están expuestas las partes más valiosas de un cultivo al ataque de las plagas. Esto es importante con cultivos de granos que son atacados por pájaros o plagas que se manifiestan cuando el grano se almacena, también con los cultivos de tubérculos que quedan expuestos a insectos del suelo.

8. Lograr mantener el campo del cultivo libre de vegetación antes de realizar la siembra, durante un tiempo suficiente para que los insectos que se encuentren en el suelo mueran por falta de alimento. En algunas regiones se reglamenta una veda durante la cual ciertos cultivos no se producen, con el propósito de romper el ciclo de la plaga, al no tener un sustrato donde alimentarse.

9. El uso de variedades resistentes o tolerantes: son la mejor forma de controlar enfermedades transmitidas por insectos, bien sea porque existan variedades resistentes o tolerantes a la enfermedad o hacia el insecto.

10. Para el fomento de la fauna benéfica puede ser útil mantener algunas arvenses melíferas en los cultivos, las cuales proporcionen refugio y alimento a los enemigos naturales de una plaga. En estos casos, si se usan insecticidas de síntesis es importante hacer aplicaciones localizadas y dirigidas sólo a la planta afectada para minimizar el efecto dañino sobre los enemigos naturales. Al hacer las aspersiones por parches se puede lograr una mayor supervivencia de la fauna benéfica.

11. Incrementar la densidad de siembra, especialmente donde se espera un ataque de plagas del suelo como los trozadores, esta mayor densidad compensa la pérdida de plántulas. Luego, es necesario hacer un raleo hasta alcanzar la densidad requerida.

12. En algunos casos se puede acudir al raleo y destrucción de plantas altamente infestadas que de otra forma contribuirían a que las pérdidas fueran mayores.

Recomendaciones para un buen uso de plaguicidas

Para lograr un mayor beneficio al utilizar cualquier tipo de plaguicida es importante tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

1. Use productos selectivos: Para esto se deben conocer las épocas críticas en las cuales las plagas son más vulnerables a la aplicación de un insecticida.

2. Utilice la información sobre los umbrales de daño económico basados en la información de investigación realizada para este propósito.

3. Use el insecticida apropiado para la especie de insecto que desea controlar y evite productos de amplio espectro. Los insecticidas sistémicos son menos dañinos a los insectos benéficos, pero se debe tener en cuenta el período de carencia, especialmente en cultivos donde el follaje o los frutos son para el consumo humano. Es importante en cultivos de exportación saber cuáles son los productos permitidos.

4. Se debe ceñir a las dosis recomendadas y evitar mezclas de insecticidas, la duplicación de dosis o la dilución para cubrir un área más grande de lo que la cantidad del producto debe cubrir, ya que esto puede generar resistencia.

5. Aplicar los insecticidas en una forma localizada en los "focos", para reducir el costo del control y preservar parte de la fauna benéfica para el control de las plagas.

6. Se deben mantener los equipos de aspersión en un buen estado de funcionamiento, con las boquillas de descarga adecuadas. Por otra parte, es importante no solo la calibración de los equipos sino la calibración de los operarios, con toda la indumentaria apropiada de protección.

El control biológico en el MIP

El control biológico con entomopatógenos

El control biológico puede jugar un papel muy importante en un programa MIP, para eso es indispensable conocer muy bien el insecto que se va a controlar y el agente de control biológico que utilizará.

Las formulaciones de entomopatógenos basadas en bacterias, hongos y virus se pueden utilizar con un enfoque de control a largo o corto plazo. El control a largo plazo se usa cuando las plantas afectadas por una plaga pueden soportar un nivel de daño alto o con aquellas plantas que su valor económico es relativamente bajo. Esta estrategia se ha empleado con éxito utilizando hongos (*B. bassiana*), bacterias (*B. thuringiensis*) y *Baculovirus*, en cultivos perennes como forestales, frutales y pastos, en los casos en que el patógeno se encuentra en el agroecosistema en forma natural y al aplicarlo se logra una mayor eficacia en menor tiempo (Tanada y Kaya, 1993; Huffaker, 1971; Burges y Hussey, 1971).

La estrategia del control a corto plazo es más apropiada contra insectos que hacen el daño en plantas con un valor económico alto o que no pueden soportar niveles de daño muy altos. Bajo estas circunstancias el agente de control biológico se aplica como si fuera un insecticida químico y por lo general, hay que hacer varias aspersiones. Las formulaciones de *B. thuringiensis* se han usado bajo esta estrategia contra lepidópteros en cultivos de hortalizas y contra defoliadores en forestales (Bustillo, 1979; Burges, 1981; Tanada y Kaya, 1993).

Factores que determinan la eficacia de un entomopatógeno

Dosis

Existe un mínimo de unidades infectivas de los entomopatógenos que se requieren para poder iniciar la infección en un insecto. Para estos organismos también se aplican los conceptos de dosis letal y número mínimo de unidades capaces de causar la muerte al insecto. Por lo tanto, antes de usar uno de estos agentes de control, es necesario tener información experimental sobre la concentración, la viabilidad, la dosis y la eficacia sobre el insecto que se tratará. También se debe conocer con certeza el momento oportuno de realizar la aspersión con equipos y personal calibrados (Tanada y Kaya, 1993; Burges, 1981).

Tiempo de aplicación

La escogencia del momento adecuado de aplicación es fundamental para el éxito del control. Si los insectos no están presentes en el estado en que son susceptibles al entomopatógeno o si las condiciones climáticas no son las adecuadas para la sobrevivencia del biocontrolador, el control no tendrá éxito. La temperatura, las condiciones de luz ultravioleta, a la cual los entomopatógenos son muy sensibles, y la humedad son otros factores para considerar.

Cubrimiento

Es indispensable lograr un buen cubrimiento en el cultivo con la aspersión del producto biológico, ya que la mayoría de patógenos deben ser ingeridos o deben estar cerca o en contacto con la cutícula de los insectos.

pH

Cuando se asperja un producto biológico en una suspensión acuosa, el agua debe tener un pH cercano a siete, en caso contrario el producto puede perder su viabilidad.

Edad del insecto

Durante el ciclo de vida de los insectos, en general, los primeros ínstares son más susceptibles a los entomopatógenos.

Compatibilidad

Es importante tener en cuenta la compatibilidad del biocontrolador con otros métodos de control, como son las aplicaciones de insecticidas químicos, la liberación de parasitoides o algunas prácticas de control cultural, para que no interfieran con su eficacia y permanencia en el agroecosistema.

Resistencia

Es posible que los insectos puedan presentar diferentes grados de susceptibilidad hacia un biocontrolador y en algunos casos se ha observado el desarrollo de resistencia, esto último se ha comprobado con *B. thuringiensis* y *Baculovirus*. Sin embargo, existe predisposición genética y variabilidad genética dentro de una población de insectos, que puede determinar la capacidad de una población para adaptarse o no a una estrategia de control (Tanada y Kaya, 1993).

El control biológico con insectos

Existen tres estrategias básicas de aplicación del control biológico con parasitoides y depredadores, éstas son: **introducción**, **incremento y conservación** (De Bach, 1964; Huffaker, 1971; Dent, 1991; Van Drieche y Bellos, 1996; Saunders *et al.,* 1999).

Introducción

Consiste en la búsqueda, la importación y el establecimiento de enemigos naturales desde el lugar de origen de la plaga, que no se encuentran en el lugar donde ocurre el problema de infestación, para que puedan controlar sus poblaciones. Para lograr la introducción de enemigos naturales se debe:

- Realizar una exploración de los enemigos naturales en el lugar de origen del insecto plaga.

- Identificar la(s) especie(s) encontrada(s), estudiar su biología, hábitos y procedimientos para su reproducción masiva en el laboratorio. Establecer los huéspedes que pueden atacar.

- Mantener el enemigo natural en cuarentena, en el sitio de importación de los insectos introducidos, para evitar que traigan hiperparásitos o sean portadores de microorganismos indeseables.

Incremento

La estrategia de incremento consiste en aumentar artificialmente la población de enemigos naturales, para lograr un mayor efecto y disminuir así la población de las plagas. Esta estrategia se utiliza cuando el control natural está ausente o sus niveles de población son muy bajos para ser eficaces.

En relación con la aplicación y la forma de realizar el control se pueden diferenciar dos estrategias básicas: inoculación, con finalidad preventiva, e inundación, con finalidad curativa.

Inoculación

La inoculación se usa cuando el enemigo natural puede permanecer durante un tiempo en el cultivo. Las liberaciones inoculativas se hacen al inicio del cultivo para colonizar el área, durante la permanencia del cultivo y de esta forma prevenir los incrementos de la plaga. Es posible que se requieran reintroducciónes periódicas del agente benéfico. Esta estrategia tiene mucha relación con un control a largo plazo especialmente en cultivos perennes.

Inundación

La estrategia de inundación consiste en liberaciones masivas de los enemigos naturales o introducidos, para la reducción de la población de la plaga a corto plazo, cuando la densidad alcanza niveles de daño económico.

Conservación

La conservación propende mantener la fauna benéfica mediante el manejo del medio ambiente, para crear condiciones que favorezcan la supervivencia y la permanencia de los agentes biocontroladores. Para esto se deben identificar y remediar las prácticas que suprimen los enemigos de la plaga, como es la aplicación indiscriminada de los insecticidas. Por lo tanto, se recomienda utilizar insecticidas de baja toxicidad y reducir la dosis y la frecuencia de las aplicaciones.

Literatura citada

ÁLVAREZ, J. A. 1975. Sistemas integrados de manejo de plagas. *In*: Curso control integrado de plagas, ICA, Regional 6, Ibagué, Colombia, p. 2 –23.

ÁLVAREZ, J. A.; DURÁN, A. 1975. Guía para el control de plagas en cultivos de algodón, arroz, maíz, sorgo y ajonjolí. *In*: Curso control integrado de plagas, ICA, Regional 6, Ibagué, Colombia, p. 87– 117.

ANDREWS, K. L.; QUEZADA, J. R. 1989. Manejo integrado de plagas insectiles en la agricultura: Estado actual y futuro. Departamento de Protección Vegetal, Escuela Agrícola Panamericana "El Zamorano", Honduras, 623 p.

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.; SALAZAR, H. M.; MEJÍA, C. G.; BUSTILLO, A. E. 2004. 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.

BURGES, H. D. 1981. Microbial control of pest and plant diseases 1970-1980. London, Academic Press, 949 p.

BURGES, H. D.; HUSSEY, N. W. 1971. Microbial control of insects and mites. London, Academic Press, 861 p.

BUSTILLO, A. E. 1979. ¿Qué causa los brotes de *Glena bisulca*?. Recomendaciones sobre su manejo. *In*: Seminario sobre plagas forestales en Colombia. SOCOLEN, Seccional Antioquia, Medellín, septiembre 6-7 de 1979.

BUSTILLO, A. E. 1983. El concepto del control integrado. *In*: Curso internacional intensivo de manejo integrado de plagas en cultivos de algodón, caña de azúcar, yuca y soya. FAO - ICA, Palmira, Colombia noviembre 20 – 25 de 1983, p. 33 - 44.

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.; CÁRDENAS, R.; VILLALBA, D.; BENAVIDES, P.; OROZCO, J.; POSADA, F. J. 1998. Manejo integrado de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) en Colombia. FNC – Cenicafé. Editorial Feriva S. A. Cali, Colombia. 134 p.

CARDONA, C. 1999. Entomología económica y manejo de plagas. Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, Facultad Ciencias Agropecuarias. 99 p.

De BACH, P. 1964. El alcance del control biológico. In: Control biológico de las plagas de insectos y malas hierbas. Ed. P. de Bach, Trad. al español por C. H. Castaños, 1968. Compañía editorial Continental, México, 31 – 48 p.

DENT, D. 1991. Insect pest management. CAB International, Wallingford, UK, 604 p.

FALCON, L. A. 1973. Biological factor that affect the success of microbial insecticides: Development of integrated control. Ann. New York Academic. Sci., 217: 173 – 186.

FALCON, L. A.; SMITH, R. F. 1974. Manual de control integrado de plagas del algodonero. FAO – AGPP: Misc./8, marzo 1974, p. 7 – 11.

HARCOURT, D. G. 1969. The development and use of life tables in the study of natural insect populations. Ann. Rev. Entomol., 14: 175 – 196.

HILL, D. S. 1975. Agricultural insect pests of the tropics and their control. Cambridge University Press, London, 516 p.

HUFFAKER, C. B. 1971. Biological control. Proc. AAAS Symposium on Biological Control, Boston, Massachussets, dec. 30 – 31, 1969. Plenum press, New York, 511 p.

KAYA, H. K.; STOCK, S. P. 1997. Techniques of insect nematology. *In:* Chap. 6, Manual of techniques in insect pathology. Lawrence Lacey, ed. Biological Techniques Series. Academic Press, San Diego, 409 p.

KING, A. B. S.; SAUNDERS, J. L. 1984. Las plagas invertebradas de cultivos anuales alimenticios en América Central. ODA – CATIE- TDRI. Hobbs the printers of Southampton, 182 p.

MILNE, A. 1962. On a theory of natural control of insect population. J. Theor. Biol., 3: 19 – 50.

NAC. National Academy of Sciences. 1969. Insect pest management and control. Principles of plant and animal pest control, vol. 3. Publication 1695, Washington, D. C., 508 p.

NIVIA, E. 2001. Prohibición del endosulfan en Colombia. Breve historia. Informe Junio 2001. Rapalmira, RAP-AL, Palmira, Colombia. rapalmira@telesat.com.co . 12 p.

POSADA O., L. 1975. Dinámica de poblaciones. In: Curso control integrado de plagas. ICA, Regional 6, Ibagué, Colombia, p. 34 – 52.

POSADA, F. J.; SALAZAR, H. M.; ARISTIZÁBAL, L. F.; MEJÍA, C. G.; JIMÉNEZ, M. 2003. Taller de evaluación de *Beauveria bassiana* con caficultores experimentadores para el control de *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). Revista Colombiana de Entomología, 29 (1): 63-69.

RABB, R. L.; F. E. GUTHRIE. 1970. Concepts of pest management. Proceedings of a conference held at North Carolina State Univ. at Raleigh, march 25-27, 1970. 242p.

REYES, J. A. 1983. Yuca: Control integrado de plagas. PNUD – CIAT, Cali Colombia, 362 p.

RICCI, M.; GLAZER, I; CAMPBELL, J.F.; GAUGLER, R. 1996. Comparison of bioassays to measure virulence of different entomopathogenic nematodes. Biocontrol Science and Technology, 6: 235-245.

SALAZAR, H. M.; ARISTIZÁBAL, L. F.; MEJÍA, C. G. 2003. Investigación participativa con caficultores en relación con el manejo de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) en el beneficio. Revista Colombiana de Entomología, 29 (1): 57-62.

SAUNDERS, J. L.; COTO, D. T.; KING, A. B. S.; 1998. Plagas invertebradas de cultivos anuales alimenticios en América Central. 2ª edición, Turrialba, Costa Rica, CATIE- TDRI. Manual Técnico No. 29, 305 p.

STERN, V. M. 1973. Economic thresholds. Ann. Rev. Entomol., 18: 259 – 280.

TANADA, Y.; KAYA, H. 1993. Insect pathology. San Diego, Academic Press. 666 p.

VAN DRIECHE, R. G; BELLOS, T. S. 1996. Biological control. Chapman & Hall. USA. 539 p.

CAPÍTULO 6

El control natural de los insectos

Luis Miguel Constantino Chuaire

El control natural se da espontánemente en las poblaciones de organismos y mantiene la densidad poblacional en equilibrio dentro de ciertos límites definibles, superiores e inferiores, como consecuencia de la acción conjunta de todo el ecosistema, sin la intervención del hombre. El control natural incluye además de enemigos naturales (factores bióticos), la acción de los factores abióticos del medio ambiente (temperatura, humedad, heladas, sequías, granizo, lluvias, viento) que controlan, reducen o limitan la distribución geográfica y la explosión demográfica de las poblaciones naturales de muchos insectos. La magnitud de estos factores depende del tipo de bioma y del ecosistema en el que se encuentran los organismos, y de la forma en que interactúan, pero la transformación hecha por el hombre en los ecosistemas en muchas partes del mundo, está induciendo cambios de impacto global en las condiciones bióticas y abióticas del planeta, como el efecto invernadero, que es uno de los principales factores del calentamiento global y los fenómenos climáticos El Niño y La Niña, que en ciertas partes del mundo causan severas sequías o exceso de lluvias, los cuales inciden directamente en cambios de la dinámica poblacional de muchos insectos, incluso en áreas donde nunca antes habían existido (Samways, *et.al*., 1999; Conde *et.al*., 2006).

Es importante resaltar que los ordenamientos ecológicos de tipo espacial (horizontal y vertical), temporal (la presencia de ciclos), evolutivo (cambios genéticos) y tróficos (cadenas alimentarias), también se manifiestan en los agroecosistemas cualquiera que sea su nivel de complejidad (Romero, 2004).

Dentro de un ecosistema agrícola algunas especies de insectos compiten con el hombre, y se convierten en plagas o en transmisores de enfermedades al hombre o a sus animales. Cuando un organismo dentro de un agroecosistema, extrae más energía que la que el hombre considera adecuada, entonces se convierte en plaga y esto sucede cuando no se tienen o no existen los mecanismos de controles bióticos o abióticos. Los biomas en equilibrios dinámicos permanentes y estables no tienen plagas, a diferencia de los monocultivos que carecen de redes tróficas estables, por lo que son más susceptibles a cualquier fitófago. Los monocultivos son fácilmente alterables y allí las plagas logran alcanzar rápidamente altos niveles poblacionales, al tener la oferta de un nicho alimenticio disponible en grandes cantidades, complementado con factores de perturbación a causa del uso excesivo de plaguicidas, los cuales generan desequilibrios ecológicos al afectar a los enemigos naturales que la controlan. Los factores responsables del crecimiento o decrecimiento poblacional, pueden depender de su densidad poblacional o ser independientes de ella. Para ello es necesario hablar de los factores independientes o dependientes de la densidad poblacional, que regulan o controlan naturalmente las poblaciones de un organismo determinado, llámese o no plaga (Romero, 2004; Bianchi *et al*., 2006).

Factores independientes de la densidad poblacional

Los factores independientes de la densidad son aquellos que regulan las poblaciones de un organismo en proporciones independientes del tamaño de ésta. Entre éstos tenemos los factores climáticos y del tiempo (temperatura, humedad, luminosidad, pluviosidad, sequía, vientos) y demás factores abióticos de control natural, tales como los siniestros (incendios, inundaciones, etc.) que regulan las poblaciones. Los factores

mecánicos como las barreras geográficas (cordilleras, montañas, océanos y desiertos) que impiden el acceso a nuevas áreas y evitan la dispersión (Romero, 2004). La estructura y la textura del suelo impiden también que ciertos insectos se puedan reproducir o penetrar en el suelo para construir cámaras o galerías. Otros factores como el pH del suelo o del agua impiden que ciertas especies de insectos con estados larvales acuáticos o terrestres se puedan reproducir o vivir. Así mismo, la humedad escasa o excesiva, la temperatura y la luminosidad (fotoperíodo o calidad de luz), influyen en la duración del ciclo de vida de la mayoría de especies de insectos o en el caso de las especies umbrófilas (que habitan sitios sombreados), limitan su desplazamiento a sitios abiertos, donde se pueden deshidratar más fácilmente. Estos factores modifican las poblaciones independientemente de su tamaño (Hill, 1983; Dent, 1991).

1. Ciclos de clima y tiempo meteorológico

Durante períodos de varios años, de un año, un mes o un día, pueden darse fenómenos climáticos o meteorológicos que hacen que las poblaciones crezcan o se reduzcan.

Factores meteorológicos como la lluvia, heladas, sequías, vientos y granizadas, actúan como factores de mortalidad en artrópodos frágiles como los ácaros, los pulgones y los trips. En este sentido el ácaro rojo, *Tetranychus urticae*, y los trips del follaje, *Selenothrips* y *Heliothrips*, son regulados por las lluvias fuertes que los lavan del follaje, razón por la cual estas especies son abundantes en épocas de sequía y en veranos prolongados, pero cuando llegan las lluvias desaparecen o sus poblaciones se reducen notoriamente (Dent, 1991).

El viento y la lluvia afectan negativamente el vuelo y, en consecuencia, la actividad de adultos de insectos, así como la instalación y la supervivencia de las larvas. En particular, la lluvia, al mojar los órganos fructíferos, inhibe la oviposición de muchos insectos sobre éstos. La condensación de agua de rocío sobre el follaje, como consecuencia de la inversión de las curvas de temperatura y humedad, es especialmente importante, porque en determinadas ocasiones constituye la única fuente de agua líquida para los adultos y se conoce que cuando los adultos no disponen de agua para beber se reduce drásticamente el potencial reproductivo de ambos sexos (Romero, 2004).

La incidencia de los factores climáticos sobre las poblaciones de muchas larvas de lepidópteros y coleópteros en regiones con estaciones es bien marcada, en el verano y primavera calientes, los huevos y las pupas se deshidratan, lo que causa alta mortalidad. La temperatura es la variable meteorológica que más incide en el desarrollo de muchas especies, y está relacionada positivamente con la velocidad de desarrollo de los estadios preimaginales y negativamente con la longevidad de los adultos. Además, en las hembras, regula el desarrollo de los huevos y su oviposición. Las temperaturas elevadas sobre huevos y larvas pueden inducir a la dormancia en las pupas. Las altas temperaturas al incrementar la velocidad de desarrollo larvario tiene como efecto que los adultos resultantes sean más pequeños, lo que puede afectar negativamente su potencial reproductivo. Temperaturas por encima o debajo de los límites vitales, originan la muerte del insecto si la exposición es muy prolongada. La temperatura crepuscular regula la actividad de los adultos (Dent, 1991; Romero, 2004).

Las humedades relativas extremas pueden ser limitantes y causar la muerte en los estados de huevo y pupa, especialmente sensibles por su inmovilidad. Las larvas no parecen ser muy sensibles a la humedad, debido a su hábitat y etología. Sobre los adultos, determina fundamentalmente la actividad y longevidad, en particular si no disponen de agua en estado líquido. Ambas variables, temperatura y humedad relativa, varían normalmente de manera antagónica en condiciones naturales, y muestran un efecto sinérgico sobre las poblaciones naturales (Risch, 1987; Schotman y Lacayo 1989).

2. Migración

Es un cambio conductual que depende directamente de la estación (fotoperíodo) y el balance hormonal de la especie. El potencial de generaciones por años ya está programado genéticamente. Los períodos de quiescencia (hibernación y diapausa), el voltinismo (número de generaciones completadas en un año por una

especie) que a pesar de ser un carácter hereditario en muchos insectos, puede ser modificado ante factores externos naturales, como la temperatura, la latitud, la altitud. Cuando el ciclo biológico de una especie se cumple una sola vez en el año se denominan especies monovoltinas, si se da en dos épocas es bivoltina y si el número es mayor se consideran polivoltinas. Estos cinco factores están programados genéticamente en una especie, independientemente del tamaño de su población (Rabinobich, 1980; Romero, 2004).

Otro factor de naturaleza astronómica, el fotoperíodo, provoca la entrada en diapausa, y regula en conjunción con la temperatura, el voltinismo. El desajuste de ambos factores en un año dado, puede ser el origen de una mortalidad importante. Así mismo, la pérdida de agua de las pupas que entran durante la diapausa también puede jugar cierto papel en el potencial reproductivo del insecto. Como consecuencia del fotoperíodo, el crepúsculo determina el ciclo diario de actividad de los adultos. Además, una mayor duración de la fotofase puede incrementar la fecundidad de las hembras (Rabinobich, 1980).

Los factores que regulan la densidad y al mismo tiempo dependen de ella para manifestarse son de carácter coevolutivo como el parasitismo y la depredación, o son de carácter conductual como la competencia interespecífica (entre individuos de diferentes especies por recursos y espacio), o competencia intraespecífica (entre individuos de la misma especie en función del potencial de supervivencia, protección y nutrición) (Romero, 2004).

Factores dependientes de la densidad poblacional

1. Enemigos naturales

Las interacciones más importantes que se dan en los agroecosistemas son las de la plaga con sus enemigos naturales y con sus competidores (entomopatógenos, parasitoides, predadores), es decir, las interacciones que pueden mantener a las plagas bajo control. La interacción con sus enemigos naturales aumenta a medida que aumenta la población de la plaga hasta alcanzar un equilibrio natural, siempre y cuando ese frágil balance no sea perturbado por el hombre (Bianchi *et al.,* 2006).

En la medida en que los agroecosistemas se simplifican por monocultivos extensos, dependientes de grandes cantidades de insumos químicos, la diversidad de enemigos naturales disminuye. La composición del paisaje afecta la diversidad y la abundancia de los enemigos naturales debido a que diferentes tipos de hábitats pueden favorecer diferentes especies de enemigos naturales. Un agroecosistema diversificado puede sostener por lo tanto, mayor cantidad de especies (Bianchi *et al*., 2006).

2. Competencia interespecífica

Cuando la competencia entre individuos de dos especies simpátricas diferentes es muy alta, una puede ser expulsada o desplazada de su nicho por la otra que la sustituye. La competencia interespecífica más frecuente en agroecosistemas, se genera entre plagas de diferente especie, que al utilizar un mismo recurso y al ser éste limitado se perjudican mutuamente, pero entre más similares sean los requerimientos de las especies involucradas, la competencia será más intensa. Este caso se da con la introducción de una especie foránea que entra a competir por el mismo recurso, con una especie local como es el caso de la mosca del mediterráneo (*Ceratitis capitata*), y las especies locales de *Anastrepha* spp., en cultivos de mango y cítricos (Mayr, 1971; Hagen y Bishop, 1979).

3. Competencia intraespecífica

Ocurre cuando la competencia se da entre individuos de la misma especie por alimento, abrigo, cópula o por refugio, en el mismo hábitat; cabe resaltar que la competencia aumenta a medida que lo hace la densidad poblacional. Cuando alguno de estos factores se vuelve una limitante la competencia desaparece (Mayr, 1971).

4. Dispersión

La dispersión, entendida como la búsqueda de recursos a partir de un lugar donde empiezan a escasear por aumento de la densidad poblacional, es un fenómeno conductual que depende directamente de la estación (fotoperíodo), hora del día (temperatura) y balance hormonal, para que ocurra con mayor o menor probabilidad y sin que la densidad de las poblaciones modifique su efecto o aparición. Los insectos responden a los cambios ambientales de corto y largo plazo.

El cambio más frecuente en su ambiente es la abundancia relativa del alimento, los sitios de oviposición o de refugio que al cambiar hacen que éstos se desplacen en busca de nuevos sitios para colonizar o hacia hospedantes vecinos para alimentarse, empupar o copular (Romero, 2004).

Literatura citada

BIANCHI, F. J.; BOOIJ, C. J.; TSHANTKE, T. 2006. Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscapes composition biodiversity and natural pest control. Review Proc. Royal Society, 273: 1715-1727.

CONDE, C., VINOCUR, M., GAY, C., SEILER, R. Y F. ESTRADA. 2006. Climatic threat spaces as a tool to assess current and future climate risks: case studies in Mexico and Argentina. The AIACC Project Office. Working paper No. 30. 54 p.

DENT, D. 1991. Insect pest management. C.A.B. International, Oxon, U.K. 604 p.

HAGEN, K. S.; BISHOP, G. W. 1979. Use of supplemental foods and behavioral chemicals to increase the effectiveness of natural enemies. *In:* Biological control and Insect Pest Management. Bulletin No. 1911. Agricultural Experiment Station. University of California, p: 49-60.

HILL, D. 1983. Agricultural insect pests of the tropics and their control. 2nd edition, Cambridge University Press, p. 17-50.

MAYR, E. 1971. Populations, species and evolution. Harvard University Press, Harvard. 797 p.

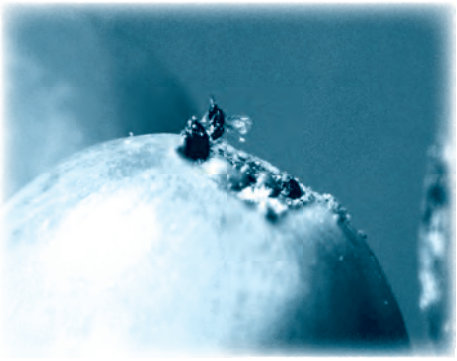
RABINOBICH, J. E. 1980. Introducción a la ecología de poblaciones animales. México, Compañía Editorial Continental, p. 223-239

RISCH, S. J. 1987. Agricultural ecology and insect outbreaks. *In*: P. Barbosa; J. C. Schultz, eds., Insect outbreaks. Academic Press, New York, p. 217-238.

ROMERO, F. 2004. Manejo integrado de plagas. Bases y conceptos. Universidad Autónoma de Chapingo, México, p. 51-70.

SCHOTMAN, C.; LACAYO, L. I. 1989. El Control natural. *In*: Manejo integrado de plagas insectiles en la Agricultura. Andrews, K. L.; Quezada, J. R., eds. El Zamorano, Honduras. p. 315-360.

SAMWAYS, M.J., OSBORN, R., HASTINGS, H. Y HATTINGH, V. 1999. Global climate change and accuracy of prediction of species' geographical ranges: establishment success of introduced ladybirds (Coccinellidae: *Chilocorus* spp.) worldwide. Journal of Biogeography, 26: 795-812.



CAPÍTULO 7

Los parasitoides en programas de control biológico

Pablo Benavides Machado

Definiciones

Insectos parasitoides son aquellos que viven la mayor parte de su ciclo de vida sobre o dentro de un organismo huésped, al cual mata durante el proceso (Romosser y Stoffolano, 1998). Estos insectos son una mezcla de parásitos y depredadores, y por tal razón se han denominado de esta manera.

La mayoría de los parasitoides depositan sus huevos sobre o dentro del insecto plaga huésped (CIBC, 1990). Las larvas emergen y se alimentan del huésped al cual se encuentran asociadas, y lo matan durante su desarrollo. Las pupas se forman sobre, dentro o cerca del huésped, y finalmente emergen los adultos, los cuales son generalmente de vida libre (Romosser y Stoffolano, 1998).

Existen diferentes clasificaciones de los parasitoides de acuerdo a sus hábitos de alimentación, su biología, su comportamiento reproductivo y su asociación con el huésped. De esta manera se definen como **endoparasitoides** aquellos que insertan sus huevos dentro del huésped, mientras que los **ectoparasitoides** ovipositan externamente y sus larvas se desarrollan por fuera del huésped. Se denominan **idiobiontes** a aquellos parasitoides de huevos y pupas, que matan sus huéspedes antes de que emerjan las larvas del parasitoide, y por lo tanto, éstas se desarrollan sobre huéspedes muertos o paralizados. De manera opuesta, los **koinobiontes** son endoparasitoides que ovipositan dentro de un huésped móvil y las larvas del parasitoide se benefician de mantener vivo el organismo para continuar con su alimentación y desarrollo (Van Driesche y Bellows, 1996). Llamamos a un parasitoide **solitario,** si un individuo puede desarrollarse únicamente sobre un estado del huésped, y **gregario** cuando varios parasitoides pueden desarrollarse sobre o dentro de un único huésped.

Otra clasificación tiene que ver con algunos problemas que se presentan en presencia de diferentes individuos o parasitoides en el mismo huésped. **Superparasitismo** se refiere al parasitismo repetido en un huésped por parte de parasitoides de la misma especie (CIBC, 1990). En este estado existe competencia entre los estados ovipositados; sin embargo, un solo estado puede desarrollarse completamente aunque en ocasiones es más pequeño y débil. **Multiparasitismo** es cuando el parasitismo repetido sobre un huésped es causado por varias especies de parasitoides (CIBC, 1990), en éste se impone el parasitoide que tenga mayores cualidades para sobrevivir sobre el estado del huésped. **Hiperparasitismo** se refiere a la parasitación de un parasitoide por otro parasitoide (CIBC, 1990).

En general, el uso de parasitoides en el control biológico de insectos plagas, se basa en la alta especificidad a su huésped. Sin embargo, este tema está siendo revisado actualmente dados los hallazgos sobre huéspedes alternos que han desarrollado estos parasitoides a través del tiempo (Viñuela *et al.,* 2006). En Colombia, con el propósito de determinar si los betílidos parasitoides de la broca del café contaban con huéspedes alternos, se disecó mesocarpo de frutos de *Macadamia* sp., infestados por *Hypothenemus obscurus* (F.) (Coleoptera: Curculionidae), de una muestra recolectada en un cultivo comercial en Caldas, y se encontraron adultos de *Prorops nasuta* y adultos e inmaduros de una especie no determinada del género *Cephalonomia*. Esta observación sugiere que *P. nasuta* cuenta con un huésped alterno en el campo, que favorecería el

establecimiento de la especie en zonas de cultivo de café y puede explicar su permanencia en fincas de alta tecnificación, donde se hace recolección periódica de frutos infestados con broca durante épocas diferentes a las cosechas (Cenicafé, 2006).

Órdenes y familias de parasitoides

La mayor cantidad de especies de parasitoides de plagas insectiles se encuentran en los órdenes Diptera e Hymenoptera. Existen algunos representantes en los órdenes Lepidoptera, Coleoptera y Strepsiptera, pero no existen casos en programas de control biológico que los haga considerar de importancia (Van Driesche y Bellows, 1996). Un listado de la fauna benéfica en ecosistemas cafeteros de Colombia se presenta en la Tabla 7.1.

Diptera

Existen ocho familias en este orden que actúan como parasitoides de insectos (Van Driesche y Bellows, 1996). Estas son: Nemestrinidae, Bombyliidae, Phoridae, Pipunculidae, Conopidae, Cryptochetidae, Sarcophagidae y Tachinidae. De estas familias solamente la última ha sido de importancia como enemigo natural de muchos insectos plagas. La mayoría de especies de la familia Tachinidae actúan como endoparasitoides solitarios y no se conocen registros de ser hiperparasitoides (Askew, 1971). Muchas especies han sido introducidas para el control de plagas exóticas. *Lydella thompsoni* Herting fue introducida a Estados Unidos para el control de *Ostrinia nubilalis* (Hübner) (Burbutis *et al*., 1981), y *Cyzenis albicans* (Fallén) fue introducida a Canadá para el control de la especie *Operophtera brumata* (L.) (Embree, 1971). En Colombia, el barrenador de la caña de azúcar, *Diatraea saccharalis* (F.), tiene como enemigos naturales varias especies de la familia Tachinidae, entre las que se encuentran *Lixophaga diatraea* Townsend de origen cubano, la especie nativa *Paratheresia claripalpis* Wulp., y *Metagonistylum minense* Townsend introducida de Brasil. Estas especies se han producido en los ingenios azucareros y son liberadas para el control de *D. saccharalis* (Gómez y Lastra, 1995).

Hymenoptera

Este orden está dividido en dos subordenes, Symphyta y Apocrita. Symphyta, excepto por Orussidae, comprende familias fitófagas, y por lo tanto, no se consideran en este capítulo. El suborden Apocrita está dividido en Parasitica y Aculeata, en este último sólo las familias Bethylidae y Dryinidae son de importancia como parasitoides. En la división Parasitica existen al menos 36 familias que tienen especies parasitoides de importancia en el control de artrópodos (Van Driesche y Bellows, 1996). En esta División dos familias, Encyrtidae y Aphelinidae, han mostrado un control completo o satisfactorio de insectos plagas. A ellas se les atribuye la mitad de los casos exitosos de control biológico de plagas de manera global. Los géneros más importantes en la familia Encyrtidae son *Comperia*, *Hunterellus*, *Ooencyrtus* y *Phenacoccus* (Van Driesche y Bellows, 1996). Los géneros más importantes dentro de la familia Aphelinidae son *Aphelinus*, *Aphytis* y *Encarsia* (Van Driesche y Bellows, 1996). Otras familias importantes de este orden que actúan como parasitoides, incluyen los géneros Evaniidae que controlan cucarachas, Chalcididae en el control de pupas de Lepidoptera y Diptera, Eulophidae se registra atacando especies de Coleoptera, Lepidoptera, Diptera e Hymenoptera.

La familia Trichogrammatidae contiene un gran número de especies del género *Trichogramma* que atacan huevos de Lepidoptera; la familia Mymaridae se ha encontrado parasitando huevos de especies de los órdenes Hemiptera, Psocoptera, Coleoptera, Diptera y Orthoptera (Van Driesche y Bellows, 1996). Especies de la familia Ichneumonidae han sido reportadas como ectoparasitoides de larvas y pupas de varios órdenes de insectos y endoparasitoides de larvas y pupas de Lepidoptera. Dentro de la familia Braconidae existen 26 subfamilias de interés en control biológico, las más importantes son: Aphinidiinae como endoparasitoides de áfidos; Meteorinae, Blacinae y Microgasterinae como endoparasitoides de larvas de Lepidoptera y Coleoptera; Euphorinae como endoparasitoides de adultos de Coleoptera o ninfas de Hemiptera; Cheloninae como endoparasitoides de Lepidoptera y Braconinae como ectoparasitoide de larvas de Lepidoptera (Van Driesche y Bellows, 1996).

Insectos parasitoides de la familia Scelionidae se han estudiado poco desde el punto de vista taxonómico (Van Driesche y Bellows, 1996); sin embargo, la especie *Telenomus alsophilae* Viereck se obtuvo a partir de huevos de *Alsophila pometaria* (Harris) (Lep: Geometridae) en el estado de Virginia (USA), y se introdujo y crió masivamente en Colombia para el control del defoliador de pinos y cipreses, *Oxydia trychiata* (Guenée) (Lep: Geometridae), la cual se encuentra actualmente bajo control (Bustillo y Drooz 1977; Drooz *et al*., 1977). Este parasitoide se ha recuperado a partir de plantaciones de pino, y a éste se le atribuye parte del control de otras plagas como *Oxydia olivata* (Dognin), *Cargolia arana* (Dognin) y *Bassania amethystata* Walker (Lep: Geometridae).

Parasitoides de la familia Pteromalidae ocupan un lugar importante por ser controladores naturales de moscas de la familia Muscidae, como la mosca casera *Musca domestica* (L.), la cual es transmisora de enfermedades, y la mosca de los establos *Stomoxis calcitrans* (L.) (Jiménez, 2001). Existen dos parasitoides de la familia Pteromalidae controladores de pupas de moscas, *Spalangia* sp. y *Muscidifurax raptor* (Jiménez, 2001; Aldana, 1999). Estos parasitoides viven en zonas de basuras y estiércol, donde una hembra copulada de *Spalangia cameroni* vive 14 días y en promedio oviposita 75 huevos, con porcentajes de parasitismo hasta del 88% (Jiménez, 2001). En estudios recientes se ha observado la superioridad de *Spalangia endius* sobre *Muscidifurax* sp. en el control de pupas de *M. domestica* (Inciso y Castro, 2007). Este control se viene utilizando actualmente y con gran éxito en Colombia, donde se producen parasitoides para su comercialización nacional y para otros países latinoamericanos, por parte de laboratorios productores de biológicos (Jiménez 2001). En efecto, Proactiva, una empresa encargada del manejo del basurero Doña Juana de Bogotá, está utilizando *Spalangia cameroni* Perkins como control biológico de moscas comúnes, para lo cual se están liberando 70 millones de avispitas que controlan el 95% de los insectos que son atraídos por las 31 millones de toneladas de desechos que han sido depositados a lo largo del funcionamiento del basurero[1].

Parasitoides en el control de la broca del café

Después de la llegada de la broca a Colombia, Cenicafé desarrolló un programa de manejo integrado enfocado en estrategias de control biológico (Bustillo *et al.,* 1998). La introducción de parasitoides de origen Africano fue el componente de manejo que mayor atención capturó, ya que el hábito críptico de la broca sólo podía ser vulnerado con el uso de parasitoides en su mismo hábitat. Acto seguido, se introdujeron los betílidos ectoparasitoides *Cephalonomia stephanoderis* Betrem y *Prorops nasuta* Waterston (Hymenoptera: Bethylidae), entre los años 1989 y 1990 (Bustillo *et al.,* 1998). Posteriormente se introdujo el endoparasitoide *Phymastichus coffea* La Salle (Hymenoptera: Eulophidae), en el año de 1995 (Baker, 1999) (Figura 7.1).

Prorops nasuta fue el primer parasitoide usado como controlador biológico en América (Hempel, 1934). Fue introducido a Brasil desde Uganda, en el año de 1929, y se liberó un año más tarde; sin embargo, no existen reportes de posteriores liberaciones, además estos esfuerzos fueron suspendidos con la intensificación del control químico en los años posteriores. *C. stephanoderis* fue descubierto por Ticheler en Costa de Marfil en el año de 1960 (Ticheler, 1963); pero este parasitoide no fue usado como enemigo natural hasta el año de 1988 cuando fue introducido a México y Ecuador (Moore y Prior, 1988). Esta especie fue introducida a Colombia en los años 1989 y 1990, a partir de una colonia mantenida en el Ecuador, así como de parasitoides traídos directamente desde África, después de someterlos en cuarentena en Inglaterra (Bustillo *et al*., 1998).

Los ciclos de vida de ambos ectoparasitoides son similares y han sido descritos por varios autores. Las hembras de las avispas localizan los adultos de la broca dentro de las cerezas, posteriormente ocurre un enfrentamiento entre ambos adultos, en el cual siempre es exitoso el parasitoide, que succiona la hemolinfa de su presa. Posteriormente, la hembra del parasitoide depreda tanto huevos como larvas de primer ínstar de la broca, para ovipositar sobre las prepupas y las pupas. Las larvas del parasitoide emergen sobre los estados de la broca parasitados y se alimentan de su huésped, finalmente construyen sus capullos dentro de la almendra de donde emergerán los adultos. Inicialmente, los intentos de cría masiva de estos parasitoides

[1] Http://www.plazacapital.org

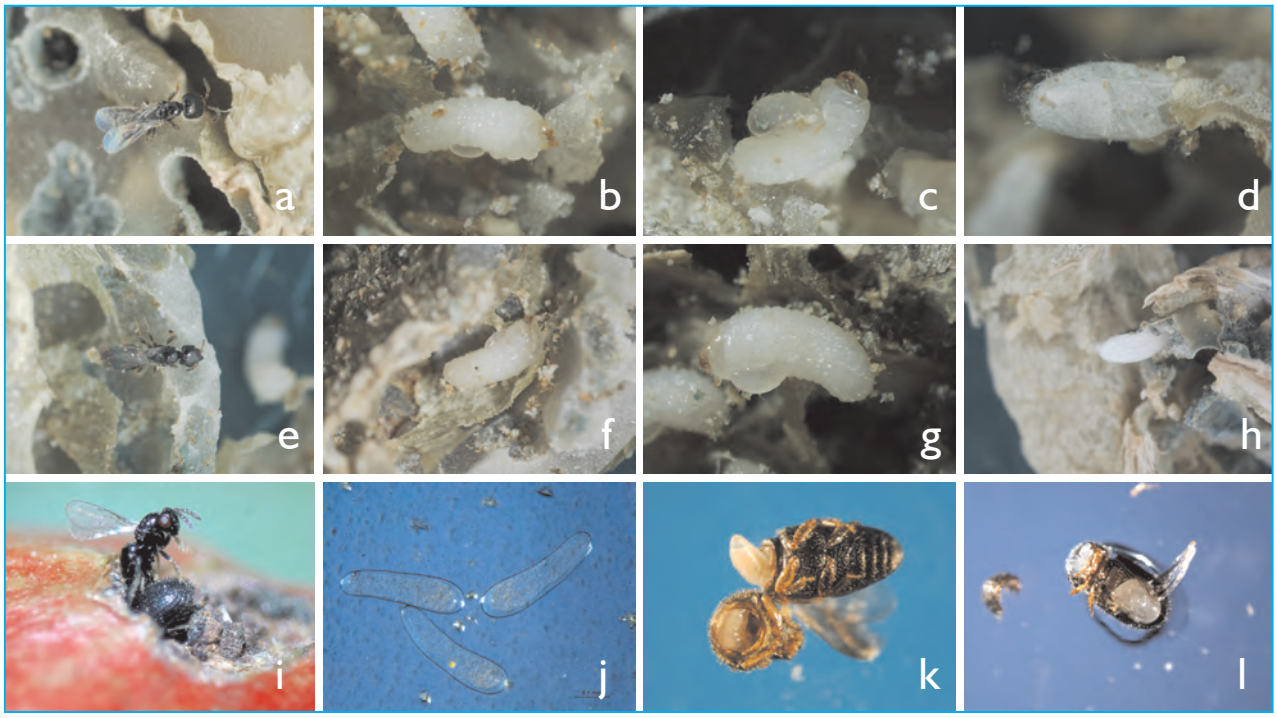


Figura 7.1. Parasitoides introducidos a Colombia para el control de la broca del café. **a.** Adulto de *Cephalonomia stephanoderis*; **b y c.** huevo y larva de *C. stephanoderis* sobre una larva de broca; **d.** pupa de *C. stephanoderis* dentro de una almendra de café; **e.** adulto de *Prorops nasuta*; **f y g.** huevo y larva de *P. nasuta* sobre una larva de broca; **h.** pupa de *P. nasuta* en un grano de café infestado; **i.** adulto de *Phymastichus coffea* parasitando un adulto de broca que está perforando un fruto de café; **j.** huevos de *P. coffea* extraídos de un adulto de broca; **k.** larvas de *P. coffea* en la cabeza y el pronoto (macho) y el abdomen (hembra) de la broca; **l.** prepupas de *P. coffea* dentro de la broca (Fotos J. C. Ortiz, L.M. Constantino).

se realizaron sobre cerezas infestadas, pero los resultados no fueron satisfactorios. Posteriores intentos permitieron desarrollar una metodología de cría sobre café pergamino seco, con el 45% de humedad (Benavides y Portilla, 1990), y actualmente continúa realizándose de esta manera.

Los estudios en el campo se realizaron a partir de 1991 (Benavides *et al.,* 1994) con *C. stephanoderis*, que fue el primer parasitoide criado exitosamente de manera masiva en el laboratorio; éste fue liberado en ocho parcelas experimentales localizadas en diferentes altitudes (entre 1.240 y 1.630 m), en tres liberaciones durante seis meses, en proporciones de 1:1, 1:2 y 1:3 avispitas por cereza infestada. El parasitismo más alto observado durante los siguientes tres años fue del 60% en la altitud más baja, y se pudo determinar que el parasitoide se estableció en el campo y podía ser usado como controlador natural de la broca del café en Colombia. Las poblaciones de la broca decrecieron como efecto de las liberaciones en el campo.

Durante el mismo año en que se introdujo *C. stephanoderis*, se estableció una cría de *P. nasuta* en el departamento de Nariño, con individuos traídos desde Ecuador, los cuales eran originarios de Kenia (Benavides *et al*., 2002; Klein *et al.,* 1988). En 1996 las crías de parasitoides mantenidas en Nariño se trasladaron a los laboratorios de Cenicafé en Chinchiná - Caldas, y se realizó una nueva introducción de *P. nasuta* directamente desde Brasil, donde la especie llevaba alrededor de 60 años de adaptación, desde su introducción en el año de 1929. Las primeras liberaciones de estos parasitoides en el campo se realizaron en Nariño, con bajas cantidades (Bustillo *et al.,* 1996), pero cinco años después de estas liberaciones se demostró su establecimiento en el campo, con una mayor presencia en los lotes muestreados, mayores niveles de parasitismo y mejor adaptación a intervalos altitudinales en *P. nasuta* que *C. stephanoderis* (Quintero *et al*., 1998). Posteriormente, entre los años de 1994 y 2000, se liberaron alrededor de 1.800 millones de individuos de *C. stephanoderis*, y entre 1997 y 2000 cerca de 500 millones de *P. nasuta*, en 17 departamentos cafeteros de Colombia (ICA, 1999).

Tanto en Colombia como en otros países Centroamericanos y en África, se han reportado valores variables de éxito de estos parasitoides (Aristizábal *et al*., 1998; Barrera, 1992; Benavides *et al.,* 1994; Castillo *et al.,* 2006; Infante, 1998; Infante *et al.,* 1994, 2001; Quintero *et al.* 1998; Salazar *et al.* 2007; Vega *et al.,* 1999); sin embargo, en un estudio reciente realizado con el propósito de determinar el establecimiento de estos parasitoides en la zona cafetera colombiana después de 15 años del inicio de sus liberaciones en el campo (Cenicafé, 2006), se recolectaron muestras de café infestado por broca en 80 fincas de 17 municipios de los departamentos de Nariño, Quindío, Risaralda y Norte de Santander. A pesar de la gran diferencia en el número de individuos liberados de ambas especies, en las muestras evaluadas no se encontró *C. stephanoderis,* mientras que *P. nasuta* se reportó en todos los departamentos muestreados y en el 65% de las fincas evaluadas, con un intervalo altitudinal entre los 1.150 y los 1.840 m. Se destacan los resultados observados en Nariño, donde *P. nasuta* se encontró en la totalidad de las fincas evaluadas con niveles de parasitismo hasta del 50%; y en el municipio de Palestina del departamento de Caldas, donde a pesar de la alta tecnificación y uso de productos químicos, este parasitoide se encontró en seis de las ocho fincas evaluadas, con parasitismos de hasta del 10%. Los resultados obtenidos demostraron el establecimiento de *P. nasuta* en la zona cafetera colombiana, y su contribución en el control natural de poblaciones de broca en el campo.

Phymastichus coffea es un endoparasitoide de adultos de la broca. Fue descubierto en el año de 1987 en Togo, por Borbón (1989). La hembra adulta de este parasitoide paraliza la hembra de la broca en el momento que ésta se encuentra colonizando la cereza de café, después inserta dos huevos en el abdomen, introduciendo su ovipositor entre los élitros. Al emerger las larvas al interior de la broca, una de éstas se dirige hacia la cabeza (macho) y la otra se alimenta en el abdomen (hembra). Ambas larvas empupan dentro del huésped y posteriormente los adultos emergen por la parte posterior del abdomen donde comienzan un nuevo ciclo de vida. Este parasitoide fue inicialmente introducido en el año de 1995, después de someterla a cuarentena en Inglaterra (Baker, 1999). Fue criado en el laboratorio y liberado a partir del año de 1997, posteriormente se registró su establecimiento en el campo con niveles de parasitismo entre el 75% y 85%, a los 90 y 150 días de edad de los frutos (Jaramillo *et. al.,* 2005). Sin embargo, no se encontraron individuos de este parasitoide en el campo, ocho años después de su liberación (Cenicafé, 2006).

En los últimos años ha surgido una controversia muy interesante con respecto a la selección del mejor parasitoide. Algunos autores han considerado que *C. stephanoderis* es el parasitoide más eficiente para el control biológico de la broca del café (Lachaud *et al.,* 2002; Batchelor *et al.,* 2006; Vega *et al.,* 1999), con registros de mortalidades de la broca en el campo entre el 35 al 45% en Togo (Borbón 1991) y capacidad de establecimiento en África y países latinoamericanos como Brasil, México, Ecuador, Honduras y Colombia (Benavides *et al*., 1994; Bustillo *et al.,* 1996; Salazar y Baker 2002). Sin embargo, cinco años después de las primeras liberaciones de parasitoides en Colombia, en el departamento de Nariño, se registró el establecimiento de *C. stephanoderis* en el 27% de los predios donde se había liberado y en el 10% de los predios vecinos, mientras que *P. nasuta* se encontró en el 73% de los sitios muestreados y en el 53% de los lotes vecinos a los sitios de liberación. Estos resultados iniciales mostraron ventajas adaptativas de *P. nasuta* sobre *C. stephanoderis* (Quintero *et al*., 1998). Los resultados obtenidos posteriormente corroboraron la superioridad de *P. nasuta* en la capacidad de establecimiento en Colombia, el cual se encontró en el 65% de los sitios de muestreo y sin encontrar a *C. stephanoderis* (Cenicafé, 2006). El caso contrario ocurrió en México donde *C. stephanoderis* se estableció en el campo mientras que la permanencia de *P. nasuta* en las mismas condiciones no fue superior a 15 días (Infante *et al*. 2001, 2003; Batchelor *et al.,* 2006).

En general, *C. stephanoderis* se crió masivamente de manera exitosa, fue liberado ocasionando importantes niveles de parasitismo, y su establecimiento fue evaluado y reportado incluso cinco años después de las primeras liberaciones (Bustillo *et. al*., 1996); sin embargo, los niveles de control decrecieron, y al final no se han vuelto a recuperar individuos de esta especie a partir de brocas de campo (Cenicafé, 2006). Es importante considerar que este parasitoide es el más fácil de criar masivamente y que su capacidad depredadora es considerable. *P. nasuta* ha demostrado ser más rústica y tener un comportamiento más agresivo en el campo, abandonando los frutos parasitados para colonizar nuevas cerezas infestadas por broca, pero su multiplicación en confinamiento es más costosa y delicada puesto que es más exigente en requerimientos de cría. Este parasitoide ha sido recuperado en el campo después de 15 años de realizar

las primeras liberaciones, y los porcentajes de parasitismo alcanzan niveles hasta del 50% en condiciones naturales. *P. nasuta* ha sido el único parasitoide adaptado a las condiciones agroecológicas de la caficultura en Colombia.

P. coffea aparece como un buen prospecto dentro de un programa de control biológico por su agresividad cuando está en contacto con el huésped (Jaramillo *et. al.,* 2002) y por los altos niveles de parasitismo reportados en el campo (Jaramillo *et al*., 2005). Sin embargo, la evidencia de superparasitismo (Jaramillo *et. al*., 2006) no puede considerarse como una fortaleza de este parasitoide. El establecimiento de este insecto podría ser beneficiado por la cantidad de huéspedes alternos que este insecto posee (Castillo *et al.,* 2004). *P. coffea* parasitó y completó su ciclo de vida, además de *Hypothenemus hampei*, en *H. crudiae* y *H. eruditus.* Los porcentajes de parasitismo fueron de 64%, 14% y 6%, respectivamente, para cada especie de *Hypothenemus.*

En conclusión, *P. nasuta* debe ser seleccionado como un parasitoide para ser liberado de manera inoculativa en un programa de control biológico clásico, y *P. coffea* podría ser liberado en aquellos momentos donde la cantidad de broca que está emergiendo de frutos infestados del suelo se encuentra atacando las cerezas del árbol. Sin embargo, ambos parasitoides requieren ser criados de manera masiva, a un costo aceptable por los caficultores, para ser involucrados dentro de un programa de manejo integrado de esta plaga, y las estrategias para lograrlo deberán contemplar la producción de brocas huéspedes en dietas artificiales y la posterior multiplicación de sus parasitoides sobre éstas, o la optimización de los procesos actuales de producción de parasitoides sobre café pergamino seco (Benavides y Portilla, 1990).

Cría de parasitoides sobre brocas en dietas artificiales

Se desarrolló una dieta para la producción de todos los estados biológicos de la broca, denominada Cenibroca (Portilla, 1999). La dieta Cenibroca, por su viscosidad, inicialmente no resultó práctica para adaptarse a un sistema automatizado, por lo tanto se buscaron otras alternativas con el objetivo de lograr la producción masiva de la broca del café (Portilla y Streett, 2006). Las técnicas para la cría de la broca y de sus parasitoides, desarrolladas en los laboratorios de Cría Masiva de Insectos de la USDA, ARS, Mississippi, permitieron producciones de estos insectos en gran escala, mediante el uso de equipos industriales elaborados para el procesamiento de dietas artificiales (Portilla y Street, 2006). Esta dieta estuvo compuesta por café, agar, caseína, levadura, inhibidores, vitaminas y preservativos; además, se desarrolló un nuevo diseño de celdas y dispensadores de dieta durante el proceso de automatización y se logró establecer una colonia de broca por 70 generaciones continuas sin afectar su actividad, fecundidad, peso y tamaño. En total se pueden producir 900 mil brocas, utilizando 20 litros de dieta (Portilla y Street, 2006).

En general, los estudios de cría de parasitoides sobre brocas producidas en dieta artificial, se han concentrado en *C. stephanoderis* y *P. coffea*. A pesar de que se han realizado estudios con *P. nasuta*, éstos deben considerarse como preliminares.

La dieta Cenibroca se preparó inicialmente en bandejas plásticas con 750 cc de dieta. Éstas permitieron producir alrededor de medio millón de brocas a los 30 días, con una supervivencia de la broca del 83% y una infestación del 63% (Cenicafé, 1997). Las brocas se cosecharon entre los 20 y los 30 días después de infestar las dietas, dado que en este tiempo se encontró el mayor número de estados de la broca preferidos por *C. stephanoderis*. Para la obtención de los estados de broca para reproducir el parasitoide, se utilizó una zaranda y se distribuyeron en un recipiente plástico, donde se liberó un parasitoide por cada 20 estados de broca. Con esta metodología se logró una supervivencia del 85% de los parasitoides, los cuales causaron niveles de parasitismo del 85%, depredación del 58% de los estados adultos e inmaduros de la broca y una parasitación de 16 estados biológicos de broca por cada avispita. En el campo estas avispitas se comportaron igual que aquellas criadas sobre café pergamino seco (Benavides y Portilla, 1990).

Cría de *Cephalonomia stephanoderis* y *Prorops nasuta*

Se realizaron experimentos sobre la biología y los parámetros demográficos tanto de *P. nasuta* como de *C. stephanoderis* criada sobre broca producida en dietas artificiales[2]. Se observaron diferencias en el comportamiento de oviposición de estos dos parasitoides, donde *C. stephanoderis* ovipositó en la parte dorsal media y ventral anterior del abdomen de las prepupas y larvas de segundo ínstar, y en la parte dorsal cerca al élitro en las pupas. Este parasitoide seleccionó su huésped y parasitó únicamente aquellos que le garantizaron la supervivencia de su progenie; además, distinguieron muy bien los estados parasitados. *P. nasuta*, por el contrario, ovipositó en cualquier parte del cuerpo de su huésped, sobre los mismos estados utilizados por *C. stephanoderis* y sin realizar ninguna selección; igualmente no sujetó los huevos a su huésped, contrario al comportamiento de *C. stephanoderis*.

Los hallazgos con respecto a la biología de *P. nasuta* sugieren que este parasitoide posee un comportamiento más rústico y le da mayores posibilidades de establecerse en el campo (Cenicafé, 2006); sin embargo, no permite deducir si su cría en confinamiento podría ser mejorada. Las observaciones preliminares mostraron que *C. stephanoderis* prefiere prepupas, seguida de pupas y únicamente una pequeña población de larvas de segundo ínstar, mientras que *P. nasuta* mostró preferencia por prepupas seguida de larvas de segundo ínstar y un porcentaje muy bajo de pupas[1]. Dado que los estados de broca preferidos por *P. nasuta* tienen una duración menor que las pupas, explica en alguna forma la menor capacidad de *P. nasuta* de ser producida en confinamiento, comparada con el éxito de producir *C. stephanoderis*. Se debe asumir entonces que la producción de *P. nasuta* sobre broca de dieta artificial podría incrementar el costo final de cada parasitoide obtenido, excepto que se considere en detalle este comportamiento para optimizar el proceso de cría.

Cría de *Phymastichus coffea*

Las cantidades de broca producidas en dieta artificial han permitido desarrollar técnicas de producción masiva del parasitoide *P. coffea* (Cenicafé, 2004). Para esto fue necesario desarrollar una nueva dieta llamada MP. Para el proceso de parasitación se utilizaron 25 g de dieta MP, 10.000 hembras activas de broca, provenientes de la dieta Cenibroca, 1.000 hembras y 200 machos del parasitoide por recipiente. En la cosecha se obtuvieron momias de brocas parasitadas, mediante el uso de cernidores y agitadores mecánicos. Se pueden recolectar un millón de hembras de broca parasitadas en aproximadamente 45 minutos.

Costo de la broca producida en dieta artificial

La cría de *C. stephanoderis* sobre brocas criadas en dietas artificiales fue evaluada en el año de 1996 (Cenicafé, 1997). Se realizó un análisis económico preliminar y se encontró que con un litro de la dieta se podían producir alrededor de 58.000 estados de broca, de los cuales el 58% fueron aptos para ser parasitados por la avispita (aproximadamente 33.000 larvas de segundo ínstar, prepupas y pupas). Estos estados de la broca se parasitaron con 1.700 avispitas y se obtuvieron 26.000 individuos (machos y hembras). Con un costo aproximado de US$ 2,00 por litro de dieta, se podría estimar que el costo de cada avispita fue de 16 centavos de peso, moneda Colombiana. Este costo no incluyó el valor de la infraestructura, materiales y mano de obra.

El costo para producir *P. coffea* sobre brocas criadas en dieta artificial fue estimado por Adrian Leach, en el año 2001[3]. En este estudio se realizaron varios supuestos, por lo tanto los resultados deben analizarse cuidadosamente. Se concluye finalmente que el costo de producir un parasitoide, sobre la base de una

[2] PORTILLA, M. 2001. Informe anual de labores octubre de 2001 – septiembre 2002. Disciplina de Entomología. Cenicafé. Documento interno. Cenicafé, Chinchiná, Colombia.

[3] LEACH A. 2001. A cost model for mass rearing of *Phymastichus coffea* for area-wide control of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei*, in Central and South America – processes and user's guide. Documento interno Disciplina Entomología.

Tabla 7.1. Posibles insectos plaga en el cultivo del café y parasitoides enemigos naturales en Colombia (Cárdenas y Posada, 2001).

INSECTO PLAGA	PARASITOIDE
Áfidos, *Myzus persicae* Sulzer y *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae)	*Lysiphlebus testaceipes* (Cresson) (Hym: Braconidae)
Mosca blanca lanuda, *Aleurothrixus floccosus* (Maskell) (Hem: Aleyrodidae)	*Coccidencyrtus* sp. (Hym: Encyrtidae)
Gusanos medidores, *Oxydia* spp. (Lep: Geometridae).	*Apanteles* sp. (Hym: Braconidae) y *Casinaria* sp. (Hym: Ichneumonidae)
Gusano cuatro ventanas o rayado de los cítricos, *Rothschildia* pos. *orizaba* Westwood (Lep: Saturniidae)	*Anastatus* sp. (Hym: Eulophidae), *Trichogramma* sp. (Hym: Scelionidae), *Belsovia* sp. (Dip: Tachinidae), *Conura mendozaensis* Cameron (Hym: Chalcididae)
Gusano monturita, *Sibine fusca* Stoll, *S. apicalis* Dyar, *Sibine* spp. (Lep: Limacodidae)	*Apanteles* sp. (Hym: Braconidae), *Casinaria* sp., *Theronia* sp., *Barycerus dubiosus* (Say) (Hym: Ichneumonidae), *Cerastomicra* sp., *Spilochalcis* sp. (Hym: Chalcididae)
Gusano pollo, *Megalopyge lanata* Stoll (Lep: Megalopygidae)	*Carcelaria* sp. (Dip: Tachinidae)
Falsos medidores, *Trichoplusia ni* (Hubner) y *Pseudoplusia includens* (Walker) (Lep: Noctuidae-Plusiinae)	*Copidosoma truncatellum* (Dalman) (Hym: Encyrtidae)
Minador de las hojas del cafeto, *Leucoptera coffeellum* (Guérin-Méneville) (Lep: Lyonetiidae)	*Closterocerus coffeellae* Ihring, *Horismenus cupreus* Ashmead, *Pnigalio sarasolai*, *Zagrammosoma* sp., *Elachertus* sp., *Aprostocetus* sp., *Z. sebralineatum* De Santis (Hym: Eulophidae)
Moscas de las frutas, *Anastrepha fraterculus* (Wiedmann), *Ceratitis capitata* (Wiedmann) (Dip: Tephritidae)	*Odontosema* sp. (Hym: Cynipidae), *Doryctobracon crawfordi* (Viereck), *Opius anastraphae* Viereck, *Microcrasis* sp., (Hym: Braconidae)

cría continuada por 10 años, fue de 42 centavos de peso. En este costo se encuentran considerados la infraestructura, mano de obra, materiales y transporte de los parasitoides desde la biofábrica hasta la finca.

No se han realizado estudios tendientes a producir el parasitoide *P. nasuta* sobre brocas criadas en dieta artificial. Este es el parasitoide más exitosamente establecido en Colombia. Se podría tomar como base el costo de producción de *C. stephanoderis*, sin embargo, por su preferencia a ovipositar en prepupas y larvas de segundo ínstar, su costo podría incrementar la cosecha de los estados huésped óptimos para su cría.

Consideraciones finales

Los resultados de campo obtenidos a partir de las últimas investigaciones llevadas a cabo en Cenicafé, indican que de todos los parasitoides usados para el control de la broca, *P. nasuta* posee el mayor potencial de control. Este enemigo de la broca ha sobrevivido por más de siete años después de las últimas liberaciones en los cafetales y se encuentra presente en todas las regiones donde se ha muestreado. Ha logrado dispersarse a otras áreas con parasitismos hasta de 50% en regiones sin aplicaciones generalizadas de insecticidas químicos y 10% en fincas empresariales. Además, ha sido el único parasitoide que se ha adaptado a la caficultura colombiana, por lo tanto, cualquier iniciativa futura para producir parasitoides debe estar enfocada inicialmente a esta especie.

Se han realizado avances significativos en cuanto a la cría de broca en dietas artificiales, con el desarrollo de la dieta Cenibroca, en la cual se han mantenido colonias de broca por más de 70 generaciones, sin detrimento de sus parámetros demográficos y sin necesidad de renovar el pie de cría con material proveniente del campo. La broca producida en esta dieta puede ser manipulada para usarla en la producción masiva de parasitoides, de acuerdo a las exigencias de cada uno de ellos. Se han criado los parasitoides *C. stephanoderis* y *P. coffea* sobre brocas producidas en la dieta artificial Cenibroca, y los costos se han estimado entre 20 y 40 centavos de peso moneda colombiana por individuo; sin embargo, no se han considerado los materiales, los equipos y la mano de obra, por lo que estos valores deben recalcularse cuidadosamente. *P. nasuta* se ha criado en estas mismas condiciones, pero los resultados son preliminares y los costos no han sido estimados. Es importante considerar que estos análisis están basados en procesos pequeños no comerciales, y que las exigencias de huéspedes adecuados (larvas y prepupas de broca) de *P. nasuta* quizás aumenten los costos de producción.

Actualmente existen avances y antecedentes suficientes para continuar investigaciones con el objetivo de establecer una metodología de producción de *P. nasuta* sobre brocas criadas en la dieta Cenibroca, determinar la posibilidad de escalar esta producción a nivel comercial y calcular los costos. Es importante considerar que la cría de insectos en dietas artificiales requieren de una asepsia extrema, que se traduce en instalaciones bien elaboradas, que incrementan los costos en relación con el sistema tradicional usado actualmente.

Es aconsejable continuar con los estudios tendientes a producir masivamente *P. coffea* sobre dietas artificiales, este parasitoide podría ser producido y liberado de manera masiva durante los meses de mayor vuelo de la broca en el campo.

Literatura citada

ALDANA DE LA T., J. A. 1999. Cría de *Spalangia* sp. (Hymenoptera: Pteromalidae) parasitoide de pupas de *Stomoxys calcitrans* (Diptera: Muscidae). Bogotá, Colombia, Cenipalma, p. 1-3.

ARISTIZÁBAL, L. F.; BUSTILLO, A. E.; BAKER, P. S.; OROZCO, J.; CHAVES, B. 1998. Efecto depredador del parasitoide *Cephalonomia stephanoderis* sobre los estados inmaduros de *Hypothenemus hampei* en condiciones de campo. Revista Colombiana de Entomología (Colombia) 24 (1-2): 35-41. 1998.

ASKEW, R. R. 1971. Parasitic insects. American Elsevier Pub. Co., New York, 316 p.

BARRERA, J. F. 1992. Dynamique des populations du scolyte des fruits du cafeier *Hypothenemus hampei*(Coleoptera: Scolytidae) et lutte biologique avec le parasitoide *Cephalonomia stephanoderis* au Chiapas Mexique. Tolouse (Francia); Universite Paul Sabatier, 1992. 301 p.

BAKER, P. S. 1999. The coffee berry borer in Colombia; final report of the DFID – Cenicafé – CABI Bioscience IPM for coffee proyect (CNTR 93/1536A). Chinchiná (Colombia), DFID – Cenicafé, 154 p.

BATCHELOR, T. P.; HARDY, I. C. W.; BARRERA, J. F. 2006. Interactions among bethylid parasitoid species attacking the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). Biological Control, 36: 106 - 118.

BENAVIDES G., M.; PORTILLA, M. 1990. Uso del café pergamino para la cría de la broca del café, *Hypothenemus hampei* y de su parasitoide *Cephalonomia stephanoderis* Betrem en Colombia. Revista Cenicafé (Colombia), 41 (4):114 - 116.

BENAVIDES, P.; BUSTILLO, A. E.; MONTOYA, E. C. 1994. Avances sobre el uso del parasitoide *Cephalonomia stephanoderis* (Hym.: Bethylidae) para el control de broca del café, *Hypothenemus hampei*. Revista Colombiana de Entomología, 20 (4): 247 - 253.

BENAVIDES, P.; BUSTILLO, A. E.; PORTILLA, M.; OROZCO, J. 2002. Classical biological control of coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) in Colombia with african parasitoids. *In:* International Symposium on Biological Control of Arthropods, 1. Honolulu, Hawaii, January 14-18, 2002. Washington, USDA. p. 430 - 434.

BORBÓN M., O. 1989. Bioecologie d'un ravageur des baies de cafeier, *Hypothenemus hampei* Ferr. (Coleoptera; Scolytidae) et de ses parasitoides au Togo. Toulouse (Francia), Université Paul Sabatier de Toulouse, 185 p.

BORBÓN, O. 1991. La broca del fruto del cafeto: Programa cooperativo ICAFE-MAG. San José, Costa Rica, 50 p.

BURBUTIS, P. P.; ERWIN, N.; ERTLE, L. R. 1981. Reintroduction and establishment of *Lydella thompsoni* and notes on other parasites of the European corn borer in Delaware. Environmental Entomology, 10: 779 - 781.

BUSTILLO, A. E.; CÁRDENAS, R.; VILLALBA, D. A.; BENAVIDES, P.; OROZCO, J.; POSADA, F. J. 1998. Manejo integrado de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) en Colombia. Cenicafé, Editorial Feriva S. A., Cali, Colombia, 134 p.

BUSTILLO, A. E.; DROOZ, A. T. 1977. Cooperative establishment of a Virginia (USA) strain of *Telenomus alsophilae* on *Oxydia trychiata* in Colombia. Journal of Economic Entomology, 70 (6):767-70.

BUSTILLO, A. E.; OROZCO, J.; BENAVIDES, P.; PORTILLA, M. 1996. Producción masiva y uso de parasitoides para el control de la broca del café en Colombia. Revista Cenicafé (Colombia), 47: 215-230.

CÁRDENAS, R.; POSADA, F. J. 2001. Los insectos y otros habitantes de cafetales y platanales. Armenia (Colombia), Comité Departamental de Cafeteros del Quindío-Cenicafé, 250 p.

CASTILLO, A.; ESPINOZA, J. C.; VALLE, J.; INFANTE, F. 2006. Dispersión del parasitoide africano africano *Phymastichus coffea* La Salle (Hymenoptera: Eulophidae) en un nuevo agroecosistema. Folia Entomologica Mexicana, 45 (3): 319-327.

CASTILLO, A.; INFANTE, F.; LÓPEZ, G.; TRUJILLO, J.; KIRKENDALL, L.; VEGA, F. 2004. Laboratory parasitism by *Phymastichus coffea* (Hymenoptera: Eulophidae) upon non-target bark beetles associated with coffee plantations. Florida Entomologist, 87 (3): 274-277.

CENICAFÉ. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. 1997. Informe anual de actividades Cenicafé. Editorial Feriva S. A. Chinchiná – Colombia, p. 55-56.

CENICAFÉ. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. 2004. Informe anual de actividades Cenicafé. Editorial Feriva S. A. Cali, Colombia, p. 162-163.

CENICAFÉ. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. 2006. Informe anual de actividades Cenicafé. Editorial Feriva S.A. Chinchiná – Colombia, p. 121-122.

CIBC. COMMONWEALTH INSTITUTE OF BIOLOGICAL CONTROL. 1990. Manual de capacitación en control biológico. Curso de Control Biológico, Abril – Mayo 1990, Chinchiná (Colombia), Cenicafé, 174 p.

DROOZ, A. T.; BUSTILLO, A. E.; FEDDE, G. F.; FEDDE, V. H. 1977. North American egg parasite successfully controls a different host genus in South America. Science Vol. 197. July 22, 1977, p. 390-391.

EMBREE, D. G. 1971. The biological control of the winter moth in eastern Canada by introduced parasites. *In*: Huffaker C.B. (ed.). Biological Control, Plenum press, New York, p. 217 - 226.

GÓMEZ, L. A.; LASTRA, L. A. 1995. Insectos asociados con la caña de azúcar en Colombia. *In:* El cultivo de la caña en la zona Azucarera de Colombia. Cassalet, C.; Torres J.; Echeverri.; C. (eds.), Centro de Investigaciones de la caña de azúcar, Cali, Colombia. p. 237-263.

HEMPEL, A. A 1934. *Prorops nasuta* Waterston no Brasil. Arquivos do Instituto Biológico (Brasil), 5: 197-212.

ICA. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. 1999. Protección sanitaria del cultivo del cafeto convenio ICA-FNC. Informe 1998. ICA, Bogotá, Colombia. 48 p.

INCISO, E., CASTRO, J. 2007. Evaluación de *Spalangia endius* y *Muscidifurax* sp. (Hymenoptera, Pteromalidae) como controladores de *Musca domestica* en el Perú. Revista. Peruana. Biol., 13 (3): 237 – 241.

INFANTE, F. 1998. Biological control of *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) in México, using the parasitoid *Prorops nasuta* (Hymenoptera: Bethylidae). Ascot, Imperial College. Department of Biology, 173 p.

INFANTE, F.; MUMFORD, J.; MÉNDEZ, I. 2001. Non-recovery of *Prorops nasuta* (Hymenoptera : Bethylidae), an imported parasitoid of the coffee berry borer (Coleoptera:Scolytidae) in Mexico. Southwestern Entomologist, 26: 159–163.

INFANTE, F.; MUMFORD, J.; GARCÍA-BALLINAS, A. 2003. Predation by native arthropods on the African parasitoid *Prorops nasuta* (Hymenoptera: Bethylidae) in coffee plantations of Mexico. Florida Entomologist, 86: 86–88.

INFANTE, F.; MURPHY, S. T.; BARRERA, J. F.; GÓMEZ, R. J.; DE LA ROSA, R., W.; DAMON, A. 1994. Cría de *Phymastichus coffea* parasitoide de la broca del café, y algunas notas sobre su historia de vida. Southwestern Entomologist, 19 (3): 313-315.

JARAMILLO, J.; BORGEMEISTER, C.; SETAMOU, M. 2006. Field superparasitism by *Phymastichus coffea*, a parasitoid of adult coffee berry borer, *Hypothenemus hampei*. Entomologia Experimentalis et Applicata, 119: 231-237.

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 Cenicafé (Colombia), 53 (4): 317-326.

JARAMILLO, J.; BUSTILLO, A. E.; MONTOYA, E. C.; BORGEMEISTER, C. 2005. Biological control of the coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae) by *Phymastichus coffea* (Hymenoptera: Eulophidae) in Colombia. Bulletin of Entomological Research, 95: 467 - 472.

JIMÉNEZ, J. 2001. Cría, manejo y comercialización del parasitoide de moscas comúnes, *Spalangia cameroni* Perkins. *In*: XXVIII Congreso Sociedad Colombiana de Entomología, Pereira, Colombia, Agosto 8-10, 2001. p. 82-86

KLEIN, D. C; ESPINOZA, O.; TANDAZO, A; CISNEROS, P; DELGADO, D. 1988. Factores naturales de regulación y control biológico de la broca del café *Hypothenemus hampei* Ferr. Sanidad Vegetal (Ecuador), 3 (3): 5-30.

LACHAUD, G. P.; HARDY, I. C. W.; LACHAUD, J. P. 2002. Insect gladiators: Competitive interactions between three species of bethylid wasps attacking the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). Biological Control, 25: 231 - 238.

MOORE, D.; PRIOR, C. 1988. Present status of biological control of the coffee berry borer *Hypothenemus hampei*. *In*: Brighton Crop Protection Conference Vol. 3. British Crop Protection Council, Thornton Heath, Surrey, UK, p. 1119–1124.

PORTILLA, M. 1999. Desarrollo y evaluación de una dieta artificial para la cría de *Hypothenemus hampei*. Cenicafé (Colombia), 50 (1):24-38. 1999.

PORTILLA, M.; STREETT, D. A. 2006. Nuevas técnicas de producción masiva automatizada de *Hypothenemus hampei* sobre la dieta artificial Cenibroca modificada. Revista Cenicafé (Colombia) 57 (1): 37-50.

QUINTERO, C.; BUSTILLO, A. E.; BENAVIDES, P.; CHAVES, B. 1998. Evidencias del establecimiento de *Cephalonomia stephanoderis* y *Prorops nasuta* (Hymenoptera: Bethylidae) en cafetales del departamento de Nariño, Colombia. Revista Colombiana de Entomología 24 (3-4): 141-147.

ROMOSSER, W. S., STOFFOLANO, J. G. 1998. The science of entomology. Boston. McGraw-Hill, 238 p.

SALAZAR, H. M.; BAKER, P. S. 2002. Impacto de liberaciones *Cephalonomia stephanoderis* sobre poblaciones *Hypothenemus hampei*. Revista Cenicafé (Colombia), 53: 306 - 316.

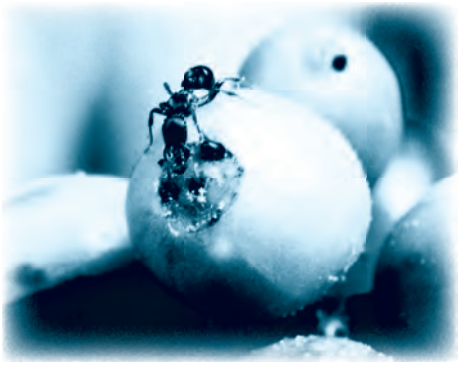
SALAZAR, H. M.; MEJÍA, C. G.; ARISTIZÁBAL, L. F.; JIMÉNEZ, M.; CANTOR, F. 2007. Introducción de *Phymastichus coffea*, parasitoide de la broca, en fincas de caficultores experimentadores. Cenicafé Avances Técnicos No. 358, Chinchiná, Colombia, 8 p.

TICHELER, J. H. G. 1963. Estudio analítico de la epidemiología del escolítido de los granos de café *Stephanoderes hampei* Ferr., en Costa de Marfil. Revista Cenicafé (Colombia), 14 (4): 223 - 294.

VAN DRIESCHE, R. G.; BELLOWS, T. S. 1996. Biological control. Chapman and Hall. New York, 539 p.

VEGA, F. E.; MERCADIER, G.; DAMON, A.; KIRK, A. 1999. Natural enemies of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae) in Togo and Cote d'Ivoire, and other insects associated with coffee beans. African Entomology, 7 (2): 243-248.

VIÑUELA, E.; URBANEJA, A.; JACAS ,J. 2006. Historia y futuro del control biológico en España, ¿hacia dónde vamos? *In*: Memorias XXXIII Congreso Sociedad Colombiana de Entomología, julio 26-28, 2006.Manizales, Colombia, p. 50 - 60.



CAPÍTULO 8

Depredadores en el control biológico

Pablo Benavides Machado; Leyre Yissel Vera Montoya; Zulma Nancy Gil Palacios

Definiciones

Los insectos depredadores son aquellos que capturan y se alimentan de animales vivos, usualmente otros insectos (Romosser y Stoffolano, 1998). Los depredadores son generalmente más grandes que sus presas, y las pueden consumir en cualquier estado de su ciclo de vida. El comportamiento depredador es común en los insectos, hábito que se puede observar en grupos de insectos muy divergentes (Romosser y Stoffolano, 1998). Algunos depredadores utilizan sus mandíbulas para morder y masticar, mientras que otros pican y succionan la hemolinfa de sus presas (Debach y Rosen, 1991). Los depredadores son menos específicos que otros agentes de control naturales como parasitoides o entomopatógenos (CIBC 1990); razón por la cual pueden llegar a ser menos efectivos en disminuir las poblaciones del insecto a controlar. Sin embargo, dependiendo de la abundancia de otras presas, se podrían mantener poblaciones de depredadores lo suficientemente altas como para que disminuyan la plaga, en momentos que ésta sobrepase los umbrales de daño económico (CIBC, 1990).

Algunas características que identifican los insectos depredadores son su velocidad y agilidad para capturar sus presas (Romosser y Stoffolano, 1998), igualmente poseen mandíbulas fuertes y morfotipos depredadores característicos. Muchas especies son depredadoras tanto en su estado de larva como de adulto, sin que necesariamente ataquen la misma presa; otras en cambio depredan en el estado de larva y se alimentan de néctar cuando llegan a adultos; mientras que otros insectos depredadores cazan activamente las presas que alimentarán su progenie (Debach y Rosen, 1991). Los órdenes que tienen mayor cantidad de especies de depredadores son Odonata, Hemiptera, Neuroptera, Coleoptera, Diptera e Hymenoptera; sin embargo, otros órdenes contribuyen con algunas especies como agentes naturales en el control biológico de plagas de interés económico (Romosser y Stoffolano, 1998).

Órdenes y familias de depredadores

Coleoptera

Los escarabajos tienen familias con un gran número de insectos depredadores, probablemente más de la mitad de los insectos depredadores están en este orden (Debach y Rosen, 1991). Las familias más representativas son: Coccinellidae, Silphidae, Staphylinidae, Histeridae, Lampyridae, Cleridae, Cantharidae, Meloidae, Cicindelidae, Carabidae, Dysticidae, Hydrophilidae y Girinidae (Debach y Rosen, 1991).

Las especies de la familia Coccinellidae son importantes en el control biológico de plagas introducidas y nativas (Van Driesche y Bellows, 1996). El primer ejemplo exitoso de control biológico clásico se obtuvo con la introducción del coccinélido *Rodolia cardinalis* Muls., desde Australia, para el control de la escama algodonosa de los cítricos, *Icerya purchasi* Maskell, en el estado de California en el año de 1889 (Debach y Rosen, 1991). Otros ejemplos más recientes incluyen a *Cryptognatha nodiceps* Marshall para el control de *Aspidiotus destructor*, en Trinidad, y *Chilocorus distigma* Klug y *C. nigritus* para el control de escamas en

coco (Van Driesche y Bellows, 1996). En Colombia, se han registrado las especies *Pentilia castanea* Mulsant y *Oeneis* sp., controlando poblaciones de escama articulada en café, *Selenaspidus articulatus* (Morgan) (Hymenoptera: Diaspididae), y las especies *Azya* sp., *Scymnus* sp., *Cycloneda* sp. e *Hippodamia* sp., atacando el áfido del algodón, *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae) (Cárdenas y Posada, 2001).

Otros insectos depredadores de importancia se encuentran en la familia Staphylinidae, en la cual algunas especies depredan larvas de moscas, que se alimentan de materia orgánica en descomposición; en la familia Histeridae existen depredadores de la mosca casera, *Musca domestica*; la familia Cantharidae posee especies en las cuales los adultos se alimentan de áfidos y huevos de langostas; y las familias Cleridae y Sybocephalidae tienen especies depredadoras de otros insectos (Van Driesche y Bellows, 1996). Así mismo, es importante hacer referencia a algunas especies de coleópteros acuáticos que se alimentan de larvas de mosquitos, éstas se encuentran en las familias Hydrophilidae, Gyrinidae y Dystiscidae (Van Driesche y Bellows, 1996, Debach y Rosen, 1991).

Hemiptera

Aunque este orden contiene especies que son predominantemente fitófagas, algunas se han especializado en alimentarse de artrópodos. Se han registrado las especies *Orius tristicolor* (White) y *Anthocoris gallarumulmi* (De Geer), de la familia Anthocoridae, como depredadores importantes de trips y áfidos plagas de cultivos bajo invernadero (Van Driesche y Bellows, 1996). Igualmente, se han identificado dos depredadores de Anthocoridae: *Buchananiella contigua* (Buchanan-White) en Mosquera (Cundinamarca), y *Lyctocoris campestris* (F.), en Boyacá, en el cultivo de la papa, depredando *Tecia solanivora* (Povolny) (Osorio *et al*., 2001).

La familia Miridae, a pesar de contener especies herbívoras de gran impacto económico en algunos cultivos, también posee individuos controladores naturales. El mirido *Macrolophus caliginosus* Wagner es usado para el control de moscas blancas en cultivos de tomate, tanto en invernadero como en el campo (Van Driesche y Bellows, 1996). Igualmente *Orius insidiosus* es una especie de esta familia, muy conocida por depredar trips y plagas de los órdenes Hemiptera y Lepidoptera (Debach y Rosen, 1991).

En la familia Lygaeidae, se ha reportado a *Geocoris* spp. que es un depredador importante de plagas del algodón (Van Driesche y Bellows, 1996). Igualmente las especies *Podisus maculiventris* (Say) y *Perillus bioculatus* (F.) de la familia Pentatomidae son depredadores importantes de *Leptinotarsa decemlineata* (Say) (Coleoptera: Chrysomelidae), plaga importante en el cultivo de la papa en Europa.

Otras familias de importancia como depredadores en este orden incluyen miembros de Reduviidae y Phymatidae, e insectos acuáticos de las familias Notonectidae, Pleidae, Naucoridae, Belostomatidae, Nepidae, Gerridae y Veliidae (Van Driesche y Bellows, 1996; Debach y Rosen, 1991).

Neuroptera

A este orden pertenecen insectos de las familias Chrysopidae y Hemerobiidae (CIBC, 1990; Debach y Rosen, 1991; Van Driesche y Bellows, 1996). Dentro de la familia Chrysopidae sobresalen los géneros *Chrysopa* y *Chrysoperla*, cuyos estados de larva y adulto son depredadores, se alimentan principalmente de áfidos, moscas blancas y huevos de varios insectos (Van Driesche y Bellows, 1996). Especies de la familia Hemerobiidae consumen áfidos, moscas blancas y escamas (Debach y Rosen, 1991).

Diptera

Las familias más significativas que contienen especies depredadoras dentro del orden Diptera son Cecidomyiidae, Syrphidae y Chamaemyiidae. Especies de la familia Cecidomyiidae son depredadoras de áfidos, escamas, moscas blancas y trips. La especie más conocida en esta familia es *Aphidoletes aphimidyza* (Rondam), la cual se cría y produce masivamente para el control de áfidos en invernadero. Los adultos de la familia Syrphidae son generalmente depredadores de áfidos, su color y forma son similares a los de las

abejas y avispas de la familia Vespidae. Algunas especies de la familia Chamaemyiidae se han usado como agentes de control para plagas invasoras (Van Driesche y Bellows, 1996).

Odonata

Las libélulas son miembros de este orden, se alimentan de manera voraz tanto en su estado larval como adulto. Prefieren alimentarse de los estados acuáticos de mosquitos, lepidópteros e himenópteros, aunque se han registrado además como depredadores de termitas (Debach y Rosen, 1991).

Hymenoptera

Las familias más importantes dentro de este orden por poseer especies depredadoras son Formicidae, Vespidae y Sphecidae. Formicidae posee muchas especies de hormigas que generalmente atacan plagas en cultivos perennes y árboles. Sin embargo, estos individuos no deben ser introducidos dentro de áreas diferentes a su área nativa, por ser especies altamente invasivas y generalistas que pueden afectar negativamente el hábitat. Avispas de la familia Vespidae, de hábitos sociales, han sido exitosas en el control de larvas de lepidópteros, como es el caso del gusano cachón de la yuca, *Erynnis ello* L. (Lepidoptera: Sphingidae). Avispas de la familia Sphecidae son generalmente depredadores de un gran número de artrópodos (Van Driesche y Bellows, 1996). En Colombia, *Polistes* sp., es un depredador eficiente del minador de la hoja del café, *Leucoptera coffeellum*.

Orthoptera

Este orden incluye a la especie *Mantis religiosa* L. de la familia Mantidae, y aunque se reconoce como un depredador voraz, no existen estudios para su cría masiva y liberación en el campo, dentro de un programa de control biológico (Van Driesche y Bellows, 1996). Con frecuencia se observa en los ecosistemas cafeteros colombianos.

Dermaptera

Este orden contiene los insectos conocidos como tijeretas, de los cuales algunas especies son depredadoras de áfidos en frutales (Van Driesche y Bellows, 1996).

Thysanoptera

A pesar de que la mayoría de insectos trips son plagas en plantas, dos familias son de importancia como agentes naturales de control: Aleolothripidae y Phlaeothripidae, este último importante en el control de mosca blanca (Van Driesche y Bellows 1996).

Depredadores nativos de la broca del café

Cárdenas y Posada (2001) mencionan como depredadores nativos de la broca del café en Colombia, a *Calliodes* sp. y *Scolopscelis* sp. (Hemiptera: Anthocoridae) y hormigas de los géneros *Crematogaster, Solenopsis*, *Wasmannia* y *Pheidole* (Hymenoptera: Formicidae). Bustillo *et al*. (2002) registraron tres familias importantes: Formicidae, Anthocoridae y Cucujidae, depredando la broca del café. En la familia Formicidae se encontraron los géneros *Solenopsis, Pheidole, Wasmannia, Paratrechina, Crematogaster, Brachymyrmex* y *Prenolepis*. *Crematogaster curvispinosus* se ha encontrado en Brasil alimentándose de la broca (Benassi, 1995). De la familia Anthocoridae hay una especie no identificada y dos géneros, *Calliodes* y *Scoloposcelis.* La especie *Cathartus quadricollis* (Guérin-Méneville) de la familia Cucujidae, se observó en cerezas de café infestadas y se cree que puede actuar como depredador de estados inmaduros de la broca; sin embargo, no se observó depredación en evaluaciones en el laboratorio.

En estudios posteriores a éste, desarrollados entre el año 2006 y 2007, después de 18 años de presencia de la broca del café, se llevó a cabo un muestreo en la zona central cafetera, con el fin de identificar depredadores de esta plaga. Se visitaron 24 fincas y se disecaron alrededor de 16.800 frutos infestados, tanto del árbol como del suelo. De estos frutos infestados aproximadamente el 5% tenían algún posible enemigo natural. Se encontró que el 91% estaba ocupado por dos especies de hormigas, *Wasmannia* sp. y *Crematogaster* sp. (Formicidae), y por *Monanus* sp. (Cucujidae), el 9% restante contenían otros depredadores de los órdenes Hemiptera, Dermaptera, Hymenoptera y Coleoptera.

Se encontraron tres especies de Coleoptera depredando estados inmaduros de la broca del café en el laboratorio (Figura 8.1). Dos de ellas de la familia Cucujidae: *Cathartus quadricollis* y *Monanus* sp. Esta última especie se encontró en el 95% de los sitios muestreados. Ambos cucujidos presentaron preferencia por los huevos y las larvas, con niveles de depredación mayores al 60%, las pupas también fueron depredadas pero en menor cantidad. Los Cucujidae se caracterizan por ser depredadores de ácaros e insectos pequeños, y por ubicarse frecuentemente en lugares escondidos (Triplehorn y Johnson, 2005). *C. quadricollis* ya había sido registrado anteriormente como posible depredador de la broca (Bustillo *et al*., 2002), pero sin resultados positivos en el laboratorio.

Una tercera especie dentro del orden Coleoptera correspondió a *Prometopia* sp., de la familia Nitidulidae. Esta presentó en el laboratorio un promedio de depredación de huevos de la broca del 45% y de pupas del 13%. Los nitidúlidos se alimentan principalmente de frutos o material en descomposición, y algunas especies como *Carpophilus* sp., son plagas menores en maíz dulce (Borror *et al.,* 1992); probablemente, la depredación de estados inmaduros de la broca por *Prometopia* sp., estuvo influenciada por la proximidad con la presa, debido al confinamiento en el laboratorio, lo cual puede evidenciar comportamientos no esperados en los insectos (Madrigal, 2001).

De la familia Anthocoridae se encontraron en el laboratorio tres individuos depredando diferentes estados de la broca, especialmente pupas. Dos de ellos fueron identificados como *Xylocoris* sp. (Figura 8.2). Este género se registra como depredador generalista de plagas de granos almacenados (Madrigal, 2001), como es el caso de *Xylocoris flavipes* Reuter, enemigo de *Oryzaephilus surinamensis* L. (Coleoptera: Cucujidae). Bustillo *et al.* (2002) registraron para Colombia tres especies de la familia Anthocoridae (*Calliodes* sp., *Scoloposcelis* sp. y uno no determinado), como depredadores de la broca; en esta investigación se encontró la especie *Xylocoris* sp., la cual se constituye en un nuevo registro de un controlador natural de la broca.

En la familia Formicidae, se encontraron hormigas depredadoras de los géneros *Wasmannia*, *Crematogaster*, *Solenopsis* y *Brachymyrmex* (Figura 8.3), los cuales ya habían sido registrados como depredadores de todos los estados de la broca[1] (Bustillo *et al*., 2002). *Crematogaster* sp., ya había sido encontrada depredando *H.*

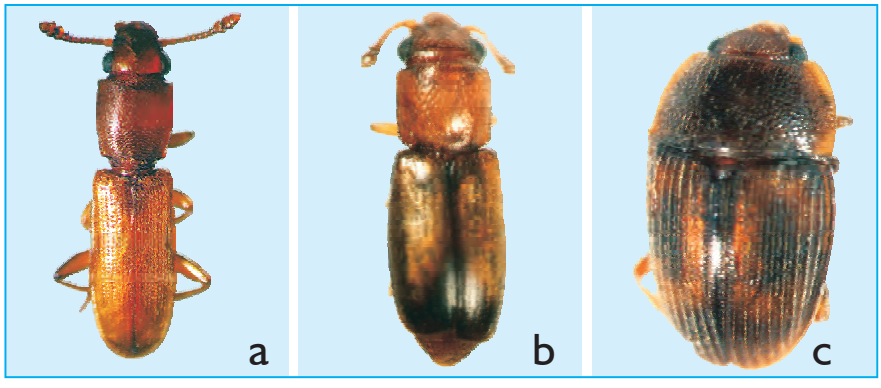


Figura 8.1. Especies del orden Coleoptera depredadores de estados inmaduros de *H. hampei*. **a.** *Cathartus quadricollis*; **b.** *Monanus* sp.; **c.** *Prometopia* sp.

hampei en Brasil y Colombia (Bustillo *et al*., 2002; CIBC, 1990), y es dentro de este grupo de hormigas, la que se presenta con mayor potencial para ser involucrada en un programa de manejo integrado, por no ser una especie tan invasiva ni causar molestias a mamíferos ni humanos.

Se encontró un individuo del orden Dermaptera proveniente de frutos del suelo, el cual atacó y depredó una pupa en una unidad de observación (Figura 8.4).

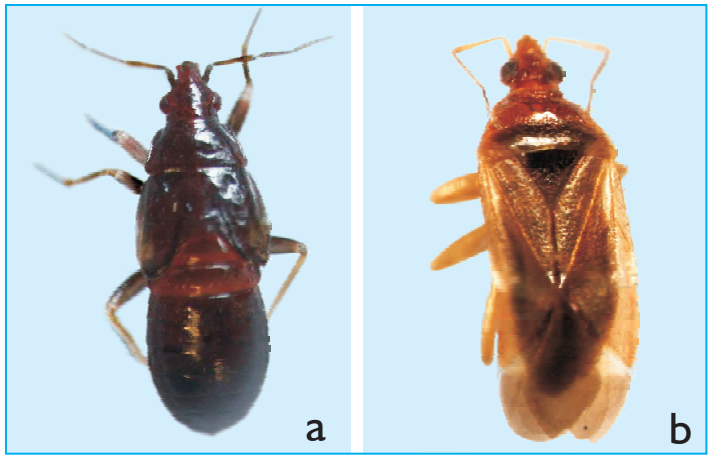


Figura 8.2. *Xylocoris* sp. (Hemiptera: Anthocoridae) depredador de estados inmaduros de *H. hampei*. **a.** Ninfa; **b.** Adulto.

Figura 8.3. Depredadores de todos los estados de *H. hampei* del orden Hymenoptera: Formicidae. **a.** *Wasmannia* sp.; **b.** *Crematogaster* sp.; **c.** *Solenopsis* sp.; **d.** *Brachymyrmex* sp.

Figura 8.4. Insecto del orden Dermaptera, depredador de pupas de *H. hampei*.

[1] VÉLEZ H., M.; BUSTILLO P., A.E.; POSADA F., F.J. 2003. Depredación de *Hypothenemus hampei* (Ferrari) por *Solenopsis geminata* y *Gnamptogenys* sp. (Hymenoptera: Formicidae). *In*: Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología, 30. SOCOLEN, Cali (Colombia), Julio 17-19. p. 26.

Selección de depredadores nativos para la broca del café en Colombia

Wasmannia sp., se presenta con gran frecuencia y causa picazón a las personas, además se ha encontrado que la especie, *W. auropunctata* (Roger) puede eliminar especies de hormigas nativas y otros invertebrados terrestres en áreas recién colonizadas (Fernández, 2003), por lo tanto es una especie que no se recomienda incluir en un programa de manejo integrado, si se pudiera liberar en cafetales. Sin embargo, es muy importante tenerla en cuenta dentro de la estrategia de conservación, ya que se pueden regular poblaciones de insectos como es el caso de *Cosmopolites sordidus* en el plátano (Goitía y Cerda, 1998). *Crematogaster* sp., por el contrario, es una hormiga dócil, que no aguijonea, fácil de manipular y con hábitos de forrajeo arborícola. *Monanus* sp. se encontró en el 95% de las fincas y en el 33% de los frutos hubo evidencias de depredación en el laboratorio. En relación con los demás depredadores encontrados, aunque algunos mostraron acción depredadora en el laboratorio como los hemípteros, no se consideran potenciales debido a su escasa frecuencia en las fincas y en los frutos de café.

Debido a lo anterior, *Crematogaster* sp. (Hymenoptera: Formicidae) y *Monanus* sp. (Coleoptera: Cucujidae), son especies depredadoras que se deben considerar en el manejo integrado de la broca en Colombia. Ambas especies se encontraron en mayor proporción en frutos secos dejados en el árbol al final de la cosecha. *Crematogaster* sp., se encontró además en frutos verdes (30%), lo que podría ser aprovechado después del zoqueo del cafetal, cuando se presentan altos porcentajes de frutos en este estado (Castaño *et al.,* 2005). Sin embargo, es preciso desarrollar más investigaciones para poder manipular estos insectos y producirlos masivamente, y así evaluarlos bajo programas de introducción en zonas infestadas por la broca del café.

En la Tabla 8.1 se presenta una lista de depredadores comúnmente encontrados en la zona cafetera atacando una gran variedad de insectos.

Tabla 8.1. Depredadores de algunos insectos que se encuentran en el ecosistema cafetero en Colombia (Cárdenas y Posada, 2001).

INSECTO PLAGA	DEPREDADOR
Escama circular, *Saissetia coffeae* (Walker (Homoptera: Coccidae)	*Azya* sp pos. *luteipes* Munsant, *Chilocorus cacti* (L.) (Coleoptera: Coccinellidae) *Baccha bonleyi* Curran (Díptera: Syrphidae) (Posada y García 1976)
Escama articulada, *Selenaspidus articulatus* (Morgan (Homoptera: Diaspididae)	*Pentilia castanea* Mulsant, *Oeneis* sp. (Coleoptera: Coccinellidae)
Pulgón verde de la papa, *Myzus persicae* Sulzer (Homoptera: Aphididae)	*Azya* sp, *Cycloneda sanguinea* L. (Coleoptera: Coccinellidae) *Chrysoperla* sp. (Neuroptera: Chrysopidae) *Orius tristicolor* Herring (Hemiptera: Anthocoridae) *Allograpta argentipila* (Fluke (Diptera: Syrphidae)
Áfido del algodón, *Aphis gossypii* Glover (Homoptera: Aphididae)	*Chrysoperla* sp. (Neuroptera: Chrysopidae) *Azya* sp., *Scymnus* sp., *Cycloneda* sp. e *Hippodamia* sp. (Coleoptera: Coccinellidae) *Baccha* sp. y *Allograpta* sp. (Diptera: Syrphidae).
Gusano monturita, *Sibine fusca* Stoll, *S. apicalis* Dyar, (Lepidoptera: Limacodidae)	*Alcaeorrhynchus grandis* (Dallas) (Hemiptera: Pentatomidae) Avispas *Polistes* y *Polybia* (Hymenoptera: Vespidae).
Arañita roja: *Oligonychus yothersi* (McGregor (Acari: Tetranychidae)	*Stethorus* sp., *Scymnus* sp., *Coleomegilla* sp. (Coleoptera: Coccinellidae) *Oligota centralis* Sharp (Coleoptera: Staphylinidae)

Literatura citada

BENASSI, V. 1995. Levantamento dos inimigos naturais da broca do café *Hypothenemus hampei* (Ferr.) (Coleoptera: Scolytidae) no norte do Espirito Santo. An. Soc. Entomol. Brasil, 24: 635-638.

BORROR, D. J.; TRIPLEHORN, C. A.; JOHNSON, N. F. 1992. An introduction to the study of insects. 6th. ed., Saunders College Publishing. 875 p.

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.

CÁRDENAS, R.; POSADA, F. J. 2001. Los insectos y otros habitantes de cafetales y platanales. Comité Departamental de Cafeteros del Quindío, Cenicafé, Armenia, Colombia, 250 p.

CASTAÑO, A; BENAVIDES, P.; BAKER, P. S. 2005. Dispersión de *Hypothenemus hampei* en cafetales zoqueados. Revista Cenicafé (Colombia), 56 (2):142-150.

CIBC. COMMONWEALTH INSTITUTE OF BIOLOGICAL CONTROL. 1990. Manual de capacitación en control biológico. Curso de Control Biológico, , Cenicafé, Chinchiná (Colombia), abril – mayo 1990, 174 p.

DEBACH, P.; ROSEN, D. 1991. Biological control by natural enemies. Cambridge University Press, Cambridge, 440 p.

FERNÁNDEZ, F. 2003. Introducción a las hormigas de la región Neotropical. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Álexander von Humboldt, Bogotá, Colombia, 398 p.

GOITIA, W.; CERDA, H. 1998. Hormigas y otros insectos asociados a musáceas y su relación con *Cosmopolites sordidus* Germar (Coleoptera: Curculionidae). Agronomía Tropical (Venezuela), 48 (2):209-224.

MADRIGAL, A. 2001. Notas sobre Control Biológico de Plagas. Universidad Nacional, Medellín, Colombia, 228 p.

OSORIO, P. A.; ESPITIA, E.; LUQUE, E. 2001. Reconocimiento de enemigos naturales de *Tecia solanivora* (Lepidoptera: Gelechiidae) en localidades productoras de papa en Colombia. Revista Colombiana de Entomología 27 (3-4): 177 –185.

POSADA, L.; GARCÍA, F. 1976. Lista de predadores, parásitos y patógenos de insectos registrados en Colombia. Bogotá, ICA. Boletín Técnico No. 41. 90 p.

ROMOSSER, W. S.; STOFFOLANO, J. G. 1998. The science of entomology. McGraw-Hill, Boston, 238 p.

TRIPLEHORN, C. A.; JOHNSON, N. F. 2005. Borror and Delong's. Introduction to the study of insects. 7. ed. Saunders College Publishing. 864 p.

VAN DRIESCHE, R. G.; BELLOWS, T. S. 1996. Biological control. Chapman and Hall, New York, 539 p.

CAPÍTULO 9

Los hongos entomopatógenos en el control de insectos

Carmenza Esther Góngora Botero

Los hongos son organismos eucariontes, con un núcleo claramente definido por una membrana, pueden estar compuestos de una célula simple (unicelulares), como es el caso de las levaduras, o como en la mayoría de los casos, estar formado multicelularmente por unidades filamentosas conocidas como hifas, que forman un micelio. Las hifas están formadas por segmentos uninucleados o multinucleados, separados por paredes transversales.

Los primeros organismos que se identificaron como causantes de enfermedades en insectos fueron los hongos, debido a que era posible observar su crecimiento en la cutícula de los insectos (Tanada y Kaya,1993).

Aunque los hongos raramente son patógenos letales de vertebrados, en muchos casos son patógenos importantes de invertebrados, es decir, que son microorganismos capaces de causar una enfermedad en los insectos (Hajek, 2004), definiendo el termino enfermedad, como una condición anormal que ocurre en el insecto debido a desarreglos fisiológicos o físicos. La patogenicidad de un hongo es la condición de ser patogénico, es decir, tener la habilidad de causar una enfermedad en el insecto. Mientras que la virulencia es el grado de patogenicidad, es decir, la cantidad de enfermedad medible que el hongo pueda causar (Shapiro-Ilan *et al.,* 2005). Los hongos patogénicos generalmente invaden y se multiplican dentro de los insectos y se conocen como entomopatógenos. Las enfermedades causadas por hongos se denominan micosis.

La mayoría de órdenes de insectos son susceptibles a enfermedades causadas por hongos, y éstos son particularmente importantes para el control de coleópteros, debido a que este orden es especialmente resistente a las enfermedades causadas por virus y bacterias.

Los hongos entomopatógenos están asociados a los insectos en todo tipo de hábitats, en los cuales se incluye agua, suelo y partes aéreas de las plantas (Hajek y St. Leger, 1994). Existen más de 700 especies de hongos que se han reportado como patógenos de artrópodos, y que además, desempeñan un papel importante en la regulación de las poblaciones de insectos (Goettel *et al.,* 2005). Existe también una gran diversidad con respecto a su grado de especiación y su rango de adaptación se extiende desde ser patógenos obligados de algunas especies de insectos (*Coelomomyces*), a ser organismos generalistas capaces de infectar diferentes especies de huéspedes, hasta especies que son patógenos facultativos (*Metarhizium*). Las epizootias causadas por hongos son comunes en algunas especies de insectos, mientras otros, raramente, pueden ser afectados (Tanada y Kaya, 1993). Algunos de estos entomopatógenos, como es el caso de *Beauveria bassiana*, pueden utilizar a las plantas en forma endofita, como un reservorio de entomopatógenos (Rehner *et al.,* 2006).

Dentro del grupo de los patógenos de insectos, los hongos tienen la característica muy particular, que no requieren ser ingeridos por el insecto para causar la enfermedad, ya que ellos pueden penetrar directamente a través de la cutícula del huésped. Su crecimiento y desarrollo está limitado principalmente por condiciones medioambientales, especialmente alta humedad y la temperatura apropiada, según el hongo. Los primeros estudios con hongos entomopatógenos se realizaron en 1800 por Agostino Bassi, quien fue el primero en estudiar la enfermedad del gusano de seda, causada por *Beauveria bassiana*, denominada la muscardina

blanca (Steinhaus, 1975). Sin embargo, no fue sino hasta 1950 que resurgió el interés por usar hongos entomopatógenos para el control de insectos (Goettel *et al.,* 2005). Hoy en día, existen varios productos comerciales disponibles basados básicamente en diez especies de hongos (Shah y Goettel, 1999; Copping, 2001). Sin embargo existe el potencial para el desarrollo de muchas más especies. El conocimiento acerca de la interacciones hongo entomopatógeno-insecto serán los que permitirán el desarrollo de más productos comerciales.

Modo de infección

Las unidades de reproducción de los hongos son llamadas esporas o conidios. Los insectos son usualmente infectados por estas unidades reproductivas. El proceso de infección se puede dividir en tres etapas: 1. Adhesión y germinación de las esporas en la cutícula del insecto; 2. Penetración dentro del hemocelo del insecto; y 3. Desarrollo del hongo, que generalmente termina en la muerte del insecto (Tanada y Kaya, 1993).

Las esporas deben hacer contacto con la cutícula del insecto. Parece ser que se produce una interacción hidrofóbica inicial entre la espora y la superficie de la cutícula (Boucias y Pendland, 1991), que se evidencia por la secreción de una sustancia mucosa adhesiva, a medida que las esporas aumentan su tamaño en el proceso de pregerminación, esta sustancia le permite adherirse a la cutícula. El insecto puede evitar la infección en su cutícula, si el medio no proporciona los factores esenciales para que se produzca la adhesión y el desarrollo de la espora. Específicamente la infección puede suprimirse debido a la baja humedad, a la imposibilidad del hongo de utilizar los nutrientes disponibles en la cutícula del insecto, o por que no se dan los factores necesarios que permiten el reconocimiento de un huésped susceptible o la penetración en el sitio de infección (St. Leger, 1991). En algunos casos, el hongo penetra el insecto por sus aberturas naturales (cavidad bucal, espiráculos). El modo de penetración depende de las propiedades de la cutícula de los insectos.

El reconocimiento de un huésped susceptible incluye señales químicas y características de la cutícula. Experimentos llevados a cabo sobre diferentes superficies, inclusive en la cutícula de insecto, indican que la formación de apresorios depende de que el hongo reciba las señales de inducción apropiadas de la superficie de la cutícula (St. Leger, 1991). En algunos casos, el hongo no puede invadir la cutícula del insecto debido a la presencia de compuestos inhibitorios como pueden ser: fenoles, quinonas y lípidos (Smith y Grula, 1981).

Después que la espora logra unirse a la cutícula y no es inhibida, ésta germina, se diferencia y forma un tubo germinativo que sirve como hifa de penetración o puede formar un apresorio que a través de una fuerza física, crea una presión mecánica, esto junto con la producción de sustancias químicas como son las enzimas, rompen la cutícula del insecto, de tal forma que las hifas penetran la cutícula y se adentran en la cavidad del cuerpo del insecto.

Los hongos entomopatógenos poseen una gran variedad de mecanismos que les permiten romper y asimilar los materiales de los huéspedes y sobreponerse a sus mecanismos de resistencia. El hongo debe producir sustancias que le permitan degradar la cutícula del insecto, sustancias que inhiban procesos específicos del insecto y sustancias que interfieran con el sistema regulatorio del insecto. Estas sustancias no solo corresponden a enzimas sino que también se han reportado toxinas (Hajek y St. Leger, 1994).

Entre las enzimas determinantes de la virulencia de los hongos está el caso de la proteasa Pr1 de *Metarhizium anisopliae* (St. Leger *et al*., 1992), cuya expresión se produce en el momento de penetración de la cutícula y ocasiona la degradación de las proteínas presentes en la cutícula. La sobreexpresión de esta proteína en *M. anisopliae*, modificado genéticamente (St. Leger *et al.,* 1996), y en *Beauveria bassiana* transformado con el gen que expresa esta proteína (Góngora, 2004; Rodríguez y Góngora, 2005), ocasionó un incremento en la virulencia de estos hongos. En el caso de *B. bassiana* cuando infectó *Hypothenemus hampei*, el incremento en virulencia estuvo alrededor del 30% comparada con las cepas originales, no transformadas.

Con respecto a las toxinas, en algunos casos su importancia en los procesos de patogenicidad no ha sido clara (Gillespie y Claydon, 1989). Sin embargo, para el caso de *M. anisopliae,* la producción y la concentración de la toxina destruxina, un ciclodepsipéptido, en algunas cepas está relacionada con los procesos de virulencia del hongo (Kershaw *et al.,* 1999). La toxina es responsable de afectar varios organelos en las células y causa su parálisis (Roberts, 1969), y por ende disfunción de los órganos de Malpighi, hemocitos y tejido muscular. Otras toxinas reportadas corresponden a beauvericina, en *B. bassiana*, la cual se ha encontrado relacionada con mortalidad de larvas de *H. hampei* (Arboleda *et al.,* 2003). También ha sido reportada en *Verticillium*, ahora *Lecanicillium*, la toxina bassianolide (Kanaoka *et al.,* 1978). Se cree que muchas de estas toxinas además tienen un efecto bactericida, que previene la putrefacción bacterial de los insectos, lo cual permite el crecimiento del hongo y la momificación del insecto (McCoy *et al.,* 1988).

Estudios recientes realizados por Freimoser *et al.* (2005), sobre la interacción entomopatógeno-insecto utilizando microarreglos y extensos grupos de secuencias de genes, indican que *M. anisopliae* es capaz de infectar un amplio grupo de insectos. Para esto, los autores utilizaron medios de cultivo que contenían cutícula de *Manduca sexta*, en donde se desarrollaba el hongo, y fueron capaces de inducir la expresión de más de 250 genes que presentan una gran variedad de funciones fisiológicas. Entre ellos se reportan proteínas involucradas en la degradación de cutícula (proteasa), proteínas de transporte y proteínas relacionadas con la regulación de transcripción, al igual que muchos genes con función desconocida. Además, se evidencia la represión de muchas otras proteínas. Los patrones de expresión de genes en respuesta al crecimiento en la cutícula de otros tipos de insectos, tales como cucarachas (*Blaberus giganteus*) y coleópteros (*Popillia japonica*), es diferente a la observada con los lepidópteros, lo que indica que el entomopatógeno responde de una forma específica y precisa ante cada insecto y condición ambiental, con una amplia maquinaria de genes.

Una vez el hongo ha penetrado la cutícula pasa al hemocelo, donde las hifas se convierten en cuerpos hifales o blastosporas y/o protoplastos. Éstos, se diseminan a todas partes del cuerpo del insecto y eventualmente destruyen los órganos internos. La muerte del insecto ocurre por deficiencias nutricionales, invasión y destrucción de los tejidos del insecto y por desbalances metabólicos debido a sustancias tóxicas que son producidas por el hongo (Gillespie y Claydon, 1989).

Dentro de la cavidad del insecto, el éxito de la infección va a depender del potencial genético que tiene el hongo para crecer rápidamente, penetrar las barreras que encuentra en el insecto y resistir las sustancias tóxicas que pueda producir el insecto, así como de sus mecanismos de defensa. El principal mecanismo de defensa del insecto es la encapsulación y melanización de cuerpos extraños. En la encapsulación los granulocitos presentes en la hemolinfa del insecto, por un proceso de fagocitosis, envuelven los cuerpos del hongo, luego los plasmatocitos envuelven los granulocitos y forman un nódulo, en el que el hongo sufre lisis (Gotz, 1986). Este proceso confiere protección al insecto contra cepas con baja virulencia, sin embargo, las cepas altamente virulentas tienen la habilidad de sobreponerse a la encapsulación y continuar con su crecimiento, como ocurre en el caso de *B. bassiana* cuando infecta al gusano de seda, *Bombyx mori* (Hou y Chang, 1985). En otros casos, como se reporta en *M. anisopliae*, la dextruxina puede inhibir la formación de nódulos por parálisis de los hemocitos (Huxham *et al.,* 1989).

Otros mecanismos que utiliza el hongo para no ser reconocido por el sistema inmune del insecto, incluyen la pérdida de la pared celular y formación de protoplastos, los cuales al no tener pared, no son reconocidos por los hemocitos del insecto, proceso que ocurre en *Entomophaga aulicae* (Dunphy y Nolan, 1982). Los hongos también utilizan como mecanismo la formación de cuerpos hifales, que se distribuyen rápidamente a todos los órganos; parece ser que la manera que tienen los cuerpos hifales para evitar ser reconocidos por el sistema inmune involucra la presencia del gen *mcL1*, reportado por Wang y St. Leger (2006), en *M. anisopliae.* Este gen codifica una proteína con un dominio tipo colágeno, que funciona como una capa de antiadhesivo que protege y enmascara las estructuras antigénicas (beta glucanos) de la pared de los cuerpos hifales y los carga negativamente, lo que los hace poco reconocibles a los hemocitos. La búsqueda en 54 diferentes genomas de hongos reveló que otras siete especies de entomopatógenos presentan esta proteína, lo que sugiere que éste es un mecanismo de evasión presente en muchos hongos.

Una vez superadas las barreras inmunes del insecto, el hongo crece saprofíticamente, forma una masa de micelio y produce estructuras reproductivas, dentro del hemocelo. Las esporas o hifas estériles emergen del

insecto bajo condiciones apropiadas de humedad y temperatura. Los procesos de producción de esporas, descarga, dispersión, sobrevivencia y germinación dependerán de condiciones ambientales. El gran número de esporas producidas en los cadáveres de insectos, compensa parcialmente la alta probabilidad de que la gran mayoría de ellas no sobrevivan (Hajek y St Leger, 1994)

En el grupo de los Entomophthorales se producen dos tipos de esporas: unas de vida corta, de activa dispersión y ciclo conidial, y otras de vida larga y ciclo de esporas con alta resistencia a condiciones ambientales desfavorables (Keller, 2007). En muchos hongos la producción de esporas que se dispersan va a depender de las condiciones de humedad relativa, como es el caso de *Zoophtora phalloide* y *Entomophaga maimaga*, las cuales solo esporulan y liberan sus esporas cuando la humedad en el medio ambiente es mayor al 95% (Glare y Milner, 1991; Hajek *et al.,* 1990). Sin embargo, *E. muscae* está mejor adaptada a las condiciones de sequedad y puede producir y liberar conidios con humedades hasta del 50% (Mullens y Rodríguez, 1985).

La dispersión de las unidades reproductivas puede ser un proceso activo, en el que son expelidas de los esporóforos, como se observa en el caso de *Cordyceps,* o puede producirse una dispersión pasiva por acción del viento, la cual va a depender de las características de la espora. Luego de que las esporas son producidas y descargadas al medio ambiente, éstas deben sobrevivir hasta entrar en contacto con un nuevo insecto. Las causas de mortalidad de las esporas en el medio ambiente incluyen la radiación solar, debido a los rayos ultravioleta (UV), la altas temperaturas y la desecación (Fuxa, 1987). En el suelo la mortalidad de las esporas puede suceder por microorganismos antagonistas o efectos de fungistáticos como lo registra Pereira *et al.* (1993), para el caso de *B. bassiana*.

Signos y síntomas de las infecciones

Existen relativamente pocos estudios detallados con respecto a la respuesta en el comportamiento de los insectos afectados por hongos entomopatógenos. Sin embargo, en los estados tempranos de las infecciones los insectos muestran poco o ningún síntoma (Goettel *et al.* 2005). En algunos casos, cuando la coloración del insecto lo permite, se observan unos puntos necróticos en los sitios de invasión de la cutícula.

A medida que continúa el proceso de infección, el insecto pierde movilidad y algunos días previos a la muerte los síntomas son más evidentes e incluyen las disminuciones en el apetito y en su actividad corporal y coordinación. Este es el caso observado en saltamontes afectados por la infección con *Metarhizium flavoviridae* y *M. anisopliae* var. *acridum* (Moore *et al.,* 1992; Arthurs y Thomas, 2000). Otras respuestas incluyen el incremento del apetito, comportamiento observado en *Leptinotarsa decemlineata*, infectado por *B. bassiana*, en las primeras 24 horas de la infección. Sin embargo, después de este tiempo se observa una disminución en el consumo de alimento (Fargues *et al.,* 1994). Aunque los insectos cuya muerte es causada por hongos entomopatógenos toman más tiempo en morir que los tratados con plaguicidas químicos, el daño que causan éstos en los cultivos agrícolas es menor durante el período de incubación de la enfermedad, debido a que los insectos infectados consumen menos alimento que los sanos; así mismo, la reducción en el consumo de alimento ha sido asociada con las dosis del entomopatógeno utilizadas (Roy *et al*., 2006).

También se ha registrado incremento de la temperatura, fenómeno observado en moscas infectadas por *Entomophthora muscae* (Watson *et al.,* 1993), y en saltamontes y langostas infectados por *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* var. *acridum* (Kalsbeek *et al.,* 2001). Moller (1993), registró alteración en las preferencias de oviposición y cópula y modificaciones del comportamiento reproductivo del insecto; en general, los insectos infectados producen una menor progenie (Roy *et al.,* 2006). También se ha reportado fototropismo y geotropismo positivos o negativos. Otras respuestas incluyen cambios en el comportamiento que, en general, son de beneficio para el hongo, como es el observado en insectos infectados por hongos del orden Entomophthorales, en los que el insecto cuando está próximo a su muerte se desplaza a posiciones elevadas en la planta, comportamiento que favorece la dispersión del hongo (Roy *et al.,* 2006; Steinkraus *et al.,* 1993).

El incremento en la atracción sexual parece ser otra característica observada en moscas infectadas por hongos Entomophthorales. Este atractivo parece deberse al incremento en los tamaños del abdomen de las moscas cuando están infectadas o a semioquímicos que atraen a los machos (Moller, 1993).

Taxonomía de los hongos entomopatógenos

Por muchos años, la taxonomía de los hongos se ha basado en sus características morfológicas, fisiológicas y de desarrollo. Estas características han determinado la estructura que se conoce actualmente de clase, género y especie. Las complejidades del ciclo de vida de los hongos dieron lugar a que muchos de ellos fueran clasificados no con base en sus características evolutivas, sino en sus funciones comunes, ecología o en función del medio ambiente. Esto ocasionó que algunas especies se clasificaran incorrectamente en el esquema filogenético (Goettel *et al.,* 2005). La forma, morfología y dispersión de las conidios también ha sido un importante criterio de clasificación.

El estudio del DNA y RNA ha permitido entender procesos evolutivos. Las técnicas moleculares que involucran DNA y RNA han sido aplicadas al estudio de la taxonomía jerárquica, entre éstas se encuentran: técnicas que trabajan con DNA basadas en la reacción en cadena de la polimerasa (PCR), la cual permite amplificar el material genético (Edel, 1998). Los fragmentos generados luego de la amplificación se conocen como huellas dactilares o perfil molecular ("fingerprints"), éstas se obtienen usando iniciadores al azar (RAPDs) o utilizando oligómeros específicos (microsatélites, AFLPs, RFLPs) (Caballero *et al.,* 2001). También se han empleado polimorfismos basados en la longitud de los cromosomas (Viaud *et al.* 1996), al igual que el estudio del DNA mitocondrial (Hegedus y Khachaturians, 1993)

La molécula de RNA ribosomal (rRNA) también se ha usado para estudios filogenéticos, gracias a que es una molécula altamente conservada entre organismos. El ribosoma de los eucariontes posee dos subunidades de ARN ribosomal, con diferentes gradientes de sedimentación: 40S y 60S, el cual está codificado por tres genes, 18S, 5.8S y 28S en su orden, éstos poseen dos regiones espaciadoras, el ITS 1, el cual separa el gen 18S del 5.8S y el ITS 2, que separa el gen 5.8S del 28S. Los ITSs al no tener una función aparente, acumulan mutaciones neutrales a lo largo del tiempo, y la comparación de los ITS entre organismos, permite diferenciar individuos relacionados genéticamente. Las regiones espaciadoras se pueden amplificar por PCR, utilizando iniciadores universales descritos por White *et al.* (1990).

En general, durante los últimos años han aparecido diversos artículos científicos que proponen una clasificación del reino de los hongos como es el caso de Hibbet *et al.* (2007), basada en análisis filogenéticos moleculares, con el aval de diversos miembros de la comunidad científica experta en taxonomía de hongos. Hoy en día existe un consenso con respecto a la clasificación macroevolutiva de los siete reinos identificados, con base en la secuencia de los genes ribosomales de las subunidad ribosomales (Woese *et al.,*1990; Hasegawa *et al.,* 2005). Con respecto a los hongos, también se ha alcanzado un consenso general en relación con su posición evolutiva, con base en la secuencia del gen del rRNA (Berbee y Taylor, 2001).

En cuanto a hongos entomopatógenos, también su clasificación ha sido reconsiderada con base en la secuencia de sus genes conservados e introns, y se ha aprovechado el polimorfismo en los ITSs del rRNA de éstos. Las secuencias de la subunidad pequeña de rDNA se han usado para examinar las relaciones filogenéticas en *Metarhizium* (Driver *et al.,* 2000) y en el orden de los Entomophthorales (Jensen *et al.,* 1998). En este caso en particular, estos estudios moleculares soportan el uso de las características del tipo de descarga de las esporas como un rango determinante que identifica los Entomophthorales. Este mismo tipo de secuencias (rDNA) fueron las que permitieron la reclasificación del genero *Verticillium*, de tal forma que todos los hongos entomopatógenos de este grupo fueron ubicados en el género *Lecanicillium* sp. (Zare *et al.,* 2000).

Clasificación de hongos entomopatógenos

Los hongos entomopatógenos están presentes en todas las clases de hongos conocidas, posiblemente los más ampliamente distribuidos se encuentran en las divisiones Zigomicota y Ascomicota (Roy *et al.,* 2006). A continuación se incluye una descripción de estos grupos, siguiendo la clasificación de Noyd (2000).

Ascomicota

En la división Ascomicota, clase Sordariomycetes, orden Hypocreales, familia Clavicipitaceae, se encuentran los entomopatógenos más comúnes (Roy *et al.,* 2006). Los hongos de la división Ascomicota se caracterizan por tener un micelio septado y haploide. Presentan esporas sexuales denominadas ascosporas, éstas se producen agrupadas en cuerpos fructíferos o ascos, en unas estructuras denominadas ascomatas. Cada asco está formado por ocho ascosporas. Al estado sexual del Ascomyceto se le conoce como teleomorfo, y el estado asexual se denomina anamorfo, y en este caso, se producen conidias en lugar de ascosporas. En esta división el género *Cordyceps,* contiene más de 300 especies de entomopatógenos, este género corresponde a la forma sexual o teleomorfo. Sin embargo, muchos de los ascomicetos aparentemente perdieron la habilidad de formar su estado sexual, y fue debido a esto que en algún tiempo fueron clasificados en el grupo de los hyphomicetos, clasificación que ha sido reconsiderada.

Dentro de esta división existen más de 40 géneros de entomopatógenos a los que no se les conoce la forma sexual, los más representativos son: *Aschersonia, Aspergillus, Beauveria, Culicinomyces, Gibellula, Hirsutella, Hymenostilbe, Lecanicillium, Metarhizium, Nomuraea, Paecilomyces, Sorosporella* y *Tolypocladium.*

Los hongos *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae,* agentes causales de enfermedades en insectos, conocidas como muscardina blanca y verde, respectivamente, han sido reconocidos y desarrollados más ampliamente como ingredientes activos de productos comerciales, por tener un amplio potencial de aplicación como biocontroladores. Entre los productos disponibles en el mercado se encuentran: Mycotrol GH (*B. bassiana*, Mycotech, USA) y Green Muscle (*M. flavoviride*, CABI Bioscience, UK) (Burges, 1998; Butt y Copping, 2000).

Sin embargo, éstos no son los únicos desarrollados por la industria, también están: DiTera (*Myrothecium verrucaria*, Valent (Sumitomo), USA, Japón), Mycotal (Lecanicillium *lecanii*, Koppert, Holanda) y Biofox C (*Fusarium oxysporium* y *Fusarium moniliforme* SIAPA, Italia) (Burges, 1998; Butt y Copping, 2000).

Para la producción comercial de entomopatógenos son fundamentales los procesos de producción masiva del hongo y las formulaciones. Entre las formulaciones, las más sencillas son las granuladas, obtenidas a base de arroz o arroz molido. Existen otras que son más laboriosas como las de gránulos de aceite hidrogenado o gránulos de alginato, que han sido utilizadas en la producción de *B. bassiana* (Carballo 1998). Debido a que la temperatura y la humedad son los factores que afectan principalmente la eficacia de los hongos, se han utilizado surfactantes como Tween 20, que permiten reducir la tensión superficial y mejoran la dispersión de las esporas cuando son asperjadas (Fernández y Juncosa, 2002). Entre los bioplaguicidas en proceso de desarrollo a gran escala, están *Nomuraea rileyi* e *Hirsutella thompsonii* (Rosset y Moore, 1998).

La comercialización de los productos para el control biológico con entomopatógenos requiere de un control de calidad adecuado de éstos, en donde las propiedades biológicas, físicas y químicas de los hongos (concentración de esporas, porcentajes de germinación y pureza), al igual que su eficacia sobre los insectos sea asegurada al usuario, de tal manera que los productos presenten una máxima eficacia en el campo (Vélez *et al*., 1997; Carballo, 1998).

***Beauveria bassiana* (Ascomycota: Hypocreales).** Esta es la especie de entomopatógeno comercialmente más utilizada alrededor del mundo, contra un gran número de insectos plaga. Las formulaciones consisten en conidios, en forma de polvo, para ser resuspendidos en agua o en aceites emulsivos (Figura 9.1). Se ha reportado su uso en plantaciones comerciales en Brasil para el control del picudo del plátano (*Cosmopolites sordidus*) (Alves *et al.,* 2003) y en China para el control de lepidópteros plaga (*Dendrolimus* sp.), en plantaciones de pinos (Feng 2003). Se ha estimado que en China, por varias décadas, se produjeron y aplicaron alrededor de 10.000 toneladas de conidios de *B. bassiana*, para el control de plagas agrícolas y de plantaciones forestales (Feng *et al.,*1994).

En Colombia, este hongo se registró atacando la broca del café, tan pronto como ésta hizo su aparición en el sur del país (Vélez y Benavides, 1990). Es un controlador natural de esta plaga del café, se encuentra infectando el insecto prácticamente en todos los países donde se ha dispersado. El hongo hace parte de

Figura 9.1. Hongo *Beauveria bassiana* sobre larvas del defoliador del maracuyá, *Agraulis juno* (Foto A. Bustillo).

la estrategia de manejo integrado de la broca y se recomienda su uso por parte de la FNC-Cenicafé (Bustillo *et al.,* 1998; Bustillo, 2004). Durante 1992 se utilizaron cinco toneladas del hongo y en 1998 se incrementó a 300 toneladas, con la selección de las cepas más virulentas para el control de la broca del café (Bustillo, 2002a).

La incidencia del hongo varía de un país a otro y aunque estas diferencias pueden deberse a factores climáticos, es también posible suponer que la broca está mejor adaptada al hongo en África, pero sucumbe a razas exóticas que encuentra cuando llega a un nuevo sitio (Moore y Prior, 1988). Jiménez (1992) y Cruz *et al.* (2006), demostraron que entre cepas de *B. bassiana* existen diferencias en virulencia hacia la broca del café.

***Lecanicillium lecanii* (Ascomycota: Hypocreales).** Es utilizado principalmente en el control de plagas en invernadero, donde la humedad del ambiente puede ser modificada. Es efectivo para el control de insectos chupadores como áfidos, mosca blanca (*Bemisia tabaci*) y trips (Copping, 2001; Wraight *et al.,* 2001). También existen productos disponibles en Colombia y Perú para el control de lepidópteros y dípteros (Shah y Goetttel, 1999) (Figura 9.2).

Figura 9.2. *Lecanicillium lecanii* sobre un adulto de un Cicadellidae en fríjol (Foto A. Bustillo).

Una de las limitaciones en el uso de este hongo se refiere a las estrictas condiciones de alta humedad que se requieren para el desarrollo del hongo. Sin embargo, recientes avances en formulaciones producidas en Inglaterra, han logrado un adyuvante basado en un aceite vegetal emulsivo que permite la acción del hongo a bajas humedades (Milner, 1997; Shah y Pell, 2003).

***Metarhizium anisopliae* (Ascomycota: Hypocreales).** El uso de *M. anisopliae* (Figura 9.3) para el control de muchos insectos plaga está ampliamente documentado. Quizás uno de los programas mejor conocidos es el control de langostas en África (Lomer *et al.,* 2001) y en Australia (Copping, 2001) usando *M. anisopliae* var. *acridum*. El hongo tiene dos presentaciones comerciales: Green Muscle TM y Green Guard TM (Miller y Hunter, 2001).

Figura 9.3. Hongo *Metarhizium anisopliae* infectando adultos de *Metamasius hemipterus* plaga del plátano (Foto A. Bustillo).

El desarrollo del producto "Green Muscle", se hizo después de 12 años de investigaciones, con un costo de US$ 17 millones (Shah y Pell, 2003). Este producto es recomendado por la Organización de las Naciones Unidas por la Alimentación y la Agricultura, para el control de langostas migratorias (Lomer *et al*., 2001).

M. anisopliae también se ha utilizado en Brasil para el control de salivitas o miones, *Mahanarva posticata,* en caña de azúcar (Guagliumi, 1973;

Alves, 1998). En este cultivo se asperjan anualmente unas 150.000 ha. También se ha registrado el uso comercial de este hongo para el control de termitas en Australia y Estados Unidos (Hanel y Watson, 1983).

Uno de los hechos por los cuales este hongo es bastante efectivo contra plagas del suelo se debe a la supervivencia de sus conidios en el suelo por varios años. Milner y Lutton (1976), encontraron que los conidios permanecen viables entre 250 a 560 días en el suelo a 16°C, sin embargo, la supervivencia se reduce a temperaturas por encima o por debajo de ésta, aunque no se encontraron diferencias en la supervivencia a diferentes humedades.

***Paecilomyces fumosoroseus* (Ascomycota: Hypocreales).** Este hongo es utilizado en el control de plagas de invernadero como moscas blancas, áfidos y trips (Copping, 2001; Alves *et al*., 2003). También se utiliza en el control de *Cacopsylla (=Psylla) pyricola*, plaga de la pera, en combinación con formulaciones comerciales de *B. bassiana* (Puterka, 1999).

Zigomicota

Entomophthorales

La división Zigomicota, clase Zigomicetes, orden Entomophthorales (Roy *al*., 2006), presenta cinco familias: Ancylistaceae, Copletoriaceae, Entomophtoraceae, Meristacraceae y Neozygitaceae (Keller y Petrini, 2005). Las especies entomopatógenas de artrópodos se encuentran en la familia Ancylistaceae (género *Conidiobolus*), en Entomophtoraceae con 12 géneros, y Neozygitaceae con dos géneros. En la familia Meristacraceae solo hay una especie, *Meristacrum milkoi*, y en la Neozygitaceae todos los géneros son entomopatógenos. Actualmente, se han descrito 223 especies de entomopatógenos entomophthorales, 195 especies pertenecientes a la familia Entomophtoraceae, 17 a la familia Neozygitaceae y 10 a la familia Ancylistaceae (*Conidiobulus*). De las 185 especies de entomopatógenos entomophthorales 176 atacan insectos de la mayoría de los órdenes (Keller y Wegensteiner, 2007). Los principales géneros que contienen entomopatógenos en este orden son: *Conidiobolus, Entomophaga, Erynia, Furia, Massospora, Neozygites, Pandora, Strongwellsea* y *Zoophtora* (Goettel *et al.,* 2005).

Tradicionalmente el orden Entomophtorales se clasifica por las características de sus hifas no septadas y multinucleadas y por la producción de zigosporas. Su importancia radica en su habilidad para causar grandes epizootias y reducir la población de insectos dramáticamente en un corto tiempo. Son enemigos naturales importantes y reguladores de poblaciones de insectos. Los insectos infectados por enthomophtorales generalmente mueren en lugares expuestos en la parte superior de las plantas, pegados a las paredes o a partes de la planta. Cuando la humedad relativa es baja el hongo no esporula y no se observan señales del hongo en los cadáveres. Sin embargo, cuando el hongo entra en su etapa de esporulación, debido a altas humedades relativas, el hongo empieza a esporular y descarga sus esporas.

El ciclo de vida del hongo se puede dividir en un ciclo conidial y un ciclo de esporas de reposo. Los conidios facilitan la propagación y dispersión del hongo, mientras que las esporas aseguran la supervivencia del hongo en condiciones desfavorables (Keller, 2007).

El crecimiento y la esporulación *in vitro* de especies de Entomophthorales, en medios artificiales como Sabouraud agar o papa dextrosa agar es difícil, pero algunas especies se pueden producir en forma de cuerpos hifales (Papierok, 2007). Soper *et al.* (1975), describieron una técnica para la producción masiva de esporas inactivas de *Entomophthora* usando un medio sólido preparado con Sabouraud-maltosa-agar (30 mL) y yema de huevo (100 mL). Después de 4-5 semanas de incubación a 25°C, las esporas inactivas se separan del micelio por centrifugación, se secan al aire y se almacenan a 4°C. Con este procedimiento se produce aproximadamente 1 kg de esporas inactivas.

Aunque las especies de *Entomophthora* juegan un papel muy importante en la regulación de insectos plagas, para que puedan convertirse en agentes de control, manipulados por el hombre, se requieren: mayores estudios sobre la producción de conidios en medios de cultivo, determinar el efecto de las condiciones

ambientales para el desarrollo de epizootias y determinar su inocuidad en animales, ya que éste ha sido uno de los limitantes en el desarrollo comercial de este grupo como controlador biológico.

Chytridiomycota

La pared celular de estos organismos contiene quitina, tiene zoosporas uniflagelados y gametos que forman un tallo. El género *Coelomomyces* contiene más de 70 especies entomopatógenas. Atacan principalmente dípteros (mosquitos, zancudos) y heterópteros.

Oomycota

Actualmente este Phylum no se considera dentro del grupo de los hongos, debido a que su pared celular contiene celulosa y presentan zoosporas bi-flagelas. La especie entomopatógena mejor conocida de este grupo es *Lagenidium giganteum* que ataca larvas de mosquitos.

Variabilidad genética de los hongos entomopatógenos

Debido a la complejidad en la identificación de los diferentes aislamientos de hongos, el estudio del DNA y las técnicas moleculares junto con el desarrollo de marcadores moleculares, ha sido también utilizado como una alternativa rápida y eficaz para la selección de cepas altamente virulentas y para profundizar en el conocimiento de la diversidad genética de éstas.

Los marcadores moleculares son características genéticas que se encuentran asociadas y estadísticamente correlacionadas, con un rasgo de interés. Se utilizan para el análisis del genoma de organismos vivos y permiten la evaluación de la diversidad genética de una población en estudio.

Las moléculas que pueden ser marcadores moleculares son proteínas: antígenos e isoenzimas, el RNA y el DNA a nivel de genes conocidos, fragmentos de secuencia o fragmentos con función desconocida (Caballero *et al*., 2001). El uso de estos marcadores en hongos se presenta como una alternativa ante la dificultad en su clasificación. El desarrollo de marcadores moleculares basados en ácidos nucleicos ha permitido un conocimiento más detallado de la estructura y la heterogeneidad de cada especie fúngica, así como una mayor confiabilidad en cuanto a la identificación.

La aplicación del uso de marcadores moleculares para el estudio de variabilidad genética se inició en la década de los noventa. Como un ejemplo se enumeran los estudios de determinación de la variabilidad genética intraespecífica del hongo *Beauveria bassiana* por medio de isoenzimas (St Leger *et al.,* 1992 b), RAPDs (Berreta *et al.,* 1997; Maurer *et al.,* 1997), ITS-RFLPs (Glare y Inwood, 1998; Gaitán *et al.,* 2002; Coates *et al.,* 2002a), AFLPs (Cruz *et al.* 2006) y mini satélites (Coates *et al.,* 2002b).

St. Leger *et al.* (1992 b), realizaron uno de los trabajos pioneros en la determinación de la variabilidad genética en poblaciones de 138 aislamientos de hongos de diferentes partes del mundo. Como marcadores moleculares se usaron isoenzimas. Los resultados demostraron que en la población analizada con estos marcadores la variabilidad era mínima, los autores concluyeron que la distribución global estaba dada por poblaciones clonales.

Posteriormente, con los avances en biología molecular, se comenzó el estudio ya no de las proteínas, sino del ADN de *Beauveria bassiana*, Castrillo *et al.* (1998) realizaron aislamientos de áreas geográficas muy definidas en el estado de Carolina del Norte, a partir de un insecto hospedero, y esta vez con marcadores RAPDs, encontraron que no se presentaban poblaciones clonales sino una mezcla de genotipos, que de todas maneras no diferían mucho entre sí.

Gaitán *et al.* (2002) estudiaron 95 aislamientos de *B. bassiana* de diferentes insectos hospederos, incluyendo muestras de Colombia y de varios lugares del mundo. Con el uso de marcadores moleculares RAPDs e ITSs,

se encontró que la mayoría de las cepas se ubicaban en un gran grupo principal, donde la variabilidad intraespecífica era baja, pero que no se trataba de poblaciones clonales. La causa de esta diversidad genética intraespecífica, al tener en cuenta que estas variaciones no provenían de una recombinación cromosómica, ya que este hongo no se reproduce sexualmente, podría conectarse con fenómenos de recombinación parasexual (Paccola-Meirelles y Azevedo, 1991) y de mutaciones espontáneas. Igualmente no se pudieron correlacionar genotipos de *B. bassiana* con su especificidad frente a un hospedero específico, ni agrupar las cepas por localidad. El uso combinado de diferentes técnicas moleculares es fundamental para tener una visión más detallada del genoma y de la estructura poblacional de este hongo, lo cual se ve reflejado en datos más completos que definan su diversidad.

Mezclas de hongos para el control de insectos

El uso de formulaciones de hongos entomopatógenos se ha caracterizado por la aplicación de una sola cepa. Sin embargo, esta práctica de producir y aplicar un solo aislamiento clonal seleccionado por su virulencia hacia un insecto puede resultar en una supresión corta y limitada de la plaga (Boucias *et al.,* 2000). Se cree que más de un haplotipo o clon puede ser requerido para iniciar y mantener en el campo una epizootia en una población natural de insectos heterogénea (Tigano - Milani *et al.,* 1995). La variabilidad de la cepa es el factor que permitiría al hongo adaptarse a las cambiantes condiciones medioambientales y atacar exitosamente diferentes poblaciones de insectos (Cruz *et al.,* 2006). Otra aproximación al mejoramiento de la eficiencia de los entomopatógenos puede ser el uso de mezclas de antagonistas, ya que ellos pueden ampliar el espectro de actividad de los hongos en diferentes ambientes y facilitar la combinación de varias cepas.

Con el fin de obtener una mayor eficacia de los hongos biocontroladores, se ha profundizado en el conocimiento de los mecanismos genéticos que dan a estos hongos sus características de patogenicidad y virulencia. El uso de mezclas de cepas con otros biocontroladores ya ha sido reportado en el control biológico. En Colombia, se ha reportado el uso de cocteles microbianos consistentes en mezclas de *B. bassiana*, *M. anisopliae*, *N. rileyi*, *P. fumosoroseus* y la bacteria *Bacillus thuringiensis*. La mezcla está registrada para ser usada en una gran variedad de insectos plagas como lepidópteros, coleópteros, hemípteros, dípteros y ácaros (Alves *et al.,* 2003).

Este tipo de mezclas no sólo incrementan el espectro de acción sino que también aseguran su acción bajo diferentes condiciones ambientales. Inglis *et al.* (1997), determinaron que una mezcla de *B. bassiana*, por su resistencia a bajas temperaturas, y *M. anisopliae*, por su resistencia a altas temperaturas, podría ser más efectiva para el control de saltamontes que las cepas usadas individualmente.

Ensayos con marcadores moleculares para identificar mezclas de cepas o cepas coformuladas, también han sido registrados en la literatura. Leal - Bertioli *et al.* (2000), diferenciaron molecularmente dos cepas coformuladas de *M. anisopliae* infectando *Phaedon cochleariae.* Wang *et al.* (2002), identificaron dos cepas de *Beauveria* infectando *Galleria mellonella*. En los dos experimentos bajo condiciones *in vitro* una cepa dominó sobre la otra. En condiciones naturales, sin embargo, ha sido reportada la presencia de diversidad de cepas de *Beauveria* en muestras recolectadas de epizootias, lo cual sugiriere que el desarrollo de una infección exitosa requiere de la mezcla de genotipos que difieran genéticamente (Castrillo *et al.,* 1998). Además, los trabajos de Wang *et al.* (2004) muestran que el monitoreo de la aplicación masiva de dos cepas de *B. bassiana* resultó en coinfección o recombinación genética de los dos aislamientos, sin que se presentara una dominancia de una cepa en particular.

En Colombia, Cruz *et al.* (2006) diferenciaron genéticamente 11 cepas de *Beauveria bassiana*, del cepario de hongos entomopatógenos de Cenicafé, y evaluaron en el laboratorio el efecto de las mezclas de conidios sobre la broca del café. Los resultados permitieron observar efectos sinérgicos como antagónicos, ya que al mezclar cepas similares genéticamente no se observaron diferencias respecto a la virulencia. Al mezclar cepas con virulencias superiores al 85% y diferentes genéticamente, se obtuvieron mortalidades alrededor del 57%, mientras que al mezclar cepas con virulencias inferiores al 80%, también diferentes genéticamente, se obtuvieron los mayores porcentajes de mortalidad (93%), por lo tanto, el potencial biocontrolador de esta mezcla es promisorio. Cuando el mismo experimento se realizó en cafetales infestados con broca,

igualmente, se registró el mayor porcentaje de mortalidad con la mezcla de cepas de baja virulencia (67%) (Cárdenas *et al.,* 2006).

Epizootias

Los hongos entomopatógenos son reconocidos por su habilidad de disminuir rápidamente una población de insectos a través de epizootias, y es debido a esto que han sido utilizados como controladores biológicos en estrategias de manejo integrado de plagas. Las epizootias son situaciones en las que una proporción de individuos afectados por una enfermedad, se encuentra más alta que lo que se observaría en condiciones naturales normales (Tanada y Kaya, 1993). Generalmente, en estos casos se tiene como referencia un control natural, que en el contexto de la entomología, es el control que sucede en las poblaciones de insectos sin intervención del hombre e incluye además, de la mortalidad causada por enemigos naturales, la acción de factores abióticos del medio.

Las epizootias se han registrado en poblaciones de áfidos infectadas con Entomophthorales, como *Erynia radicans* (Carruthers y Soper, 1987) y *Neozygites fresenii* (Steinkraus *et al.,* 1996). También en poblaciones de dípteros que se han encontrado infectados con *Entomophthora muscae* (Steinkraus *et al.,* 1993) y lepidópteros como *Lymantria dispar* infectados por *Entomophaga maimaga* (Hajek, 1999). Estas epizootias también pueden ocurrir en ambientes acuáticos, como las causadas por *Coelomomyces* y *Lagenidium* en mosquitos (Chapman, 1974). En Colombia, son comunes las infecciones de *Nomuraea rileyi* sobre el cogollero del maíz (*Spodoptera frugiperda*) (Figura 9.4), el defoliador de leguminosas (*Anticarsia gemmatalis*) y las causadas en cafetales por *Beauveria bassiana* sobre *Hypothenemus hampei* (Bustillo 2001, 2002b).

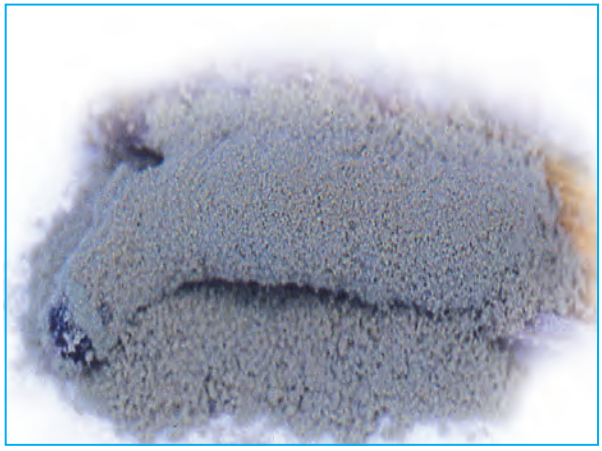


Figura 9.4. Hongo *Nomuraea rileyi* en una larva de *Spodoptera frugiperda* (Foto A. Bustillo).

Control de plagas con hongos

El control de insectos plagas en cultivos, consiste en la aplicación de entomopatógenos nativos o introducidos, con el fin de lograr una reducción de la población de insectos, de tal forma que no se alcance en el cultivo niveles de daño económico. Esta estrategia es muy similar a la de aplicación de productos fitosanitarios, tanto en sus objetivos como en su formulación y forma de aplicación. Está relacionada con el control a corto plazo.

En general, el grupo de los hongos Ascomycetos son los más utilizados para el control por inoculación inundativa, debido a que se pueden producir relativamente fácil, son de rápido crecimiento, se pueden formular y tienen una vida media superior a otros hongos. Existen varias especies que se han desarrollado comercialmente alrededor del mundo como se describió previamente.

El éxito en el uso de estos organismos radica en la selección de cepas altamente virulentas para el insecto que se desea controlar, el desarrollo de productos formulados que permitan su sobrevivencia bajo condiciones ambientales desfavorables, y que se apliquen usando la tecnología de aspersiones.

Perspectivas en el uso de hongos

El éxito de los programas de control biológico empleando entomopatógenos va a depender de la competitividad de los productos en el mercado, la eficacia de los entomopatógenos y el avance en su mejoramiento con respecto a características de virulencia y resistencia a condiciones medioambientales desfavorables. Además, se requiere concientizar a los agricultores de las ventajas del uso de hongos entomopatógenos con respecto a los efectos positivos de éstos sobre el medio ambiente al ser comparados con insecticidas químicos.

Es fundamental, para el caso de cada ecosistema y cada plaga tener un conocimiento acerca de las interacciones insecto-hongo-entomopatógenos, y solamente este conocimiento permitirá usar las cepas más virulentas, combinaciones de cepas o mezclas de diferentes hongos para lograr el control de los insectos a niveles que no ocasionen daños económicos a los agricultores. El interés en el mercado por una agricultura orgánica y el conocimiento de los daños que ocasionan el uso de insecticidas químicos al igual que los programas de manejo integrado de plagas, también abren un nuevo campo para el uso de este tipo de biocontroladores.

Literatura citada

ALVES, S. B. 1998. Fungos entomopatogênicos. *In:* Alves, S. B., (Ed.). Controle microbiano de insetos. Piracicaba: FEALQ, p. 289-381.

ALVES, S. B.; PEREIRA, R. M.; LOPES, R.; TAMAIMA, B. 2003. Use of entomopathogenic fungi in Latin America. *In*: Advances in microbial control of insect pests, Upadhyay, R. K. ed., Kluwer, New York, p. 193-211.

ARBOLEDA, J. W.; DELGADO, F.; VALENCIA A. 2003. Efecto de la toxina beauvericina sobre la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae). Manejo integrado de plagas, 68: 71-76.

ARTHURS, S.; THOMAS, M. B. 2000. Effects of a mycoinsecticide on feeding and fecundity of the brown locust, *Locustana pardalina*. Biocontrol Science and Technology, 10 (3): 321 - 329

BERBEE, M. L.; TAYLOR, J. W. 2001. Fungal molecular evolution: gene trees and geologic time. *In*: The Mycota: A comprehensive treatise on fungi as experimental systems for basic and applied research, Systematics and Evolution, Part B. McLaughlin, D. J.; McLaughlin E. G.; Lenke, P. A. (eds.), Springer Verlag, Berlin, p. 229-245.

BERRETTA, M. F.; LECUONA, R. E.; ZANDOMENI, R. O.; GRAU, O. 1997. Genotyping isolates of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* by RAPD with fluorescent labels. J. Invertebr. Pathol., 71: 145-150.

BOUCIAS, D.; PENDLAND, J. 1991. Attachment of mycopathogens to cuticle. *In:* The Fungal Spore and Disease Initiation in Plants and Animals, , G. T. Cole; H. C. Hoch, Eds. New York, Plenum Press, p. 101–127.

BOUCIAS, D., STOKES, C.; SUAZO, A.; FUNDERBURK, J. 2000. AFLP analysis of the entomopathogen *Nomuraea rileyi*. Mycologia, 92: 638-648.

BURGES, H. D. 2000 Techniques for testing microbial for control of arthropod pests in greenhouse. *In*: Lacey L.A., Kaya H. K. (eds), Field manual of techniques in invertebrate pathology: application and evaluation of pathogens for control of insects and other invertebrate pest. Kluwer Academic, Dordrecht, p. 505 – 526.

BUSTILLO, A. E. 2001. Hongos en insectos y posibilidades de uso en el control biológico de plagas en Colombia. *In*: Memorias Seminario "Uso de entomopatógenos en Colombia", p. 30 - 53, Sociedad Colombiana de Entomología, Socolen, Comité Regional de Cundinamarca, Bogotá, D. C., 12 de octubre de 2001. julio 28-30 de 1999, 60 p.

BUSTILLO, A. E. 2002a. El manejo de cafetales y su relación con el control de la broca del café en Colombia. Boletín técnico N 24. FNC - Cenicafé, Chinchiná, Colombia, 40 p.

BUSTILLO, A. E. 2002b. Los hongos entomopatógenos en el control de insectos plagas. *In*: Memorias Curso Internacional Teórico – Práctico. Sección I. Entomopatógenos de la broca del café. Cenicafé, Chinchiná, marzo 11 al 15 del 2002. p. 1 – 53.

BUSTILLO, A. E. 2004. ¿Cómo participa el hongo *Beauveria bassiana* en el manejo integrado de la broca del café?. Cenicafé. Brocarta No. 37. Enero de 2004. 4p.

BUSTILLO, A. E.; CÁRDENAS, R.; VILLALBA, D.; BENAVIDES, P.; OROZCO, J.; POSADA, F., J. 1998. Manejo integrado de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) en Colombia. FNC – Cenicafé. Editorial Feriva S. A. Cali, Colombia. 134 p.

BUTT, T. M.; COPPING, L. 2000. Fungal biological control agents. Pesticide Oulook 11, 186 – 191.

CABALLERO, J. L.; VALPUESTA, V.; MUÑOZ, J. 2001. Introducción a la biotecnología vegetal: Métodos y aplicaciones. Ed. Publicaciones Obra Social y Cultural Cajasur, Córdoba, p 165-195.

CARBALLO, M. 1998. Formulación de hongos entomopatógenos. Rev. Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica), 47: 1-4

CÁRDENAS, A. B. 2006. Evaluación de la eficacia de mezclas de cepas del hongo *Beauveria bassiana* (Bálsamo) Vuillemin para el control de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari). Tesis Agrónomo. Santa Rosa de Cabal (Colombia). 74 p.

CASTRILLO, L. A; WIEGMANN, B. M.; BROOKS, W. M. 1998. Genetic variation in *Beauveria bassiana* populations associated with the darlkling beetle, *Alphitobius diaperinus.* J. Invertebr. Pathol., 73: 269-275.

CARRUTHERS, R. I.; SOPER, R. S. 1987. Fungal diseases. *In*: Fuxa J. R; Tanada Y. (eds). Epizootiology of insect diseases. John Wiley and Sons, New York, p. 357-416.

CHAPMAN, H. C. 1974. Biological control of mosquito larvae. Annual Review of Entomology, p. 33-59.

COATES, B. S.; HELLMICH, R. L.; LEWIS, L. C. 2002 a. *Beauveria bassiana* haplotype determination based on nuclear rDNA internal transcribed spacer PCR-RFLP. Mycol. Res., 106 (1): 40-50.

COATES, B. S.; HELLMICH, R. L.; LEWIS, L. C. 2002 b. Allelic variation of a *Beauveria bassiana* (Ascomycota: Hypocreales) minisatellite is independent of host range and geographic origin. Genome, 45: 125-132.

COOPING, L. G. 2001. The biopesticide manual. British Crop Protection Council. Second Edition, 510 p.

CRUZ, L. P.; GAITÁN, A. L.; GÓNGORA, C. E. 2006. Exploiting the genetic diversity of *Beauveria bassiana* for improving the biological control of the coffee berry borer through the use of strain mixtures. Applied Microbiology and Biotechnology, 71 (6): 918-926.

DRIVER, F.; MILNER, R. J.; TRUEMAN, J. W. H. 2000. A taxonomic revision of Metarhizium based on a phylogenetic analysis of rDNA sequence data Mycological Research, 104: 134-150.

DUNPHY, G. B.; NOLAN, R. A 1982. Cellular immune response of spruce budworm larvae to *Entomophtora egressa* protoplasts and other test particles. J. Invertebr. Pathol., 39: 81-92.

EDEL, V. 1998. Use of PCR and RFLP in fungal systematics. *In*: FRISVAD, J. C.; BRIDGE, P. D.; ARORA, D. K., eds. Chemical fungal taxonomy. New York, Marcel Dekker, 398 p.

FARGUES, J.; DELMAS, J. C.; LEBRUN, R. A. 1994. Leaf consumption by larvae of the colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) infected with the entomopathogen, *Beauveria bassiana*. J. Econom. Entomol., 87 (11): 67-71.

FENG, M. G. 2003. Microbial control of insect pests with entomopathogenic fungi in China: A decade's progress in research and utilization. *In*: Upadhyay R. K. (ed). Advances in Microbial Control of Insect Pests. New York: Kluwer Academic / Plenum Publishers, p. 213-234.

FENG, M. G; POPRAWSKI, T. J; KHACHATOURIANS, G. G. 1994. Production, formulation and application of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* for insect control: current status. Biocontrol Science and Technology, 4 (1): 3-34.

FERNÁNDEZ, C.; JUNCOSA, R. 2002. Biopesticidas: ¿La agricultura del futuro? Phytoma, 141: 14 – 19.

FREIMOSER, F. M.; HU, G.; ST LEGER, R. J. 2005. Variation in gene expression patterns as the insect pathogen *Metarhizium anisopliae* adapts to different host cuticles or nutrient deprivation *in vitro*. Microbiology, 151: 361-371.

FUXA, J. R. 1987. Ecological considerations for the use of entomopathogens in IPM. Annual Review of Entomology, 32: 225-251.

GAITÁN, A.; VALDERRAMA, A.; SALDARRIAGA, G.; VÉLEZ, P.; BUSTILLO, A. E. 2002. Genetic variability of *Beauveria bassiana* associated to the coffee berry borer *Hypothenemus hampei* and other insects. Mycological Research, 106 (11): 1307-1314.

GILLESPIE, A. T.; CLAYDON, N. 1989. The use of entomogenous fungi for pest control and the role of toxins in pathogenesis, Pest Sci., 27: 203-2015.

GLARE, J. R.; INWOOD, A. I. 1998. Morpohological and genetic characterization of *Beauveria* spp., from New Zealand. Mycological Research, 102: 250-256.

GLARE, T. R.; MILNER, R. J. 1991. Ecology of entomopathogenic fungi. *In:* Handbook of applied mycology, Vol 2: Human, animals, and insects. Arora, D. K.; Ajello, L.; Mukeriji, K. G., Pugh, J. G. F., Editors. New York, Marcel Dekker, p. 547-612.

GOETTEL, M. S.; EILENBERG, J.; GLARE, T. 2005. Entomopathogenic fungi and their role in regulation of insect population. *In:* Comprehensive molecular insect science. Vol. 6. Gilbert L. I., Latrou K.,. Gill S. S, Editors. Elsevier Pergamon, p. 361-405.

GÓNGORA, C. E. 2004. Transformación de *Beauveria bassiana* cepa (Bb9112) con los genes de la proteína verde fluorescente y la proteasa pr1A de *Metarhizium anisopliae*. Revista Colombiana de Entomología, 30:15-21.

GOTZ, P. 1986. Encapsulation in arthropods. *In*: Immunity in invertebrates, ed. M. Brehelin, Berlin: Springer-Verlag, p 153-70.

GUAGLIUMI, P. 1973. Cigarrinha da raiz. *In*: GUAGLIUMI, P. (Ed.), Pragas da cana-de-açúcar. Nordeste do Brasil. Rio de Janeiro: IAA, p. 69-103. (Coleção canavieira).

HAJEK, A. E. 1999. Pathology and epizootiology of *Entomophaga maimaiga* infections in forest Lepidoptera. Microbiology and Molecular Biology Reviews, 63 (4): 814-835.

HAJEK, A. E. 2004. Fungi and microsporidia. *In*: Natural Enemies. An introduction to biological control. Chapter 12. Cambridge University press, p. 203-213.

HAJEK, A. E.; ST. LEGER, R. J. 1994. Interactions between fungal pathogens and insect hosts. Annual Review of Entomology, 39: 293-322.

HAJEK, A. E.; CARRUTHERS, R. I.; SOPER, R. S. 1990. Temperature and moisture relations of sporulation and germination by *Entomophaga maimaiga* (Zygomycetes: Entomophthoraceae), a fungal pathogen of *Lymantria dispar* (Lepidoptera: Lymantriidae). Environmental Entomology, 19 (1): 85-90.

HANEL, H.; WATSON, J. A. L. 1983. Preliminary field test on the use of *Metarhizium anisopliae* for the control of *Nasutitermes exitiosus* (Hill) (Isoptera: Termitidae). Bull. Entomol. Res., 73: 305-313.

HASEGAWA, M.; LIDA, Y.; YANO, T.; TAKAIWA, F.; IWABUCHI, M. 2005. Phylogenetic relationships among eukaryotic kingdoms inferred from ribosomal RNA sequences. Journal of Molecular Evolution, 22 (1): 32-38.

HEGEDUS, D. D.; KHACHATOURIANS, G. G. 1993. Identification of molecular variants in mitochondrial DNAs of members of the genera *Beauveria, Verticillium, Paecilomyces, Tolypocladium*, and *Metarhizium.* Appl. Environ. Microbiol., 59 (12): 4283-4288.

HIBBETT, D. S.; BINDER, M.; BISCHOFF, J. F.; BLACKWELL, M.; CANNON, D. P. F.; ERIKSSONE, O E.; HUHNDORFF, S.; JAMESG, T.; KIRKD, P. M.; LÜCKINGF, R.; LUMBSCHF, H. T.; LUTZONIG, F.; BRANDON, M. ATHENYA, P.;. MCLAUGHLINH, D. J.; POWELLI, M. J.; REDHEAD, J. S.; SCHOCHK, C. L.; SPATAFORAK, J. W.; STALPERSL, J. A.; VILGALYSG, R. 2007. Higher-level phylogenetic classification of the fungi. Mycological Research,11 (5): 509-547.

HOU, R. F.; CHANG, J. 1985. Cellular defense response to *Beauveria bassiana* in the silkworm, *Bombyx mori*. Appl. Ent. Zool., 20: 118-125.

HUXHAM, I. M.; LACKIE, A. M.; Mc CORKINDALE, N. J. 1989. Inhibitory effects of cyclodepsipeptides, destruxins, from the fungus *Metarhizium anisopliae*, on cellular immunity in insects. Journal of Insect Physiology, 35: 97-105.

INGLIS, D.; JOHNSON, D. L.; GOETTEL, M. S.1 997. Use of pathogen combinations to overcome the constraints of temperature on entomopathogenic Hyphomycetes against grasshoppers. Biological Control, 8: 143-152.

JENSEN, A. B.; GARGAS, A.; EILENBERG, J.; ROSENDAHL, S. 1998. Relationships of the insect-pathogenic order Entomophthorales (Zygomycota, Fungi) based on phylogenetic analysis of nuclear small subunit ribosomal DNA sequences (SSU rDNA) Fungal Gen. Biol., 24: 325-334.

JIMÉNEZ, J. A. 1992. Patogenicidad de diferentes aislamientos de *Beauveria bassiana* sobre la broca del café. Revista Cenicafé, 43 (3): 84-89

KALSBEEK, V.; MULLENS, B. A.; JESPERSEN, J. B. 2001. Field studies of *Entomophthora* (Zygomycetes: Entomophthorales) - induced behavioral fever in *Musca domestica* (Diptera: Muscidae) in Denmark. Biological Control, 21 (3): 264-273.

KANAOKA, M.; ISOGAI, S.; MURAKOSHI, M.; ICHINOE, M.; SUZUKI, A.; TAMURA, S. 1978. Bassianolide, a new insecticidal cyclodepsipeptide from *Beauveria bassiana* and *Verticillium lecanii*. Agric. Biol. Chem., 42: 629-635.

KELLER, S. 2007. Fungal structure and biology. *In*: Arthropod - pathogenic Entomophthorales: Biology, ecology, identification. Ed., Siefried Keller. COST Action 842 p.

KELLER, S.; WEGENSTEINER, R. 2007. Introduction. *In*: Arthropod-pathogenic Entomophthorales: Biology, ecology, identification. Editor Siefried Keller. Cost Action 842. p 1-6.

KELLER, S.; PETRINI, O. 2005. Keys to the identification of the arthropod pathogenic genera of the families Entomophthoraceae and Neozygitaceae (Zygomycetes), with descriptions of three new subfamilies and a new genus. Sydowia, 57: 23-53.

KERSHAW, M. J.; MOORHOUSE, E. R.; BATEMAN, R.; REYNOLDS, S.; CHARNLEY, A. K. 1999. The role of destruxins in the pathogenicity of *Metarhizium anisopliae* for three species of insects. **J**. Invertebr. Pathol., 74: 213-223.

LEAL-BERTIOLI, S. C. M.; BUTT T. M.; PEBERDY, J. F.; BERTIOLLI, D. J. 2000. Genetic exchange in *Metarhizium anisopliae* strains co-infecting *Phaedon cochleariae* is revealed by molecular markers. Mycol. Res.,104: 409 - 414

LOMER, C. J.; BATEMAN, R. P.; JOHNSON, D. L.; LANGEWALD, J.;THOMAS, M. B. 2001. Biological control of locusts and grasshoppers. Annu. Rev. Entomol., 46: 667–702

MAURER, P.; COUTEAUDIER, P.; GIRARD, A.; BRIDGE, P. D.; RIBA, G. 1997. Genetic diversity of *Beauveria bassiana* and relatedness to host insect range. Mycological Research, 101:159-164.

McCOY, C. W.; SAMSON, R. A.; BOUCIAS, D. G. 1988. Entomogenous fungi, *In*: CRC Handbook of natural pesticides. Vol. 5 Microbial insecticides. Part A: Entomogenous Protozoa and Fungi, C. Ignoffo; N. B. Mandava (eds.), CRC Press, Boca Raton, CRC, p. 151-236.

MILNER, R. J. 1997. Prospect for biopesticides for aphid control. Entomophaga, 42: 227 – 239

MILNER, R. J.; HUNTER, D. M. 2001. Recent developments in the use of fungi as biopesticides against locusts and grasshoppers in Australia. Journal of Orthoptera Research, 10 (2): 271-276.

MILNER, R. J.; LUTTON, G. G. 1976. *Metarhizium anisopliae*: survival of conidia in the soil, in Proceedings of the 6th International Colloquium of Invertebrate Pathology. p 428-429.

MOLLER, A. P. 1993. A fungus infecting domestic flies manipulates sexual behaviour of its host. Behavioral Ecology and Sociobiology, 33 (6): 403-407.

MOORE, D.; REED, M. L. E.; PATOUREL, G.; ABRAHAM, Y. J.; PRIOR, C. 1992. Reduction of feeding by the desert locust, *Schistocerca gregaria*, after infection with *Metarhizium flavoviride*. J. Invertebr. Pathol., 60 (3): 304-307.

MOORE, D.; PRIOR, C. 1988. Present status of biological control of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei*. Proc. Brighton Crop Protection Conference, Pests and Diseases, 3: 1119-1124.

MULLENS, B. A.; RODRIGUEZ, J. L. 1985. Dynamics of *Entomophthora muscae* (Entomophthorales: Entomophthoraceae) conidial discharge from *Musca domestica* (Diptera: Muscidae) cadavers. Environmental Entomology, 14 (33): 317-322.

NOYD, R. K. 2000. Mycology reference cards. St. Paul, Mn: The American Phytopathological Society. APS Press.

PACCOLA-MEIRELLES, L. D.; AZEVEDO, J. L. 1991. Parasexuality in *Beauveria bassiana.* **J**. Invertebr. Pathol., 57: (2): 172-176.

PAPIEROK, B. 2007. Isolating growing and storing arthropod - pathogenic Entomophthorales. *In:* Arthropod-pathogenic Entomophthorales: Biology, Ecology, Identification. Ed., Siefried Keller. COST Action, 842 p.

PEREIRA, R. M.; STIMAC, J. L.; ALVES, S. B. 1993. Soil antagonism affecting the dose - response of workers of the red imported fire ant, *Solenopsis invicta* to *Beauveria bassiana* conidia. J. Invertebr. Pathol., 61 (2): 156-161.

PUTERKA, G. J. 1999. Fungal pathogens for arthropod pest control in orchard systems: mycoinsecticidal approach for pear psylla control. Biocontrol 44: (2): 183-209.

REHNER, S. A.; POSADA, F. J.; BUCKLEY E. P.; INFANTE, F.; CASTILLO A.; VEGA, F. E. 2006. Phylogenetic origins of African and Neotropical *Beauveria bassiana* s.l. pathogens of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei***.** J. Invertebr. Pathol., 93 (1): 11-21.

ROBERTS, D. W. 1969. Toxins from the entomogenous fungus *Metarhizium anisoplaie*: Isolation from submerged cultures. J. Invertebr. Pathol., 14 82–88.

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.

ROSSET, P.; MOORE, M. 1998. La seguridad alimentaria y la producción local de biopesticidas en Cuba. Boletín del ILEIA, Junio, p. 18-19.

ROY, H. E.; STEINKRAUS, D. C.; EILENBERG, J.; HAJEK, A. E.; PELL, J. K. 2006. Bizarre interactions and endgames: Entomopathogenic fungi and their arthropod hosts. Annual Review of Entomology, 51: 331-357.

SHAH, P. A.; GOETTEL, M. S. 1999. Directory of microbial control products and services. Society for Invertebrate Pathology, Gainesville, Florida. 23 p.

SHAH, P. A.; PELL, J. K. 2003. Entomopathogenic fungi as biological control agents. Appl. Microbiol. Biotechnol., 61: 413 – 423.

SHAPIRO-ILAN, D. I.; FUXA, J. R.; LACEY, L. A.; ONSTAD, D. W.; KAYA, H. K. 2005. Definitions of pathogenicity and virulence in invertebrate pathology. J. Invertebr. Pathol., 88 (1): 1-7.

SMITH, R. J.; GRULA, E. A. 1981. Nutritional requirements for conidia germination and hiphal growth of *Beauveria bassiana*. J. Invertebr. Pathol., 37: 222 - 230.

SOPER, R. S.; HOLBROOK, F. R.; MAJCHROWICZ,Y.; GORDON, C. C. 1975. Production of *Entomophthora* resting spores for biological control of aphids. Life Sci. Agric. Exp. Stn., Tech. Bull. Univ. Maine, 76, p. 1-15.

STEINHAUS, E. 1975. Enfermedades microbianas de los insectos. *In*: P. De Bach, editor, Control biológico de las plagas de insectos y malas hierbas. México: Compañía Editorial Continental, p. 607-645.

STEINKRAUS, D. C.; HOLLINGSWORTH, R. G.; BOYS, G. 0. 1996. Aerial spores of *Neozygites fresenii* (Entomophthorales: Neozygitaceae): density, periodicity, and potential role in cotton aphid (Homoptera: Aphididae) epizootics. Environ. Entomol., 25: 48-57.

STEINKRAUS, D. C.; GEDEN, C. J; RUTZ, D. A. 1993. Prevalence of *Entomophthora muscae* (Cohn) Fresenius (Zygomycetes: Entomophthoraceae) in house flies (Diptera: Muscidae) on dairy farms in New York and induction of epizootics. Biol Control, 3: 93-100.

ST. LEGER, R. J. 1991. Integument as a barrier to microbial infection. *In*: The physiology of insect epidermis. Eds., A. Retnakaran, K Binnington. Australia CSIRO, p. 286-308.

ST. LEGER, R. J.; FRANK, D. C.; ROBERTS, D. W.; STAPLES, R. C. 1992. Molecular cloning and regulatory analysis of the cuticle-degrading protease structural gene from the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae*. Eur. J. Biochem., 204: 991-1001.

ST. LEGER, R. J.; ALLEE, L. L.; MAY, B.; STAPLES, R. C.; ROBERTS, D. W. 1992 b. World-wide distribution of genetic variation among isolates of *Beauveria* spp. Mycological research, 96: 1007-1015.

ST. LEGER, R. J.; JOSHI, L.; BIDOCHKA, M. J.; ROBERTS, D. W. 1996. Construction of an improved mycoinsecticide overexpressing a toxic protease. Proc. National Acad. of Science, 93: 6349-6354.

TANADA, Y.; KAYA, H. K. 1993. Fungal infection. *In:* Insect pathology, chapter 10, Eds. Y. Tanada y H. K. Kaya. Academic press, p. 318-366.

TIGANO-MILANI, M. S.; HONEYCUTT, R. J.; LACEY, L. A.; ASSIS, R.; Mc LELLAND, M.; SOBRAL, B. W. S. 1995. Genetic variability of *Paecilomyces fumosoroseus* isolates revealed by molecular markers. J. Invertebr. Pathol., 65: 274-282.

VIAUD, M.; COUTEAUDIER, Y.; LEVIS, C.; RIBA, G. 1996. Genome organization in *Beauveria bassiana*: Electrophoretic karyotype, gene mapping, and telomeric fingerprint. Fungal Genetics and Biology, 20: (3): 175-183.

VÉLEZ, P.; BENAVIDES G., M. 1990. Registro e identificación de *Beauveria bassiana* en Ancuya, Nariño, Colombia. Revista Cenicafé, 41: 50-57.

VÉLEZ, P. A.; 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. Cenicafé, Chinchiná, Colombia. Boletín Técnico No. 17, 37p.

WANG, C. S.; LI, Z.; BUTT, T. M. 2002. Molecular studies of co-formulated strains of the entomopathogenic fungus, *Beauveria bassiana.* J. Invertebr. Pathol., 80: 29-34.

WANG, C. S.; FAN, M.; LI, Z.; BUTT, T. M. 2004. Molecular monitoring and evaluation of the application of the insect-pathogenic fungus *Beauveria bassiana* in southeast China. J. Appl. Microbiol., 96: 861-870.

WANG, C.; ST LEGER, R. J. 2006 A collagenous protective coat enables *Metarhizium anisopliae* to evade insect immune responses Proc. Natl. Acad. Sci., 103: 6647-6652

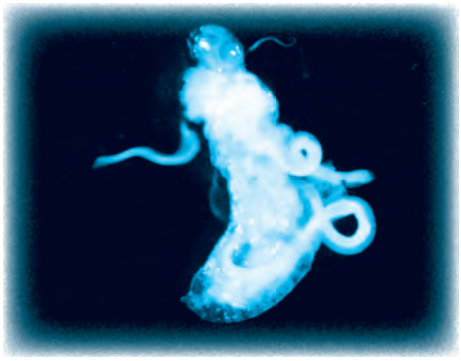
WATSON, D. W.; MULLENS, B. A.; PETERSEN, J. J. 1993. Behavioral fever response of *Musca domestica* (Diptera: Muscidae) to infection by *Entomophthora muscae* (Zygomycetes: Entomophthorales). J. Invertebr. Pathol., 61:10-16.

WHITE, T. J.; BRUNS, T.; TAYLOR, J. 1990. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. *In*: Innis, M. A., Gelfand, D. H.; Sninsky, J. J.; White, T. J. eds. PCR protocols: A guide to methods and applications. San Diego, Academic Press. p. 315-322.

WRAIGHT, S. P.; JACKSON, M. A.; LOCK, S. L. 2001. Production, stabilization and formulation of fungal biocontrol agents. *In*: Butt, T. M.; Jackson, C.; Magan, N. (eds.), Fungi as biological control agents: Progress, Problems and Potential. CABI Publishing.Wallingford, p. 253-287

WOESE, C. R.; KANDLER, O. Y.; WHEELIS, M. L. 1990. Towards a natural system of organisms: Proposal for the domains Archaea, Bacteria and Eucarya. Proc. Nat. Academy of Sciences, 8: 4576-4579.

ZARE, R.; GAMS, W.; CULHAM, A. 2000. A revision of Verticillium sect. Prostrata I. Phylogenetic studies using ITS sequences. Nova Hedwigia, 71: 465-480.



CAPÍTULO 10

Nematodos para el control de insectos plagas

Juan Carlos López Núñez

El uso de organismos patógenos de insectos como bacterias, virus, hongos y nematodos, en la lucha contra insectos plagas y transmisores de enfermedades, ha recibido considerable atención desde la década de los cuarenta. Fenómenos como la marcada resistencia a los insecticidas, el impacto de los agroquímicos sobre el ambiente, la fauna benéfica y la salud humana, entre otros, han logrado la concientización en ámbitos tanto populares, científicos y comerciales, sobre la urgente necesidad de buscar nuevas alternativas en el control de insectos perjudiciales.

La atención sobre los nematodos parásitos de insectos se ha incrementado en las dos últimas décadas, ya que resultados de miles de investigaciones en el mundo, los presentan como agentes promisorios para el control de insectos, moluscos, nematodos de plantas y algunos patógenos de plantas que se encuentran en el suelo. Adicionalmente, los estudios han demostrado que estos organismos poseen características como: gran capacidad de adaptación a nuevos ambientes y a condiciones adversas, resistencia a productos químicos, alta especificidad por insectos, inocuidad al medio ambiente y mamíferos y compatibilidad con otros entomopatógenos, las cuales resaltan su importancia en programas de manejo integrado de plagas. Todo lo anterior, ha llevado a que el uso de estos nematodos se haya desarrollado como una disciplina de la patología de insectos conocida como Entomonematología.

Los ejemplos prácticos del uso de nematodos para el control de insectos que alguna vez se consideraban imposibles de controlar, principalmente en Europa, Estados Unidos, Japón, China y Australia, unido a los desarrollos de métodos de producción masiva y la excepción de requerimientos para registro, han sido las principales razones por las que se ha incrementado su importancia como agentes de control biológico e interés en el campo comercial.

Generalidades

Después del Phylum Artropoda, el Nematoda (= Nemata) es uno de los más diversos y versátiles del Reino Animal, con un número estimado de más de 100.000 especies (Coomans, 2000; De Ley, 2000). Se les conoce como "gusanos" y si bien, su morfología parece simple, han logrado colonizar los medios más diversos y variados como tundras, desiertos, ambientes marinos y de agua dulce, o aguas termales y aguas congeladas (Stock, 1998). La distribución de este Phylum en la cadena trófica es amplia, se incluyen nematodos comedores de bacterias, algas, hongos, materia en descomposición, parásitos de plantas, invertebrados, vertebrados e insectos (Blaxter *et al.,* 1998). Erróneamente se les considera animales dañinos que atacan al hombre, animales y plantas, y que provocan, según el caso, enfermedades parasitarias severas o causan pérdidas de rendimiento en cultivos. Sin embargo, los nematodos que parasitan insectos por sus características bioecológicas, se constituyen en alternativas interesantes para el control de plagas.

Asociaciones insecto – nematodos

Registros recientes de fósiles preservados en ámbar, de hace 30 a 185 millones de años aproximadamente, evidencian asociaciones parasíticas entre hormigas y moscas con nematodos parásitos de invertebrados (mermitidos) (Poinar *et al.,* 2006; Poinar y Buckley, 2006). No obstante, algunos van más allá y ubican estas asociaciones desde el período Cambriano (Taylor, 1935). Según Poinar, citado por Stock y Hunt (2005), el parasitismo en invertebrados se presentó en cuatro grupos principales de nematodos, de los cuales el grupo más primitivo (Rhabditida) dio lugar a los miembros de Oxyurida (~420 millones de años), al igual que los steinernematidos y heterorhabditidos (~475 millones de años). Además, se especula que las similitudes morfológicas y de ciclo de vida, fueron el resultado de evolución convergente.

Actualmente, más de 30 familias de nematodos, se registran con algún grado de asociación a insectos (Kaya *et al.,* 1993; Tanada y Kaya, 1993; Stock y Hunt, 2005), y estas asociaciones van desde relaciones "casuales" (por ejemplo: forética, comensal), hasta parasíticas ya sea facultativa u obligada. De acuerdo con su relación, los nematodos son nombrados de igual manera como: nematodos entomófilos (NEF) (algunas veces llamados entomonematodos), nematodos entomoparásitos o parásitos de invertebrados (PI), y nematodos entomopatógenos (NEP). Su acción sobre insectos es diversa; algunos tienen poco o ningún efecto en sus anfitriones, otros reducen la fecundidad, longevidad y actividad de vuelo, mientras que otros causan esterilidad y retrasan el desarrollo. Además, pueden ocasionar aberraciones morfológicas, fisiológicas y de comportamiento, aparición de íntersexos y/o la muerte. Finalmente, la última relación que guardan los nematodos sobre los cuales se hace énfasis en este capítulo, es en la que el nematodo debe matar al insecto para asegurar su sobrevivencia (Gordon y Webster, 1974; Kaya *et al.,* 1993; Tanada y Kaya, 1993).

Al tener en cuenta el reciente esquema de clasificación, de acuerdo con la evolución del parasitismo en invertebrados de De Ley y Blaxter (2002), se consideran promisorias ocho familias para el control biológico de insectos.

A la Clase Enoplea, Inglis 1983, (orden Mermithida Hyman, 1951), pertenecen las familias Tetradonematidae Cobb, 1919, y Mermithidae Braun, 1883 (PI), cuyas especies son parásitos obligados de artrópodos terrestres y acuáticos. Estos nematodos parasitan insectos de los órdenes Dermaptera, Lepidoptera, Orthoptera, Diptera, Hemiptera, Coleoptera e Hymenoptera (Waerebeke y Remillet, 1973; Peloquin y Platzer, 1993; Platzer, *et al*., 2005). Uno de los ejemplos más conocidos es *Romanomermis culicivorax* (= *Reesimermis nielseni*) para el control de culícidos. Investigaciones realizadas durante la década de los setenta, contribuyeron al conocimiento sobre la biología, ecología y etología, lo que en su momento fue de gran importancia para el control de larvas de mosquitos (Kaya *et al*., 1993; Smits, 1997). Sin embargo, dificultades para su producción masiva y su variable eficacia en el campo, disminuyeron el interés en su uso. A finales de la década de los ochenta y comienzos de los noventa, la especie *Agamermis unka,* se incorporó como agente de control para una de las mayores plagas del cultivo de arroz en Asia, *Nilaparvata lugens* (Stal) (Delphacidae) (Choo y Kaya, 1993). En Colombia y Venezuela se registró la especie *Hexamermis dactylocercus*, afectando naturalmente ninfas del "salivazo o mión de los pastos", *Aenolamia varia* (Fab.) (Cercopidae), insecto que afecta cultivos como pasto, arroz, maíz, caña de azúcar y sorgo, entre otros (ICA, 1980; Poinar y Linares, 1985). Para moluscos del género *Veronicella* sp., causante del anillado del tallo del cafeto, se registró en Colombia el parasitismo natural por una especie no descrita de *Hexamermis* (Posada *et al*., 2001).

Las otras seis familias, se agrupan en la clase Chromadorea (orden Rhabditida Chitwood, 1933), éstas son:

Allantonematidae Pereira, 1931 (NEF). Las especies de esta familia se registran parasitando principalmente insectos de los órdenes Coleoptera, Diptera y Thysanoptera (Beeding, 1993; Hominick y Collins, 1997; Zeng *et al*., 2007). Especies de *Thripinema,* se han estudiado recientemente como importantes controladores de insectos de los géneros *Thrips* y *Frankliniella*, principalmente en cultivos de flores en invernadero y en el campo. *T. niclewoodi* ha sido la principal especie estudiada como enemigo natural de *Frankliniella occidentalis,* con altos niveles de parasitismo en el campo, sin embargo su efecto en la dinámica de la población del insecto en el campo no ha sido estudiada de manera adecuada (Funderburk y Latsha, 2005).

Neotylenchidae Thorne, 1941 (NEF). Las especies de esta familia parasitan insectos del orden Hymenoptera. Uno de los más importantes ejemplos de control implementado desde el inicio de la década de los setenta, se tiene con el nematodo *Beddingia* (= *Deladenus) siricidicola*, que es reconocido como el principal y exitoso agente de control de *Sirex noctilio* (Hymenoptera: Siricidae), una de las mayores plagas de *Pinus radiata, P. taeda, P. elliottii* y *P. patula*, en Australia, Europa y en Sur América (Bedding, 1993; Hominick y Collins, 1997; Bedding y Lede, 2005). Sin embargo, la dificultad para realizar monitoreos con el fin de evaluar la acción del parásito por el largo ciclo de vida de la plaga (Tanada y Kaya, 1993), la pérdida de infectividad por su dificultad de mantenerlo en el laboratorio y el cambio de la cepa del nematodo que se utiliza para las aplicaciones en el campo, son algunas de las condiciones que limitan su acción (Bedding y Lede, 2005). Junto a estas familias, y de acuerdo con la clasificación propuesta por Siddiqui (2000), se relaciona de la familia **Sphaerularidae Lubbock, 1861 (PI)**, a la especie *Sphaerularia bombi*, parasitando principalmente insectos de los órdenes Hymenoptera e Isoptera.

Aphelenchidae Fuchs, 1937 (NEF). Aunque las especies de esta familia se han estudiado principalmente como controladores biológicos de hongos fitoparásitos, se reconocen las especies *Acugutturus parasiticus* y *Noctuidonema guyanense* como ectoparásitos de cucarachas (Blattidae) y de algunos lepidópteros de la familia Noctuidae, respectivamente (Rogers *et al.,* 1993).

Las especies de la familia **Steinernematidae Travassos, 1927 (NEP),** se han encontrado parasitando insectos de los órdenes Diptera, Lepidoptera, Coleoptera, Hymenoptera y Orthoptera. La familia **Heterorhabditidae Poinar 1975 (NEP)**, cuyas especies parasitan principalmente insectos de los órdenes Lepidoptera y Coleoptera (Kard *et al.,* 1988; Peters, 1996; Stock, 1998), actualmente tienen el mayor interés en el control de insectos plaga, debido a que su multiplicación y dispersión no se limita por la relación dependiente entre nematodo-insecto, como sí ocurre con especies de otras familias (Lacey *et al*., 2001). En Colombia, en el Centro Nacional de Investigaciones de Café-Cenicafé se han realizado investigaciones orientadas a evaluar el uso potencial de especies de estas dos familias sobre la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari). Así mismo, Cenicafé en asocio con otros Centros de Investigación y Universidades del país, han desarrollado estudios sobre insectos plaga de importancia económica en otros cultivos agrícolas (López 2002, 2005).

En términos generales y con base en el tiempo transcurrido desde la infección por la mínima unidad infectiva y el establecimiento del nematodo en su anfitrión hasta su muerte, en la Figura 10.1 se presenta el ciclo de

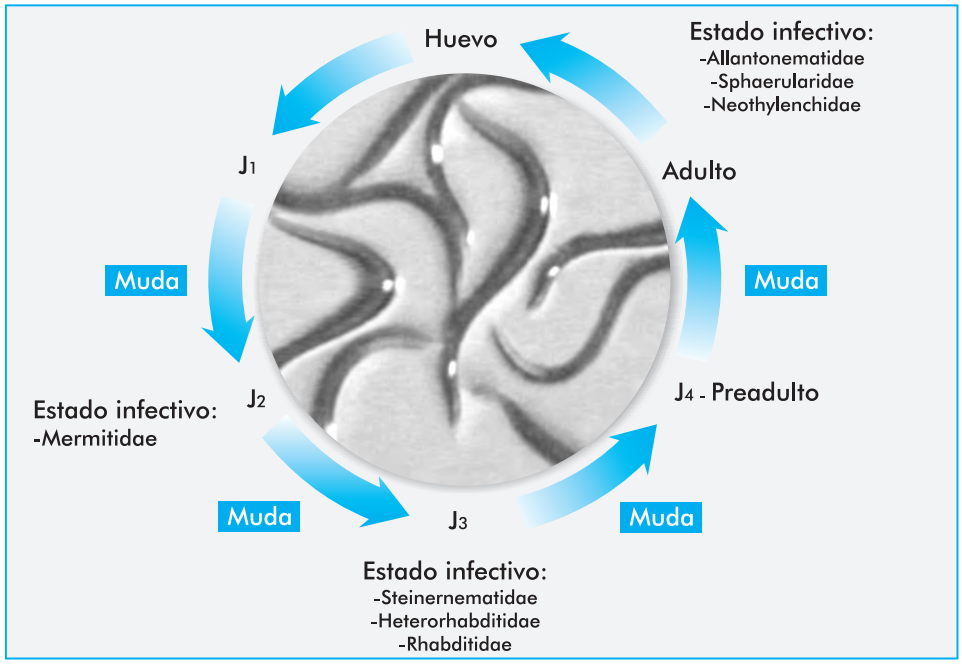


Figura 10.1. Ciclo de vida general y estados infectivos de las familias de nematodos con potencial para el control de insectos.

vida general de las familias promisorias en el control biológico de insectos, se distinguen principalmente dos tipos de situaciones: en un caso, la muerte sobreviene a las pocas horas de padecida la infección (Ejemplo: NEP), en el otro caso el insecto muere después que el nematodo lo abandona. Esto ocurre luego de cumplir su fase parasítica al interior del huésped (Ejemplo: PI y algunos NEF).

El potencial de los nematodos como biocontroladores, no se restringe solamente a insectos. En los últimos años, un parásito de invertebrados (PI) de la familia Rhabditidae Örley, 1880 (*Phasmarhabditis hermafrodita* (Schneider)), se utilizó para desarrollar un molusquicida, que ha tenido éxito comercial para el control de babosas y caracoles (Wilson *et al.,* 1993; Hass *et al*., 1999 a, b; Charwat *et al*., 2000; Grewal *et al*., 2001). Recientemente dentro de la familia Rhabditidae se ha registrado el nuevo género *Heterorhabditidoides*, cuya única especie *H. chongmingensis*, aislada de muestras de suelo, ha sido ubicada dentro del grupo de los NEP (Zhang *et al.,* 2008). Otras especies de las familias Diplogasteridae Micoletzky, 1922, Mononchidae Chitwood, 1937, y Nygolaimidae Thorne, 1935, en general nematodos predadores, fungívoros y bacterióvoros, como *Aphelenchus avenae* Bastian, y especies de los géneros *Butlerius* y *Fictor*, se han estudiado como controladores biológicos de nematodos parásitos de plantas y algunos hongos fitopatógenos (Grewal *et al*., 1997; Lootsma y Scholte, 1997; Bilgrami y Brey, 2005).

Familias Steinernematidae y Heterorhabditidae

Estudios moleculares de la región ribosomal 18S del ADN, en donde los arreglos filogenéticos demuestran la independencia de orígenes para estas dos familias, soportan las hipótesis hechas por Poinar en cuanto a su origen evolutivo (Blaxter *et al*., 1998). Las especies de estas dos familias son altamente virulentas sobre insectos considerados plaga (más de 200 especies) en diferentes cultivos, no representan riesgo alguno para la salud humana, medio ambiente o plantas, y por ser el suelo su hábitat natural, presentan ventajas de adaptación sobre otros nematodos parásitos de insectos. Adicionalmente, los novedosos avances, durante los últimos 15 años, en los sistemas de producción masiva aseguran el suministro de estos agentes de control (Poinar, 1990; Capinera y Epsky, 1992, Ehlers y Shapiro-Ilan, 2005). Algunos ejemplos exitosos de aplicaciones de especies de estos nematodos para el control de insectos en el campo e invernadero se resumen en la Tabla 10.1.

Tabla 10.1. Ejemplos de la aplicación de especies de *Steinernema* y *Heterorhabditis* sobre insectos.

Insecto	Orden	Nematodo	Referencia
Anomala orientalis	Coleoptera	*H. bacteriophora, S. scarabaei, Heterorhabditis sp., S. glaseri, S. carpocapsae, S. longicaudum*	Lee *et al*., 2002; Koppenhöfer y Fuzy, 2003a; Koppenhöfer y Fuzy, 2003b
Cyclocephala borealis	Coleoptera	*H. bacteriophora, H. zealandica S. kraussei, S. scarabaei*	Koppenhöfer y Fuzy, 2003ª; Grewal *et al*., 2004
Phyllopertha horticola	Coleoptera	*H. bacteriophora*	Sulistyanto y Ehlers, 1996
Phyllophaga spp. (*anxia, fusca, comes*)	Coleoptera	*H. bacteriophora, S. carpocapsae*	Kard *et al*., 1988
Popillia japonica	Coleoptera	*H. bacteriophora, H. zealandica, S. glaseri, S. carpocapsae, S. kushidai, S. scarabaei, S. arenarium*	Georgis y Gaugler, 1991; Alm *et al.,* 1992; Selvan *et al*., 1994 ; Koppenhöfer *et al.,* 2000 ; Koppenhöfer y Fuzy, 2003ª; Grewal *et al*., 2004

Rhizotrogus majalis	Coleoptera	*H. bacteriophora, S. scarabaei*	Cappaert y Koppenhöfer, 2003
Otiorhynchus sulcatus	Coleoptera	*H. megidis, H. bacteriophora, S. feltiae, S. carpocapsae*	Georgis y Poinar, 1984; Lola-Luz *et al*., 2005; Kakouli *et al*., 1997; Beeding y Miller, 1981
Bradysia spp.	Diptera	*S. carpocapsae, S. feltiae*	Harris *et al*., 1995; Jagdale *et al*., 2004 ; Kim *et al*., 2004
Liriomyza spp.	Diptera	*S. feltiae*	Williams y MacDonald, 1995
Scatella stagnalis	Diptera	*S. arenarium, S. feltiae*	Morton y García del Pino, 2007
Frankliniella occidentalis	Thysanoptera	*S. feltiae, S. abassi, S.bicornutum, S. arenarium, S. feltiae, Heterorhabditis sp, H. indica*	Ebbsa et al., 2001 a; 2001 b; 2004
Scolytus scolytus	Coleoptera	*S. carpocapsae*	Finney y Walter, 1979
Altica quercetorum	Coleoptera	*S. feltiae, H. bacteriophora*	Tomalak, 2004
Xanthogalerurca luteola	Coleoptera	*S. carpocapsae*	Kaya *et al*., 1981
Holocerus insularis	Lepidoptera	*S. feltiae*	Qin *et al.,* 1988
Macronoctua onusta	Lepidoptera	*H. bacteriophora, S. carpocapsae*	Gill y Raupp, 1997
Paranthrene robiniae	Lepidoptera	*S. carpocapsae*	Kaya y Lindergren, 1983
Podosecia aureocincta	Lepidoptera	*S. carpocapsae, S. feltiae, S. glaserie*	Smith-Fiola *et al*., 1996.
Synanthedon spp. (culiciformis, exitosa, resplendens, scitula)	Lepidoptera	*S. feltiae, S. carpocapsae*	Kaya y Brown, 1986; Gill *et al*., 1992; Davidson *et al*., 1992; Gill *et al*., 1992
Choristoneura occidentalis	Lepidoptera	*S. carpocapsae*	Kaya y Reardon, 1982; Kaya *et al*., 1981
Cephalacia lariciphila	Hymenoptera	*S. feltiae*	Georgis y Hague, 1988
Diaprepes abbreviatus	Coleoptera	*H. bacteriophora, S. carpocapsae, S. riobrave*	Downing *et al*., 1991, Duncan *et al*., 1996, McCoy *et al*., 2000; 2002
Cosmopolites sordidus	Coleoptera	*S. carpocapsae*	Treverow *et al*., 1991

Posición taxonómica y ciclo de vida

Las familias Steinernematidae y Heterorhabditidae, pertenecen al Orden Rhabditida, Clase Secernentea. La familia Steinernematidae Chitwood y Chitwood, 1937, está conformada por dos géneros: *Steinernema* Travassos, 1927, y *Neosteinernema* Nguyen y Smart, 1994 (Tanada y Kaya, 1993; Kaya y Stock, 1997; Stock y Hunt, 2005). Las especies descritas para cada género se relacionan en las Tablas 10.2 y 10.3, donde se incluye la primera y la nueva especie aislada y descrita para Colombia *Steinernema colombiense* (López *et al*., 2008). La Familia Heterorhabditidae consta de un género: *Heterorhabditis* Poinar 1976.

En Colombia, la información sobre la presencia de especies nativas de *Steinernema* es escasa. En 1998, la especie *Steinernema feltiae* Filipjev, 1934 cepa Villapinzón, se reportó aislada de muestras de suelo de la Sabana de Bogotá (Sáenz, 1998). En otros estudios, diferentes especies de *Steinernema* se registraron aisladas en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá (Parada, 2006) y recientemente, se reportó en el

Valle del Cauca a *S. kraussei* Steiner, 1923 (CIAT 2003; Melo *et al*, 2004; Melo *et al*, 2006). Sin embargo, para identificar completa y correctamente estas especies se requiere de exámenes taxonómicos más detallados. Resultados de trabajos recientes realizados por la Federación Nacional de Cafeteros en cabeza de Cenicafé, han mostrado evidencia de la diversidad de estas especies en la zona cafetera central y su uso potencial en programas de control biológico de insectos plaga en la agricultura colombiana (López *et al*., 2008). En cuanto al género *Heterorhabditis*, solamente se tienen dos registros de *H. bacteriophora* Poinar, 1976, nativos; uno en el Valle del Cauca asociado con la "chinche de la yuca", *Cyrtomenus bergi* (Hemiptera: Cydnidae) (Caicedo y Bellotti, 1996), y otro aislado de suelo cultivado con café en Fresno, Tolima[1]. En el mismo estudio de biodiversidad de steinernematidos y heterorhabditidos en zona cafetera, se reportó el hallazgo de dos nuevas especies de *Heterorhabditis* para la ciencia (López *et al*., 2007). En el resto de países Suramericanos son muy pocos los trabajos realizados enfocados en estudiar la diversidad de estos NEP (Stock, 1995; Aguilera, 2002; Leite *et al*., 2005).

Tabla 10.2. Resumen taxonómico de la familia Steinernematidae. Chitwood y Shitwood, 1937 Syn, Neoaplectanidae Sobolev, 1953 (modificado y actualizado de Stock y Hunt 2005).

Taxa	Continente (País de aislamiento)
Género tipo: Steinernema Travassos, 1927	
Especie tipo: *Steinernema kraussei* (Steiner, 1923) Travassos, 1927	Europa (Alemania), Norte América
Otras especies:	
S. abbasi Elawad, Ahmad and Reid, 1997	Asia (Omán)
S. aciari Qiu, Yan, Zhou, Nguyen y Pang. 2005	Asia – China
S. affine (=*affinis*) (Bovien, 1937) Wouts, Mráček, Gerdin y Bedding, 1982	Europa (Dinamarca)
S. akhursti Qiu, Hu, Zhou, Mei, Nguyen y Pang, 2005	Asia (China)
S. anatoliense Hazir, Stock y Keskin, 2003	Asia (Turquía)
S. apuliae Triggiani, Mráček, y Reid, 2004	Europa (Italia)
S. arenarium (= *anomalae* = *anomali*) (Artyukhovsky, 1967) Wouts, Mráček, Gerdin y Bedding, 1982	Asia (Rusia Central)
S. ashiuense Phan, Takemoto y Futai, 2006	Asia (Japón)
S. asiaticum Anis, Shahina, Reid y Rowe 2002	Asia (Pakistán)
S. backanense Phan, Spiridonov, Subbotin y Moens, 2006	Asia (Vietnam)
S.beddingi Qiu, Hu, Zhou, Pang y Nguyen, 2005	Asia (China)
S. bicornutum Tallosi, Peters y Ehlers, 1995	Europa (Yugoslavia)
S. carpocapsae (Weiser, 1955) Wouts, Mráček, Gerdin y Bedding, 1982	Asia, Europa (Checoslovaquia), Norte América, Sur América
S. caudatum Xu, Wang y Li, 1991	Asia (China)
S. ceratophorum Jian, Reid y Hunt, 1997	Asia (China)
S. colombiense López, Plichta, Góngora y Stock, 2008.	Sur América (Colombia)
S. costaricense Uribe, Mora y Stock, 2007	Centro América (Costa Rica)
S. cubanum (= *cubana*) Mráček, Hernández y Boemare, 1994	Centro América - Caribe (Cuba)
S. cumgarense Phan, Spiridonov, Subbotin y Moens, 2006	Asia (Vietnam)

...Continúa

[1] LÓPEZ N., J.C. 2007. Informe Anual de Actividades. Disciplina de Entomología. Centro Nacional de Investigaciones de Café. Cenicafé. Chinchiná, Caldas (Colombia).

Continuación...

S. cholashanense Nguyen, Půža y Mráček, 2007	Asia (China)
S. diaprepesi Nguyen y Duncan, 2002	Norte América (USA)
S. feltiae (Filipjev, 1934) Wouts, Mráček, Gerdin y Bedding, 1982	Norte América (USA), Europa (Dinamarca), Norte América, Sur América
S. glaseri (Steiner, 1929) Wouts, Mráček, Gerdin y Bedding, 1982	Asia, Europa, Norte América (USA), Sur América
S. guandongense Qiu, Fang, Zhou, Pang y Nguyen, 2004	Asia - China
S. hebeiense Chen, Li, Yan, Spiridonov y Moens, 2006	Asia (China)
S. hermaprhoditum Stock, Griffin y Chaenari, 2004	Asia (Indonesia)
S. ichnusae Tarasco, Mráček, Nguyen y Triggiani, In press	Europa (Italia)
S. intermedium (=*intermedia*) (Poinar, 1985) Mamiya, 1988	Norte América (USA), Europa
S. jollietti Spiridonov, Krasomil-Osterfeld y Moens, 2004	Norte América (USA)
S. karii Waturu, Hunt y Reid, 1997	África (Kenia)
S. khoisanae Nguyen , Malan y Gozel, 2006	Africa (Sur África)
S. kushidai Mamiya, 1988	Asia (Japón)
S. leizhouense Nguyen, Qiu, Zhou y Pang, 2006	Asia (China)
S. litorale Yoshida, 2004	Asia (Japón)
S. loci Phan, Nguyen y Moens, 2001	Asia (Vietnam)
S. longicaudum Shen y Wang, 1992 (=*serratum*)[2]	Asia (China), Norte América
S. monticolum Stock, Choo y Kaya, 1997	Asia (Corea)
S. neocurtillae (=neocurtillis) Nguyen y Smart, 1992	Norte América (USA)
S. oregonense(=oregonensis) Liu y Berry, 1996	Norte América (USA)
S. pakistanense Shahina, Anis, Reid, Rowe y Maqbool, 2001	Asia (Pakistán)
S. puntauvense Uribe, Mora y Stock, 2007	Centro América (Costa Rica)
S. puertoricense (=*puertoricensis*) Román y Figueroa, 1994	Centro América (Puerto Rico)
S. rarum (=rara) (de Doucet, 1986) Mamiya, 1988	Sur América (Argentina), Norte América (USA)
S. riobrave (=riobravis) Cabanillas, Poinar y Raulston, 1994	Norte América (USA)
S. ritteri de Doucent y Doucet, 1990	Sur América (Argentina)
S. robustispiculum Phan, Subbotin, Waeyenberge y Moens 2005	Asia (Vietnam)
S. sasonense Phan, Spiridonov, Subbotin y Moens, 2006	Asia (Vietnam)
S. sangi Phan, Nguyen y Moens, 2001	Asia (Vietnam)
S. scapterisci Nguyen y Smart, 1990	Sur América (Uruguay)
S. scarabaei Stock y Koppenhöfer, 2003	Norte América (USA)
S. siamkayai Stock, Somsook y Kaya, 1998	Asia (Tailandia)
S. sichuanense Mrácek, Nguyen, Tailliez, Boemare, Chen, 2006.	Asia (China)
S. silvaticum Sturhan, Spiridonov, Mráček, 2005	Europa (Alemania, República Checa, Bélgica, Holanda, Suiza, Inglaterra)

...Continúa

[2] STOCK, P. Comunicación personal. Septiembre de 2008.

Continuación...

S. tami Van Luc, Nguyen, Spiridonov y Reid, 2000	Asia (Vietnam)
S. texanum Nguyen, Stuart, Andalo, Gozel, 2007	Norte América (Estados Unidos)
S. thanhi Phan, Nguyen y Moens, 2001	Asia (Vietnam)
S. thermophilum Ganguly y Singh, 2000	Asia (India)
S. websteri Cutler y Stock, 2003	Asia (China)
S. weiseri Mráček, Sturhan y Reid, 2003	Europa (Alemania)
S. yirgalemense Nguyen, Tesfamariam, Gozel, Gaugler y Adams, 2004	África (Etiopía)
Género: Neosteinernema Nguyen y Smart, 1994	
Solo especie tipo:	
Neosteinernema longicurvicauda Nguyen y Smart, 1994	Norte América (USA)

Tabla 10.3. Resumen taxonómico de la familia Heterorhabditidae (modificado y actualizado de Stock y Hunt 2005).

Taxa	Continente (País de aislamiento)
Género tipo: *Heterorhabditis* Poinar, 1976	
Especie tipo: *Heterorhabditis bacteriophora* Poinar, 1976. Syn. *Chromonema heliothidis* Khan, Brooks y Hirschmann, 1976. *H. heliothidis* (Khan, Brookas y Hirschmann, 1976) Poinar, Thomas y Hess, 1977. *H. argentinensis* Stock, 1993	África, Asia, Australia, América Central, Europa, Norte América (USA), Sur América.
Otras especies:	
H. amazoniensis Andaló, Nguyen, Moino, 2006.	Sur América (Brasil)
H. baujardi Phan, Subbotin, Nguyen y Moens 2003	Asia (Vietnam)
H. brevicaudis Liu, 1994	Asia (China)
H. downesi Stock, Griffin y Burnell, 2002	Europa (Irlanda)
H. floridensis Nguyen, Gozel, Köppenhöfer y Adams, 2006	Norte América (USA)
H. georgiana Nguyen, Gozel, Köppenhöfer y Adams, 2006	Norte América (USA)
H. indica (=*indicus*) (Poinar, Karunakar y David, 1992) Syn. *H. hawaiiensis* Gardner, Stock y Kaya, 1994.	Asia (India), América Central, Norte América
H. marelata (=*marelatus*) Liu y Berry, 1996. Syn *H. hepialius* Stock, Strong y Gardner 1996.	Norte América (USA)
H. megidis Poinar, Jackson y Klein, 1987.	Norte América (USA), Europa
H. mexicana Nguyen, Shapiro-Ilan, Stuart, McCoy, James y Adams, 2004.	América Central (México)
H. poinari Kakulia y Mikaia, 1997.	Europa (Georgia)
H. safricana Malan, Nguyen, de Waal y Tiedt, 2008	África (Sur África)
H. taysearae Shamseldean, Abou El-Sooud, Abd-Elgawad y Saleh, 1996.	Asia (Egipto)
H. zealandica Poinar, 1990.	Australia (Nueva Zelandia)

Las especies de estas dos familias presentan un ciclo de vida basado principalmente en siete estados de desarrollo: huevo, cuatro ínstares de estados juveniles (conocidos también como "dauer") y adulto (hembra, macho o hermafrodita, según el género). La diferenciación de los estados se basa principalmente en el análisis morfométrico del individuo (Wouts, 1991). El tercer ínstar del estado Juvenil Infectivo (JI), es el único que permanece vivo fuera del huésped, no se alimenta y presenta la característica particular de buscar a su huésped (Hominick y Collins, 1997). Fisiológicamente se distingue por tener un tracto alimenticio no funcional, lo que se aprecia a simple vista como una reducción en el lumen intestinal. Los JI se introducen en el insecto por sus aberturas naturales (boca, ano o espiráculos) (Tanada y Kaya, 1993), lo que es común para las dos familias; no obstante, los JI de los heterorhabditidos también pueden acceder a su presa atravesando la cutícula del insecto, gracias a una estructura queratinosa que se asemeja a un pequeño diente (Poinar, 1976). Una vez en el interior del insecto, los JI alcanzan el hemocelo, en un tiempo que puede ir desde los 30 segundos hasta los 60 minutos (Tanada y Kaya, 1993), allí liberan su simbionte y causan la muerte del insecto durante las primeras 48 horas después de la penetración, y continúan con su desarrollo en el interior del insecto (Poinar, 1990).

Durante este desarrollo se presentan las mayores diferencias entre las dos familias. Los JI de *Steinernema* spp., al parecer por cambios en la composición bioquímica del insecto huésped, causados durante la multiplicación del simbionte en el hemocelo, pasan al cuarto ínstar (J4), el cual se alimenta del insecto, y a partir de éste se desarrollan dos estados adultos: hembra y macho. Una vez los adultos han madurado, se presenta la cópula, y a partir de los huevos fecundados localizados en el interior de las hembras, se desarrollan los estados J1 con posterior desarrollo de J2 y J3; estos últimos (primera generación), salen de las hembras ejerciendo una presión mecánica desde su interior, lo que causa su rompimiento. Dentro de las especies de *Steinernema*, recientemente se describió una que se aleja de esta norma. Para *Steinernema hermaphroditum* (Stock *et al.,* 2004) la mayoría de los individuos de primera generación son hermafroditas autofértiles, mientras que una pequeña proporción de la población en cada generación son machos (Griffin *et al*., 2001). Finalmente, si la reserva de alimento que proporciona el huésped es suficiente para continuar con un nuevo ciclo, se pueden presentar hasta tres generaciones amfimícticas dentro del mismo insecto. Por el contrario, si la reserva alimenticia no es suficiente, el J3 adquiere la bacteria simbionte alimentándose de los tejidos del cadáver del insecto y posteriormente, lo abandona. En este momento del ciclo, el J3 que ya ha incorporado su simbionte y que está listo para abandonar el huésped, se conoce como JI, el cual inicia la búsqueda de un nuevo huésped para comenzar el ciclo (Poinar, 1990; Akhurst y Dunphy, 1993; Tanada y Kaya, 1993; Kaya y Stock, 1997).

En *Heterorhabditis* el desarrollo del JI, una vez que ha alcanzado el hemocelo del insecto y liberado el simbionte, continúa con J4. En este nematodo, a diferencia de *Steinernema,* en la primera generación se desarrollan adultos hermafroditas autofértiles, pero nunca machos o hembras anfimícticas. En estos adultos, los huevos autofecundados dan lugar a estados juveniles J1, los cuales se desarrollan posteriormente en J2 y J3, de manera similar a lo que ocurre para los steinernematidos. Lo particular para las especies de heterorhabditidos es que para generaciones subsecuentes, se desarrollan machos, hembras anfimícticas y hermafroditas (Dix *et al.,* 1992). Con base en lo anterior y en términos generales, se puede considerar que tanto *Heterorhabditis* spp. como al menos un *Steinernema* sp., pueden desarrollarse en su huésped a partir de la invasión de un solo JI, mientras que la mayoría de *Steinernema* spp., requieren al menos dos individuos para colonizar el huésped antes de multiplicarse.

Cuando el suministro de nutrientes es reducido ya sea por la capacidad del insecto o por condiciones ambientales detrimentales que reduzcan su disponibilidad, ocurre un fenómeno conocido como "endotokia matricida". En este caso, el desarrollo de los juveniles intrauterinos en las hembras o hermafroditas, va acompañado del consumo de los tejidos del parental, lo que resulta en una eficiente conversión de la biomasa del insecto a biomasa del JI, y que se traduce en la producción de juveniles eficientes para la infección de nuevos huéspedes (Johnigk y Ehlers, 1999). En esta etapa del desarrollo, si los JI cuentan con una suficiente fuente de alimento, se da paso al desarrollo de adultos, pero en el caso de encontrarse en condiciones de hacinamiento y/o limitada fuente de alimento, el desarrollo de los nematodos se detiene.

Los JI de los nematodos entomopatógenos que emergen del cadáver de los insectos, retienen la cutícula del estado de desarrollo previo (J2), la cual cumple una función de "coraza protectora", que ayuda a resguardar

al JI de factores bióticos y abióticos como desecación, congelamiento u hongos patógenos (Timper y Kaya, 1989; Poinar, 1990). Para las especies de *Heterorhabditis* spp., esta cutícula es casi permanente, mientras que para *Steinernema* spp. es débil y se pierde fácilmente cuando el JI se mueve en el suelo (Dempsey y Griffin, 2003).

La duración del ciclo puede variar entre días hasta varios meses, según las condiciones ambientales y del huésped, y pueden llegar a producirse en el hospedero cientos de miles de JI, que luego iniciarán la búsqueda de nuevos insectos (Wouts, 1981; Molina y López, 2001). Un diagrama del ciclo general de infección para especies de estas dos familias se presenta en la Figura 10.2.

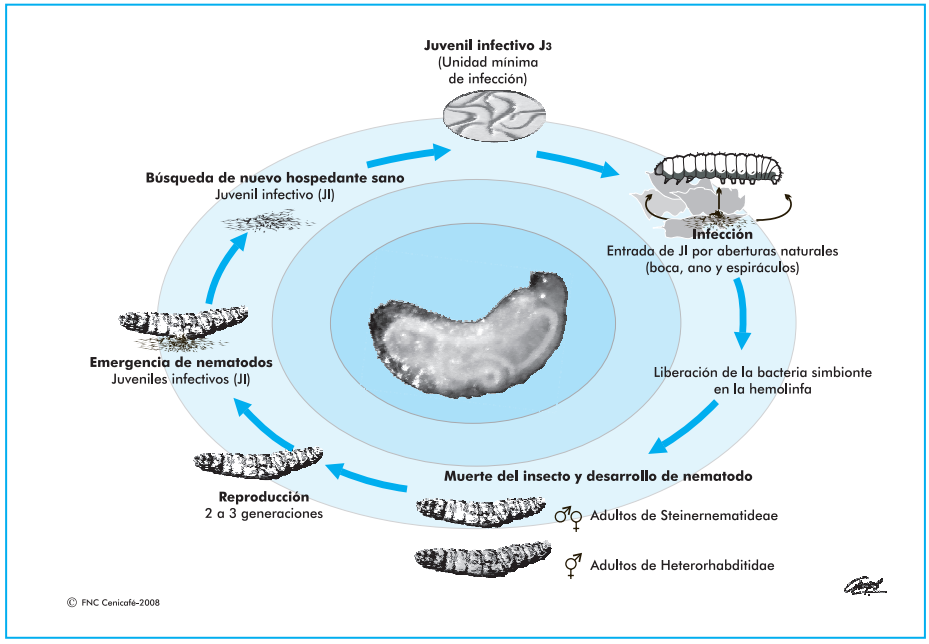


Figura 10.2. Ciclo de vida de Steinernematidae y Heterorhabditidae.

Asociación nematodo - bacteria

Hasta el momento, todas las especies de steinernematidos y heterorhabditidos guardan una asociación simbiótica con varias especies de bacterias de los géneros *Xenorhabdus* spp. y *Photorhabdus* spp., respectivamente (Akhurst y Boemare, 1990). Son bacterias Gram-negativas, anaerobias facultativas, pertenecientes a la γ-subclase de Proteobacterias, de la familia Enterobacteriaceae; sin embargo, son nitrato-reductasa negativos y *Xenorhabdus* spp., catalasa negativos (positivas para esta familia), por lo que se sugiere una revisión de la descripción de ambos géneros (Boemare, 2002).

El claro conocimiento de esta asociación es fundamental para entender tanto la compleja relación de patogenicidad que tiene el nematodo con el insecto huésped, como para lograr un desarrollo exitoso de los sistemas de producción masiva. Ambos protagonistas de esta asociación se benefician; las bacterias son en gran parte responsables de la rápida muerte de los insectos, y proporcionan un medio nutritivo apropiado para el crecimiento y la reproducción del nematodo. Además, con la producción de antibióticos, las bacterias evitan invasiones secundarias de otros organismos "oportunistas", que compiten por el alimento (insecto parasitado) (Boemare *et al.,* 1996). El nematodo protege a las bacterias de condiciones ambientales externas que pueden ser nocivas, al ubicarse ésta dentro de su tracto digestivo. También le sirven como medio de transporte (vector), desde cadáveres de insectos a insectos sanos y a nuevos huéspedes, al alcanzar el hemocelo de éstos; y para algunas asociaciones, el nematodo inhibe la respuesta inmune del insecto (Akhurst y Boemare, 1990; Akhurst y Dunphy, 1993; Griffin *et al.,* 2005).

La interacción entre el nematodo y la bacteria no es obligada y cada uno puede cultivarse por separado; sin embargo, cuando se combinan presentan un alto grado de especificidad. La paradoja de "independencia y alta especificidad", es uno de los aspectos más interesantes de esta interacción (Griffin *et al.,* 2005). Los simbiontes ocupan dos nichos ecológicamente diferentes o estados en el ciclo de vida, y su interacción con el nematodo ocurre a dos niveles. El primero es un estado forético donde la bacteria es retenida e interactúa en el intestino del JI, aparentemente sin ninguna significativa multiplicación. *Xenorhabdus* spp. se localiza en una vesícula intestinal especial de los JI de *Steinernema* spp., mientras que *Photorhabdus* spp. se localiza principalmente en la parte anterior del intestino en los JI de *Heterorhabditis* spp. (Bird y Akhurst, 1983; Boemare *et al*., 1996; Hand y Ehlers, 2000). El segundo nivel, es un estado vegetativo, en donde la bacteria supera el sistema inmunológico de defensa del huésped y logra multiplicarse irrestrictamente al interior del insecto infectado (Hand y Ehlers, 2000). No obstante, últimos estudios relacionados con la localización del simbionte en el JI, demuestran que en la asociación *S. carpocapsae – X. nematophila,* este último coloniza una amplia región de un receptáculo en el intestino anterior, abierto en su parte posterior al intestino por una estructura similar a un tubo, el cual se abre al *lumen* intestinal para liberar las células bacterianas, en lugar de la vesícula descrita desde 1983 (Snyder *et al*., 2007).

Hay una cercana relación entre la taxonomía de las especies del simbionte y de su nematodo huésped. En general, para cada especie de nematodo hay una asociación específica con una especie o subespecie de bacteria (Fischer–Le Saux *et al*., 1998). Para las especies de *Steinernema* esta asociación es particular, y para algunos casos se encuentra la asociación de una bacteria hasta con cuatro nematodos (*Xenorhabdus boviennii* con *S. feltiae, S. affine, S. kraussei y S. intermedium*) y en otros, se registra una sola correspondencia como para el caso de *X. nematophila* con *S. carpocapsae*. Resultados de estudios, donde de manera complementaria se combina la caracterización fenotípica tradicional con la tipificación molecular (secuenciación de genes 16S del ARNr), dan evidencia de la diversidad de *Xenorhabdus* con 19 especies descritas: *X. nematophila, X. japonica, X. beddingii, X. bovienii, X. poinarii, X. budapestensis, X. ehlersii, X. innexi, X. szentirmaii, X. cabanillasii*, *X. doucetiae, X. griffiniae, X. hominickii, X. koppenhoeferi, X. kozodoii, X. mauleonii, X. miraniensis, X. romanii, X. stockiae* (Griffin *et al.,* 2005; Lengyel *et al*., 2005; Tailliez *et al*., 2006).

Para *Heterorhabditis* spp., hasta el momento se han registrado sólo tres especies asociadas de *Photorhabdus*: *P. luminescens* (subespecies: *luminescens, laumondii* y *akhurstii*), *P. temperata* (subespecie *temperata*) y *P. asymbiotica* (Burnell y Stock, 2000; Griffin *et al.,* 2005). A modo de resumen, en la Tabla 10.4 se relacionan las principales diferencias entre estas dos familias de nematodos.

Tabla 10.4. Paralelo entre las familias Steinernematidae y Heterorhabditidae.

Características	Steinernematidae	Heterorhabditidae
Retención de la cutícula de J2	La pierden fácilmente	La retienen
Cutícula del J2 visible	Fácilmente visible	Difícil de observar
Modo de infección	A través de boca, ano y espiráculos	A través de boca, ano, espiráculos y del integumento
1a. Generación	Anfimíctica: machos y hembras	Hermafrodita
2a. Generación	Anfimíctica: machos y hembras	Machos y hembras; y hermafroditas
Localización de bacterias simbióticas	En la porción ventricular del intestino	A lo largo de todo el intestino
Bioluminiscencia de cadáveres	No	Sí
Machos con bursa	No	Sí

* Tomado de Stock 1998.

Ecología y dispersión

Aunque su hábitat natural es el suelo, el conocimiento sobre su comportamiento en éste aún es limitado. Estos nematodos tienen preferencia por suelos que permiten una buena y abundante distribución de oxígeno, como en el caso de los suelos de textura porosa y/o arenosa, en donde características propias del nematodo como actividad parasítica, sobrevivencia y dispersión, no se afectan (Kaya, 1990).

La dispersión está íntimamente relacionada con la búsqueda del huésped y puede ser de dos tipos: dispersión activa (Choo *et al.,* 1989) y pasiva (Kaya, 1990). La dispersión activa, depende del nematodo e involucra características fisiológicas (Reed y Wallace, 1965; Ishibashi y Kondo, 1990), necesidad de búsqueda de huésped (Choo *et al.,* 1989; Campbell y Kaya, 1999) y la quimiotaxis (Dusenbery, 1983; Zuckerman y Jansson, 1984), con una estrecha relación de los dos últimos. Dentro de los compuestos reconocidos como estimulantes de quimiotaxis, se registran solventes orgánicos, compuestos acuosos y nitrogenados recuperados de la cutícula y desechos fecales de insectos, metabolitos de nematodos fitopatógenos y agregaciones bacterianas, compuestos proteínicos emanados por algunos hongos, feromonas sexuales, exudados de raíces de plantas y CO_2 proveniente de la respiración de los insectos, entre otros (Dusenbery, 1983; Zuckerman y Jansson, 1984; Akhurst y Dunphy, 1993). En este sentido, se ha determinado que la respuesta de las diferentes especies de nematodos es diferente a estos factores quimiotácticos (Poinar Jr., 1990; Beeding, 1993) y se condiciona tanto por factores bióticos como abióticos (Kaya, 1990; Glazer, 1996). En la dispersión pasiva, intervienen factores externos al nematodo como el agua, el viento y las actividades humanas, entre otros (Kaya, 1990). Los órganos sensoriales más importantes presentes en estos nematodos son los anfidios (principalmente quimio-receptores) y los fasmidios (mecano-receptores) (Volcy, 1997; Stock, 1998).

La búsqueda del huésped, que es consecuencia de la necesidad fisiológica del JI de desarrollarse y multiplicarse, ha permitido caracterizarlos y diferenciarlos en aquellas especies de nematodos entomopatógenos que prefieren buscar al insecto cerca o en la superficie del suelo, y que se destacan por su desplazamiento horizontal (por ejemplo: *S. carpocapsae*), mientras que otros tienden a profundizarse en el perfil del suelo y se desplazan verticalmente (ej. *H. bacteriophora*), esta diferenciación tiene como resultado la selección del hábitat y una vez allí, los JI adoptan una de las siguientes estrategias: emboscar a su presa o buscarla, desplazándose a través del perfil del suelo (Choo *et al.,* 1989). Las especies que utilizan la primera estrategia (emboscadores) ahorran energía esperando hasta que el insecto se aproxime para saltar sobre él. Es así como estos "emboscadores" no están adaptados para atacar insectos que se profundizan e inmovilizan en el suelo (Kaya y Gaugler, 1993). En contraste, las especies que al parecer están mejor adaptadas para parasitar insectos sedentarios y subterráneos, son las que asumen la segunda estrategia y se conocen como "cruceros o buscadores" (*H. bacteriophora* y *S. glaseri*) (Choo *et al.,* 1989; Akhurst y Dunphy, 1993).

Un fenómeno de la dispersión activa y que además de ser una respuesta a la proximidad de un huésped, le sirve al JI para orientarse y desplazarse, es lo que se conoce como "nictación". Este comportamiento lo adoptan principalmente las especies emboscadoras (Reed y Wallace, 1965; Ishibashi y Kondo, 1990; Akhurst y Dunphy, 1993; Campbell y Kaya, 1999), y se define como una secuencia de actividades predeterminadas e ininterrumpidas, hasta que finalizan (Ishibashi y Kondo, 1990). La nictación se inicia cuando el JI eleva su parte anterior ondeándola lateralmente durante varias horas, seguido por movimientos pendulares (Figura 10.3 a y b), formando puentes con su propio cuerpo, proyectándose hacia superficies adyacentes (Figura 10.3 c) o quedándose inmóvil (Figura 10.3 d). Posteriormente, el JI realiza movimientos ondulatorios largos o cortos (Figura 10.3 e y f), como preámbulo del salto (Reed y Wallace, 1965; Ishibashi y Kondo, 1990; Campbell y Kaya, 1999), el cual es producto de un fenómeno físico, que se da a partir de la formación de repliegues u ojales (*loops*) sobre su mismo cuerpo (Figura 10.3 g al i), que al momento en el que el ojal se deshace, la fuerza resultante (M) entre el componente horizontal (CH) y vertical (CV), hace que el JI salga "disparado" cuando es mayor que la fuerza de adhesión (FA) (Figura 10.3 j a l). Todos estos eventos se presentan dependiendo de la especie; por ejemplo, los JI de *S. carpocapsae* "nictan" activamente mientras que los de *S. feltiae*, lo hacen por períodos cortos y sin pausa, y los JI de *S. glaseri* raramente "nictan" (Ishibashi y Kondo, 1990).

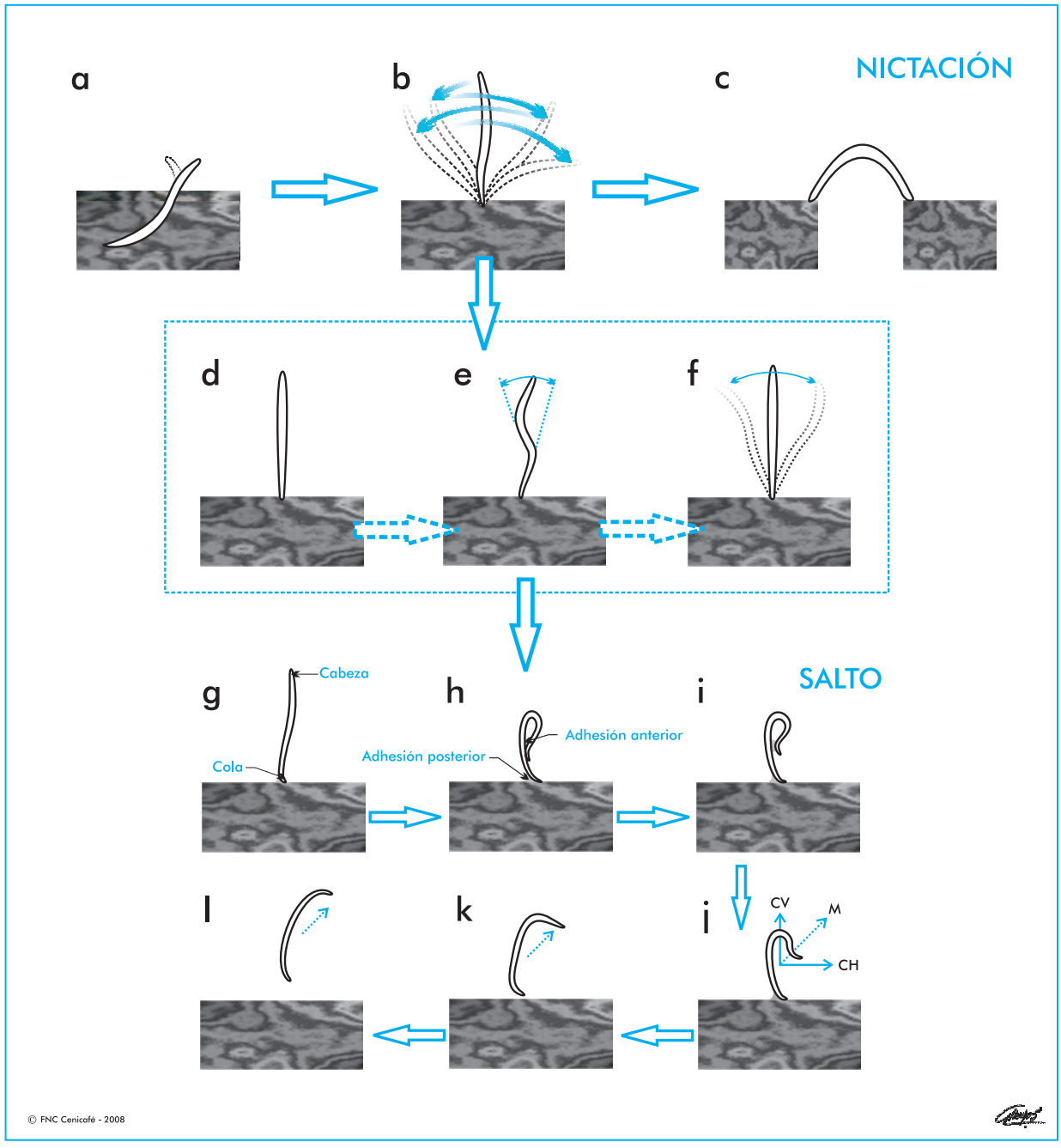


Figura 10.3. Dispersión activa de JI de nematodos entomopatógenos.

Factores que afectan la efectividad de los nematodos entomopatógenos

La alteración de las condiciones de su hábitat natural, tanto individual o en interacción, como tamaño de poro del suelo, disponibilidad de agua, humedad, temperatura y composición química, entre otros, ocasionados por factores externos, pueden afectar su persistencia en el campo, su capacidad de infección, hasta su capacidad de dispersión. Estos factores se clasifican en abióticos y bióticos (Kung *et al.,* 1991; Patel *et al.*, 1997).

Factores abióticos. Dentro de estos factores, la temperatura unida a la humedad del suelo, afectan principalmente la persistencia y la dispersión. Los nematodos entomopatógenos varían frente a estas características de manera inter e intraespecífica con sobrevivencia y eficacia en parasitismo dentro de un amplio rango (3 a 35°C) (Patel, *et al.,* 1997). Valores de pH del suelo extremos (11 ó 3) limitan su capacidad de infección pero no su viabilidad, y humedades extremas, además de afectar su viabilidad y establecimiento debido al desecamiento del JI, pueden dificultar su movilidad ya que suelos muy saturados a pesar de lo que se pudiera pensar, dificultan el desplazamiento y la capacidad de búsqueda del huésped del JI y generan condiciones anaerobias que reducen su viabilidad (Ishibashi y Kondo, 1990; Koppenhofer *et al.,* 1997). Suelos salinos o con altas concentraciones de iones (por ejemplo: altos niveles de aluminio), afectan su integridad celular y por lo tanto, su viabilidad (Glazer, 1996).

La aplicación de agroquímicos al modificar las características del suelo, también puede afectar la permanencia y supervivencia de los nematodos. Numerosos estudios dirigidos a determinar su efecto directo o indirecto, han mostrado que la tolerancia varía intra-específicamente teniendo en muchos casos efecto nematostático o nematicida, dependiendo de los tiempos de exposición a la mayoría de agroquímicos (fertilizantes, fungicidas, insecticidas, herbicidas, reguladores de crecimiento y extractos vegetales), presentando sinergismo en algunos casos, al aplicarse en mezcla para el control de algunos insectos plaga (Kaya, 1990; Glazer, 1996). A lo que sí resultan susceptibles es a algunos nematicidas (Glazer, 1996).

Factores bióticos. En la literatura, se registra diversidad de organismos como hongos, bacterias, virus, protozoos, ácaros, insectos y hasta nematodos, que pueden llegar a ser antagonistas o factor de mortalidad de estos nematodos entomopatógenos en el campo (Kaya, 1990; Kaya y Koppenhöfer, 1996; Epsky, *et al.,* 1998). Si se tiene en cuenta que la interacción de los JI con el insecto es una relación tripartita (nematodo-simbionte-huésped), el efecto de los agentes bióticos interviene en el desarrollo, multiplicación y establecimiento. Esta intervención se presenta a varios niveles: 1) afectando la sobrevivencia del JI; 2) afectando el establecimiento y/o desarrollo del simbionte, y 3) afectando al insecto una vez ha sido invadido por el nematodo. En este sentido, la coevolución vuelve a tener consecuencias, al ser la doble cutícula o "coraza protectora" para el JI, el mecanismo de defensa para algunas especies de nematodos entomopatógenos (Kaya, 1990).

Panorama del uso de nematodos entomopatógenos en Colombia

Los primeros registros sobre el uso de estos entomopatógenos para el control de insectos plaga en Colombia, y sobre el efecto de algunos parásitos de invertebrados, datan de la década de los setenta (Tabla 10.5).

Tabla 10.5. Investigaciones realizadas en Colombia, sobre el uso de nematodos para el control de insectos plaga, entre 1970 y 1990.

Plaga / Nombre común	Cultivo	Nematodo / Estado del insecto atacado	Institución / Fuente
Spodoptera frugiperda (J. E. Smith) (Lep: Noc) / Gusano cogollero del maíz	Maíz, arroz, sorgo, trigo, caña, pastos	*Neoaplectana carpocapsae* (=*Steinernema*) / larvas	UNAL. Palmira / Landazabal *et al.*, 1973
Oxydia trychiata (Guenée). (Lep: Geom.) / Gusano medidor	Forestales (ciprés, pino, café)	*Neoaplectana carpocapsae* (= *Steinernema carpocapsae*) / larvas	ICA / Bustillo, 1976
Aeneolamia varia (Fabricius) (Hem: Cer) / Salivitas, salivazos o miones de los pastos	Pastos, arroz, maíz, sorgo	*Hexamermis dactylocerus* / ninfas.	ICA / ICA, 1980
Premnotrypes vorax (Hustache). (Col: Cur.) / Gusano blanco de la papa	Papa, nabo, rábano, uchuva	*Neoaplectana* sp. (= *Steinernema* sp.) / larvas	ICA / ICA, 1983; Castrillón, 1989

Desde entonces y con especial énfasis a partir de la década de los noventa, la literatura nacional e internacional documenta el potencial de esta herramienta para utilizarla en programas de control de plagas de importancia económica en Colombia, como los coleópteros: *Premnotrypes vorax* (Hust.) (Garzón *et al.*, 1996), *Anomala* spp. y *Phyllophaga* spp.[3, 4](CIAT, 2003; Quintero, 2003; Zuluaga, 2003; Bellotti *et al*., 2005), *Cosmopolites sordidus* (Ger.)[5]; *Metamasius hemipterus sericeus* (Oliver)[6]. Así mismo, se ha reportado su uso en cultivos de plátano, banano, hortalizas, flores, café, palma, caña, piña, papa y cítricos, para el control de los hemípteros *Aenolamia varia* (Fab.) (Poinar y Linares, 1985), *Mahanarva fimbriolata* (Fab.) (Leite *et al.,* 2005), *Bemisia tabaci* (Gen.) (Cuthbertson *et al.* 2003; Head *et al.* 2004) y *Otiorhynchus sulcatus* (Fab.) (Kakouli *et al*., 1997; Kakouli y Hauge, 1999). En cultivos de pastos, arroz, maíz y sorgo, se han utilizado para el control de lepidópteros como: *Tecia solanivora* (Pov.) (Sáenz, 1998; Sáenz y Luque, 2000; Corredor *et al*., 2006) y *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lezama *et al.,* 2001); en palma africana para el control de *Sagalassa valida* Walker (Montufar, 1993; *Ortiz et al*., 1994; Sáenz *et al*., 2005) y *Cyparissius daedalus* Cram. (Ayala *et al.,* 2004). En cultivos de papa, yuca, cebolla y espárrago, los nematodos entomopatógenos se han evaluado para el control de hemípteros como: *Cyrtomenus bergy* Froesch (Caicedo y Bellotti, 1996; Barberena y Bellotti, 1998). También se reporta su uso para el control de dípteros, como *Bradysia agrestis* Sas., *Musca domestica* L. (Rehnnn, 1995) y *Boophilus microplus* (Can.)[7,8], en cultivos de hongos comestibles y en áreas de explotación ganadera (Kim *et al.,* 2004). En cultivos ornamentales y hortalizas contra trips como *Frankliniella occidentalis* Per. (Ebsa *et al*., 2001 a, b, 2004; Premachandra *et al.,* 2003).

Aunque Colombia sea un país megadiverso y de naturaleza agrícola, llama la atención que desde las primeras investigaciones realizadas hasta hoy (más de 30 años), los trabajos en investigación con esta herramienta de control sean tan escasos y sin ejemplos de su incorporación dentro de programas MIP. Con excepción de la información obtenida en los últimos ocho años por algunos Centros de Investigación como Cenicafé, Cenipalma, CIAT, ICA y Corpoica, y unas cuantas Universidades apoyadas por estos Centros, se puede decir que la producción a este nivel es mínima. Lo anterior, se debe principalmente al desconocimiento sobre su biología, comportamiento, distribución, sistemas de multiplicación y del potencial que tienen para implementarse en programas MIP.

Uso de nematodos entomopatógenos en el cultivo del café

La información sobre su uso práctico es escasa. En Cuba, se tienen registros del uso de *Heterorhabditis bacteriophora* (cepa HC1) y *Verticillium lecanii*, integrándolos dentro del manejo de la chinche harinosa en el cultivo del café (Martínez *et al*., 1998). En este registro se menciona que en las localidades donde se realizaron las aplicaciones de entomopatógenos combinadas con prácticas agronómicas, se disminuyeron los niveles de infestación y se obtuvieron mayores rendimientos. En cuanto a trabajos en que consistentemente se presenten resultados que permitan considerar a los nematodos entomopatógenos como una herramienta de control de plagas en la caficultura, la información es limitada, y Cenicafé ha sido pionero en estas investigaciones, y ha liderado el desarrollo de esta herramienta de control biológico, enfocada al control principalmente de poblaciones de broca que se resguardan en los frutos del suelo (López, 2005) y que son la principal fuente de infestación para cosechas posteriores (Bustillo *et al.,* 1998; Bustillo, 2006).

---

3 Londoño, M. 1999. Memorias. II Seminario Nematodos Entomopatógenos. Universidad Nacional Bogotá. Bogotá (Colombia), p 55.
4 Navarro, J. F. 1999. Memorias. II Seminario Nematodos Entomopatógenos. Universidad Nacional Bogotá. Bogotá (Colombia), p 37.
5 Sepúlveda et al., 2003. Resúmenes Congreso SOCOLEN 30. 2003. Cali (Colombia), p. 68.
6 Jiménez *et al*., 2003. Resúmenes Congreso SOCOLEN 30. Cali (Colombia), p. 71.
7 Sepúlveda *et al.*, 2007 a. Resúmenes Congreso SOCOLEN 34. 2007, Cartagena (Colombia). p. 123.
8 Sepúlveda *et al.*, 2007 b. Resúmenes Congreso SOCOLEN 34. 2007, Cartagena (Colombia). p. 124.

Nematodos y la broca del café

Hasta el momento sólo se tienen dos registros de nematodos afectando naturalmente la broca del café; el primero se presentó en India en 1994, donde Varaprasad *et al*. (1994) encontraron a *Panagrolaimus* sp. (Panagrolaimidae), típico bacterióvoro, afectando adultos de *H. hampei*. El segundo registro fue en México, en el municipio de Cacahoatán en Chiapas, en donde a partir de hembras de broca extraídas de frutos de café caídos se aisló a *Sphaerulariopsis* sp. (Thylenchida: Sphaerularioidea), nematodo parásito de invertebrados (Castillo y Barrera, 1998; Castillo *et al*., 2002), y que finalmente fue descrito como nueva especie *Methaparasitilenchus hypothenemi* (Allantonematidae) (Poinar *et al*., 2004). Estos registros, son evidencia de las diferentes asociaciones que pueden presentar los nematodos del suelo con la broca guarecida en el fruto, y de las condiciones favorables que este hábitat ofrece para el desarrollo y la permanencia del patógeno. Esto último concuerda con observaciones realizadas en los laboratorios de Cenicafé, en donde a partir de frutos brocados recolectados de diferentes regiones cafeteras colombianas, se ha registrado diversidad de nematodos con hábitos omnívoros, algívoros y bacterióvoros, principalmente de la familia Diplogasteridae (resultados no publicados).

Las especies de las familias de Steinernematidae y Heterorhabditidae, tienen gran potencial para el control de insectos como la broca del café, pues además de ofrecer ciertas ventajas frente a los insecticidas químicos por ser seguros al ambiente, no afectar plantas ni humanos, ser de alta aceptación comercial y ser activos al buscar el insecto plaga, son letales a la hora de ser usados como herramienta de control de insectos (Gaugler, 1981; CIBC, 1990; Georgis y Hom, 1992).

El primer trabajo que registra el efecto de especies de estas familias, se realizó en Inglaterra, en 1989, cuando en el laboratorio describen el efecto parasítico de *Heterorhabditis bacteriophora*, sobre larvas y adultos de la broca (Allard y Moore, 1989). Posteriormente, otros registros en el laboratorio presentan el efecto patogénico de *Steinernema glaseri, S. feltiae, S. carpocapsae* y *Heterorhabditis bacteriophora,* principalmente, sobre adultos (Lubego, 1992; Castillo y Marbán, 1996). Recientemente, en Cuba se registró la susceptibilidad de larvas, pupas y adultos de broca a *S. cubanum*, *H. indica* y *H. bacteriophora* (Valdés y Escobar, 2006).

No obstante que actualmente las especies comercialmente disponibles ofrecen una perspectiva muy prometedora para usarlos como reguladores de la broca del café, no son específicas para la broca, y por lo tanto, se requiere incrementar esfuerzos en la búsqueda de especies de estos nematodos con atributos para controlar biológicamente a la broca, así como también es necesario desarrollar los métodos para multiplicarlos (Castillo, 2007). Lo anterior, ha sido entendido y priorizado en Cenicafé desde hace diez años, por lo cual se han adelantado y orientado las investigaciones con el objetivo de obtener información de especies nativas de los géneros *Steinernema colombiense* López, y *Heterorhabditis bacteriophora* Poinar[9](López *et al*., 2008), sobre su virulencia, comportamiento, ciclo de vida y estrategias de búsqueda sobre la broca del café (Molina y López 2002, 2003; López 2002). Adicionalmente, el conocimiento sobre sistemas de aplicación (Lara y López, 2005), los resultados de control de broca con aplicaciones en mezcla con hongos entomopatógenos[10] tanto en invernadero como en el campo, en pequeña escala (Del Castillo, 2004; Giraldo, 2003; Lara *et al.,* 2004), y el hallazgo de nuevas especies aisladas del ecosistema cafetero (López *et al.,* 2007), virulentas a la broca del café[11], permiten considerar a esta herramienta biológica promisoria dentro del Manejo Integrado de la Broca.

---

[9] LÓPEZ N., J.C. 2007. Informe Anual de Actividades. Disciplina de Entomología. Centro Nacional de Investigaciones de Café. Cenicafé. Chinchiná, Caldas (Colombia).

[10] CASTAÑO M., A. M.; BENAVIDES M., P.; LÓPEZ N., J. C. 2007. Evaluación de mezclas de nematodos y hongos entomopatógenos para el control de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae). En: CONGRESO de la Sociedad Colombiana de Entomología, 34. Cartagena (Colombia), Julio 25-27, 2007. Resúmenes. Cartagena (Colombia), SOCOLEN, 2007. p. 62.

[11] QUINTERO V., J. C.; BENAVIDES M., P.; LÓPEZ N., J. C. 2007. Evaluación de nematodos entomopatógenos nativos para el control de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae). En: CONGRESO de la Sociedad Colombiana de Entomología, 34. Cartagena (Colombia), Julio 25-27, 2007. Resúmenes. Cartagena (Colombia), SOCOLEN, 2007. p. 63.

Situación actual sobre la producción de nematodos entomopatógenos

A pesar de los avances en la producción masiva de nematodos entomopatógenos en los últimos 15 años en el mundo, en Colombia son escasos los desarrollos; esto se convierte en "un cuello de botella", ante una eventual demanda de productos con base en estos controladores biológicos. Un esquema general del proceso para la producción de nematodos se presenta en la Figura 10.4.

En la literatura, para la producción masiva de nematodos entomopatógenos se describen dos sistemas: *in vivo* e *in vitro* (Kaya y Stock, 1997). En el primero, se utilizan insectos vivos fáciles de criar, susceptibles al patógeno y que permiten aumentar la producción masiva; este sistema se ha generalizado para la mayoría de las especies actualmente descritas, utilizando larvas de *Galleria mellonella, Bombyx mori, Spodoptera frugiperda* y otros lepidópteros, con producciones de más de 300.000 nematodos por larva (Bustillo, 1976; Marston *et al.*,1975; Sáenz y Luque, 2000; Molina y López, 2001). Nuevamente, Cenicafé ha sido pionero al implementar la producción *in vivo* en larvas de *G. mellonella*, que ha permitido contar con el material suficiente para realizar diferentes trabajos en el laboratorio y en el campo. Actualmente en Cenicafé, bajo este sistema se multiplica *Steinernema colombiense*, nematodo entomopatógeno parásito de la broca del café (Realpe *et al*., 2007).

La producción incluye dos procesos (Figura 10.5): el primero corresponde a la producción del sustrato (larvas de *Galleria mellonella*), que se desarrolla a partir de siembras de 1.000 huevos del insecto (90 mg) en dieta artificial (1 kg), durante 55 días (25°C, 75-80% HR, oscuridad) para obtener entre 800 y 850 larvas de VIII ínstar, con un peso de 250 a 280 mg/larva, en promedio (Figura 10.5A y B). El segundo proceso, corresponde a la producción del nematodo e incluye cinco etapas: 1) Infección de larvas, que se realiza en recipientes cerrados en los cuales se distribuyen 40 g de larvas (aproximadamente 160 larvas), las cuales posteriormente son infectadas, mediante aspersión manual, con 30.000 nematodos de *S. colombiense*. Luego, los recipientes se llevan a incubación por 48 h (25±2°C; 80±5% H. R.; oscuridad constante), obteniendo mortalidades del 97 - 100% (Figura 10.5C). En la etapa 2 o maduración (Figura 10.5D), el nematodo se desarrolla y se reproduce en el interior de la larva parasitada. Después, 480 larvas parasitadas (aprox. 120 g), se llevan a mallas plásticas en bandejas multiusos (18 cm x 21cm x 5 cm), con orificios de ventilación de 3,5 cm de diámetro. Cada bandeja, se mantiene en oscuridad constante a 25±2°C y H.R 90-95%, durante nueve días (Figura 10.5D). En la etapa 3 o cosecha de nematodos (Figura 10.5E), se observa la aparición de nematodos sobre los cadáveres de las larvas, los cuales se retiran mediante aspersión de 25 mL de agua estéril por malla (boquilla TX3; 40 psi), cubriendo la superficie de la malla y arrastrando hasta el fondo del recipiente al nematodo emergente. Durante la etapa de tamizado y limpieza (Figura 10.5F), diariamente se retira el agua asperjada, la cual se concentra en un colector final de 5 L, y allí, se decantan los nematodos por gravedad, durante 2 h. Al final de este tiempo y para limpiarlos de residuos de insecto (etapa 4), los nematodos se pasan por un tamiz (425 mesh) (Figura 10.5F), por el que pasan solamente nematodos viables y limpios, que se centrifugan (5000 r.p.m. / 3 min.). Finalmente, los nematodos se llevan a la etapa 5 (Figura 10.5G), para eliminar el exceso de agua y determinar la viabilidad y concentración (nematodos/mL) y dosificarlos según los requerimientos (esponja o líquido, por ejemplo: 30 millones/esponja ó 300 mL) (Figura 10.5G). Esta labor requiere un tiempo aproximado de 4 h. Con base en este proceso, se conoce que una larva de *G. mellonella* produce aproximadamente 75.000 nematodos (Juveniles Infectivos) de *S. colombiense*, con una viabilidad mínima del 95%, lo que permite un almacenamiento en esponja (30 millones), hasta de 6 meses, sin que se disminuya su viabilidad en más de 10%.

En la literatura mundial, se registran diferentes intentos para escalar el sistema de producción *in vivo,* basados principalmente en el uso de "Trampas White" (White, 1927), de mayor tamaño. Estas modificaciones aumentan la distancia de migración del JI al depósito final, lo que reduce la eficacia de extracción. Carne y Reed (1964), describieron un aparato alternativo para la cosecha de nematodos, en donde se colocan los cadáveres del insecto parasitado en un disco que se reclina en la boca de un embudo. Los nematodos que emergen migran a través del disco y se recuperan en el fondo del embudo, donde se acopla una llave de paso. La principal innovación consiste en el disco central perforado, a través del cual los nematodos pasan al depósito del agua, y así reducen su desplazamiento lateral. Sin embargo, no hay informes que presenten resultados donde este diseño haya sido probado. Gaugler *et al.* (2002), diseñaron el primer sistema escalable para la producción masiva *in vivo* de *Heterorhabditis bacteriophora* Poinar, en larvas de *G. mellonella* (LOTEK

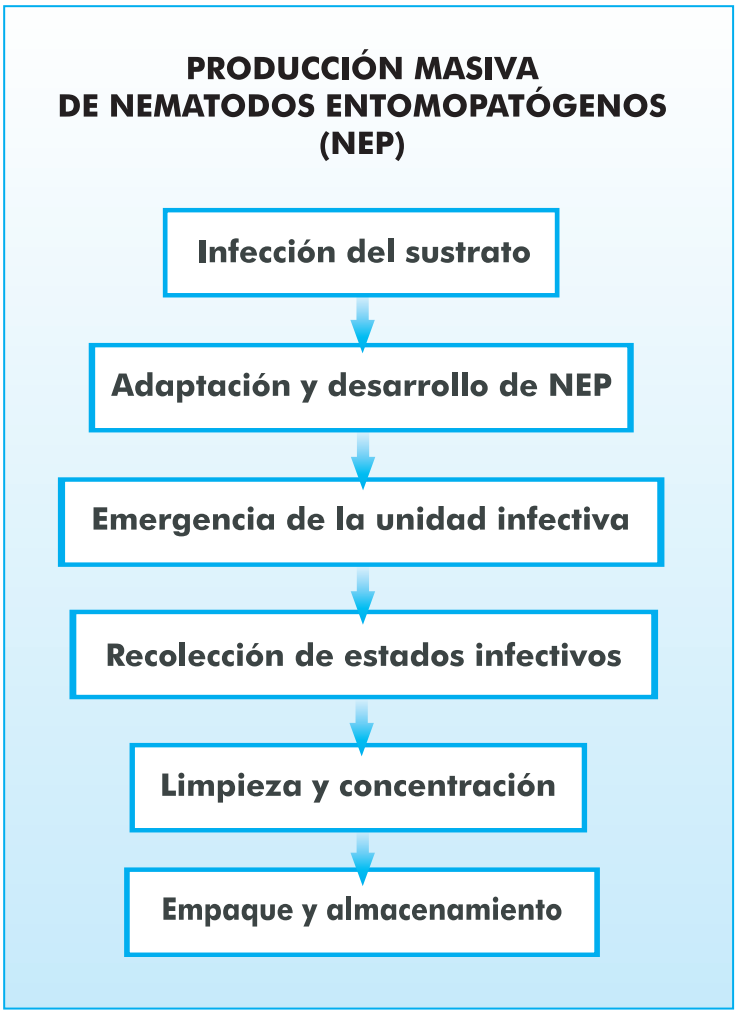


Figura 10.4. Proceso general de producción masiva de nematodos entomopatógenos.

patente # USSN 09/845,816). El objetivo del desarrollo, consistió en ofrecer una tecnología de producción más económica y de alta eficiencia. En LOTEK, básicamente se acoplan las etapas del proceso general de producción masiva, descritos en la Figura 10.4.

El sistema de producción *in vitro*, ya sea en cultivo sólido o líquido, incorpora medios artificiales para la reproducción del nematodo, y cuando se requieren cantidades comerciales, es la única manera económica y razonable para suplir las necesidades de mercado (Ehlers y Shapiro-Illan, 2005). Para desarrollar este sistema se requiere de un amplio conocimiento en cuanto a la biología y el comportamiento de la especie del nematodo, de su simbionte y de la interacción de los dos organismos. Esto último es un proceso complejo, en donde se incorporan diferentes eventos que deben ser simulados, como la liberación de las células del simbionte, la reproducción de las señales de "recovery" y "food signal" que se han acuñado como "señales inductoras de recuperación", para explicar lo que sucede en los lapsos de desarrollo del nematodo (Ehlers y Shapiro-Illan, 2005).

Otro fenómeno que se presenta principalmente durante las diferentes formas de producción *in vitro* de especies de *Steinernema* y que debe monitorearse para garantizar la alta calidad de los JI producidos, es el estado de fase del simbionte *Xenorhabdus.* Para este género, básicamente se han diferenciado dos fases: primaria (FI) y secundaria (FII), y aunque aún no se conozcan las razones por las cuales se presenta este evento, se registra el cambio indiscriminado de una fase a otra (Grunder, 1997; Han y Ehlers, 2000). En la Figura 10.6, se presenta un esquema de las fases aisladas en trabajos realizados en Cenicafé.

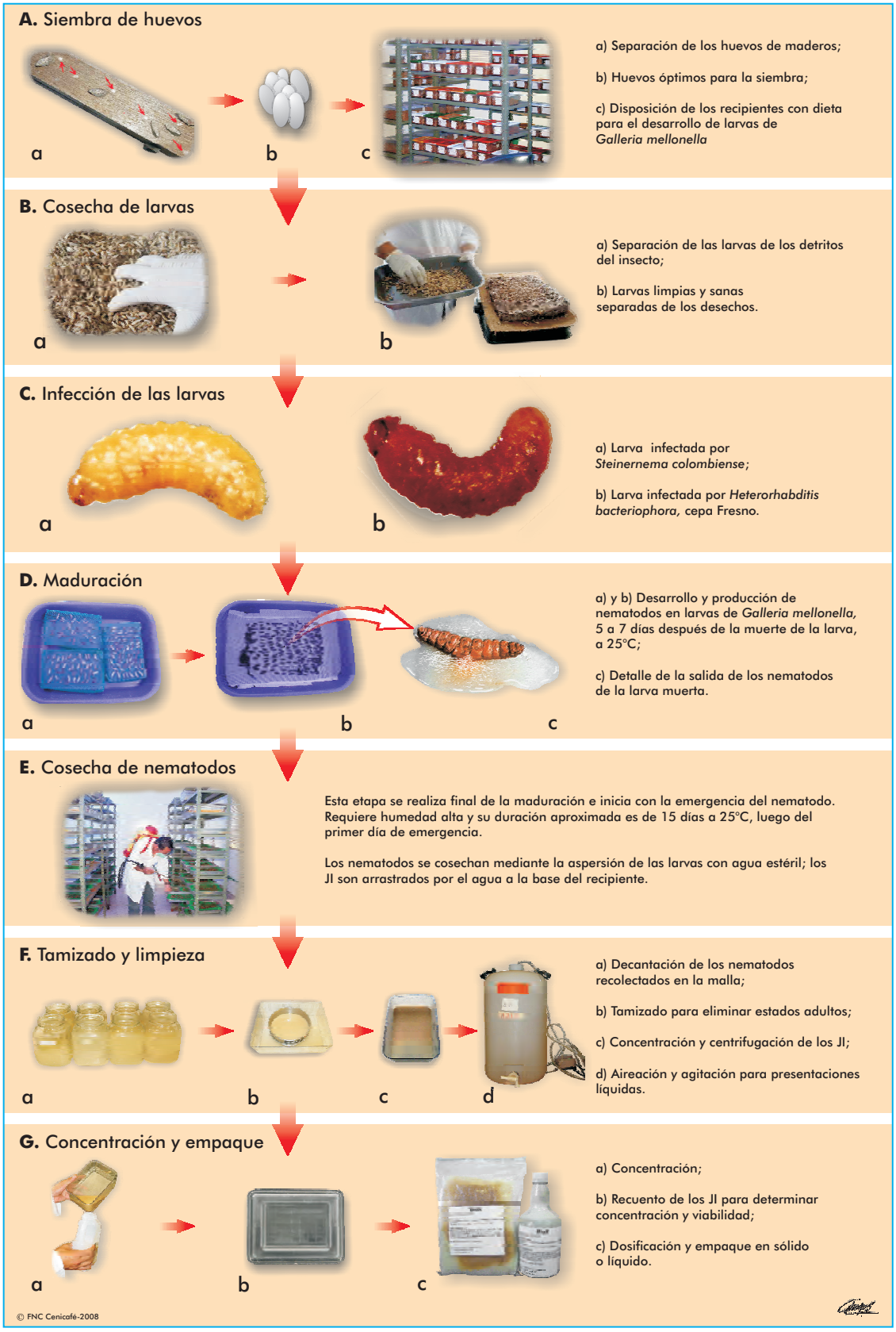


Figura 10.5. Diagrama general de la producción *in vivo* de nematodos entomopatógenos, desarrollado en Cenicafé.

En Colombia han sido pocos los intentos de producir nematodos bajo ese sistema. Resultados de estudios realizados por Parada *et al*. (2006), registran la producción de *S. feltiae* cepa Colombia, tanto en medio sólido MX (con promedios de producciones por erlenmeyer de 19,2 x 10^6 JI, en 23 días de proceso), como en medio líquido, utilizando reactores de 3 L (con una producción de 9,6 x 10^6 JI en 1,5 L de medio líquido), obteniendo bajo los dos sistemas el desarrollo de JI con características de comportamiento, morfológicas y fisiológicas normales.

Los dos sistemas de producción presentan ventajas y desventajas. En términos generales, la producción *in vivo* es apropiada para mercados pequeños, cooperativas de agricultores y otros campos comerciales donde la falta de capital y capacitación o experiencia técnica, y poca inversión en infraestructura, no pueden justificar los altos costos de inversión en los que incurre la tecnología de cultivo *in vitro* (Ehlers y Shapiro-Illan, 2005), lo que se traduce en bajos costos y fácil implementación, especialmente en países donde la mano de obra no es costosa; adicionalmente, la calidad de los productos es superior. Para el sistema *in vitro*, la mayor ventaja es que las cantidades de nematodos producidas son superiores por unidad de producción (gramo o mililitro), lo que facilita la implementación industrial a gran escala (Friedman, 1990; Gaugler y Georgis, 1991; Flanders *et al*., 1996; Yang *et al*., 1997; Grewal y Georgis, 1998).

a) Fase I de *Xenorhabdus* sp., aislado de *Steinernema colombiense*.

b) Fase II de *Xenorhabdus* sp., aislado de Steinernema colombiense.

c) Reversión de fases (Fase I-Fase II) de *Xenorhabdus* sp., aislado de *Steinernema colombiense*.

Figura 10.6. Simbionte aislado de *S. colombiense*, y desarrollado en el medio de cultivo NBTA. **(a)** Fase I; **(b)** Fase 2; **(c)** Reversión de Fase.

Alrededor del mundo existen más de 90 empresas que producen y/o distribuyen nematodos entomopatógenos para el control de insectos, tanto en la agricultura como en la medicina y veterinaria (López, 2005). En los últimos años, compañías como Syngenta, Novartis, Rhone-Poulenc, Koppert, MicroBio, Beker Underwod, Biotech, BioControl, ThermoTrilogy, BioLogic e Hydro-gardens, en Austria, Suiza, Inglaterra, Alemania, Japón, Holanda, Estados Unidos y Canadá, han invertido y desarrollado formulaciones de algunas especies como *H. bacteriophora* Poinar, *H. indica* Poinar, Karunakar y David, *H. megidis* Poinar, Jackson y Klein, *S. carpocapsae* (Weiser), *S. feltiae* (Filipjev), *S. scapterisci* Nguyen y Smart, y *S. riobrave* Cabanillas, Poinar & Raulston, comercializándolas en presentaciones líquidas y sólidas con inertes como alginato, arcilla, poliacrilamida, geles y vermiculita, entre otros (Georgis y Hom, 1992; Hominick y Collins, 1997; Grewal y Georgis, 1998). Los precios con que se ofrecen los productos en el mercado dependen de la especie del nematodo, del cultivo, de la plaga a controlar y de la formulación ofrecida (Shapiro y McCoy, 2000). En las Tablas 10.6 y 10.7, se presentan algunos ejemplos de formulaciones y precios con los que se comercializan los productos.

Consideraciones finales

El uso de estrategias biológicas como los nematodos entomopatógenos, para implementar dentro del control de insectos plaga en la agricultura colombiana, tiene total cabida bajo las condiciones actuales del país. En el entorno mundial, los factores que han influido en el desarrollo de este tipo de agentes son la seguridad de su aplicación, por la inocuidad en insectos benéficos, vertebrados y plantas, exención de

Tabla 10.6. Ejemplos de productos de nematodos entomopatógenos (NEP), disponibles en el mercado internacional, y tiempo de almacenamiento.

Formulación	NEP (especie)	Producto	Compañía	Almacenamiento (meses)	
				Ambiente	Refrigeración
Gel de Alginato	*S. carpocapsae*	Mioplant	Novartis, Viena, Austria	3,0 – 4,0	6,0 – 9,0
	S. carpocapsae	Boden-Nützlinge	Rhöne-Poulenc, Celaflor, Alemania		
	S. feltiae	Boden-Nützlinge	Rhöne-Poulenc, Celaflor, Alemania	0,5 – 1,0	4,0 – 5,0
Geles solubles	*S. carpocapsae*	Biosafe	SDS Biotech, Minato-Ku, Tokio, Japon	1,0 – 1,5	3,0 – 5,0
	S. feltiae	Exhibit	Novartis, Basel, Suiza		
	S. feltiae	Stealth	Novartis, Macclesfield, Chester, Inglaterra		
Arcilla	*H. bacteriophora*	nr	nr	1,5 – 2,0	0
	S. carpocapsae	nr	nr	1,0 – 1,5	3,0 – 4,0
	H. megidis	Nemasys-H	MicroBio, Cambridge, Inglaterra	nr	Nr
	S. feltiae	LarvaNem	Koppert B.V., Berkel en Rodenrings, Holanda	nr	Nr
		Nemasys	MicroBio, Cambridge, Inglaterra	1,0 – 1,5	4,0 – 6,0
	S. scapterisci	Entonem	Koppert B.V., Berkel en Rodenrings, Holanda	nr	Nr
		Proactant Ss	BioControl, Gainesville, FL, USA		
Gránulos solubles	*S. carpocapsae*	Biosafe	ThermoTrilogy, Columbia, MD, USA	4,0 – 3,0	9,0 – 12,0
	S. carpocapsae	Biosafe-N	ThermoTrilogy, Columbia, MD, USA		
	S. carpocapsae	BioVector	ThermoTrilogy, Columbia, MD, USA		
	S. carpocapsae	Vector TL	Lesco, Lansing, MI, USA	nr	Nr
	S. carpocapsae	Helix	Novartis, Mississauga, Canada	nr	Nr
	S. feltiae	X-GNAT	E.C. Geiger, Harleysville, PA, USA	1,5 – 2,0	5,0 – 7,0
		Magnet	Amycel-Spawn Mate, Watsonville, CA, USA		
	S. riobrave	BioVector	ThermoTrilogy, Columbia, MD, USA	2,0 – 3,0	4,0 – 5,0
		Vector MC	Lesco, Lansing, MI, USA		

nr: información no registrada

Tabla 10.7. Presentaciones y precios de comercialización de nematodos entomopatógenos.

Nematodo	JI (millones)	Dosis (m^2)	Precio*	
			US $	$
Steinernema sp.	10	84 - 232	24,9	49.800
Steinernema sp.	50	1.000	54,0	108.000
Steinernema sp.	100	2.000	99,0	198.000
Steinernema sp.	200	4.000	190,0	380.000
H. bactereophora	10	204	25,90	51.800
H. bactereophora	50	408	54,0	108.000
H. bactereophora	100	2.000	104,0	208.000
H. bactereophora	200	4.000	196,0	392.000

http://www.biconet.com/biocontrol/nemas.html (Último acceso 01\02\07)
* 1 US$ \ $ 2.000

registro de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y disponibilidad comercial. Sobre lo último, la empresa privada nacional, deberá realizar importantes inversiones.

El beneficio intrínseco que se obtiene en el uso de especies nativas, no sólo para preservar y proteger la biodiversidad natural de ecosistemas frágiles, sino también para aprovechar su adaptación natural al medio ambiente, principalmente al clima y a las condiciones del suelo, hacen de estos organismos unos candidatos apropiados para desarrollar e implementar programas de Manejo Integrado en Colombia, contribuyendo con la sostenibilidad de la agricultura del país.

Literatura citada

AGUILERA, M. M. 2002. Nematóides do bem. Cultivar, 25: 52-54.

AKHURST, R. J.; BOEMARE, N. 1990. Biology and Taxonomy of *Xenorhabdus*. *In:* Entomopathogenic nematodes in biological control. Gaugler R.; Kaya, H. K. Eds. Boca Raton, CRC Press, p. 75-90.

AKHURST, R. J.; DUNPHY, G. B. 1993. Tripartite interactions between symbiotically associated entomopathogenic bacteria, nematodes, and their insect hosts. *In:* Parasites and pathogens of insects. Volume 2: Pathogens. Beckage, N. E.; Thompson, S.N.; Frederici, B.A. Eds. Academic Press. San Diego, p. 1-23.

ALLARD, G. B.; MOORE, D. 1989. *Heterorhabditis* sp., nematodes as control agents for coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Scolytidae). Journal of Invertebrate Pathology, 54 (1): 45-48.

ALM, S. R.; YEH, T.; HANULA, J. L.; GEORGIS, R. 1992. Biological control of japanese, oriental, and black turf grass ataenius beetle (Coleoptera: Scarabaeidae) larve with entomopathogenic nematodes (Nematoda: Steinernematidae, Heterorhabditidae). Journal of Economic Entomology. 85: 1660-1665.

ANDALÓ, V.; NGUYEN, K. B.; MOINO Jr.; A. 2006. *Heterorhabditis amazonensis* n. sp. (Rhabditida:Heterorhabditidae) from Amazonas, Brazil. Nematology. 8(6), 853-867.

AYALA, L. D.; CALVACHE, H.; LEIVA, F. A. 2004. Evaluación de técnicas de aplicación de *Steinernema carpocapsae* (Rhabditida: Steinernematidae) para el control del barrenador gigante de la palma *Cyparissius daedalus* Cramer en los llanos orientales de Colombia. Agronomía Colombiana, 22 (2): 119-127.

BARBERENA, M. F.; BELLOTTI, A. C. 1998. Parasitismo de dos razas del nematodo *Heterorhabditis bacteriophora* sobre la chinche *Cyrtomenus bergi* (Hemiptera: *Cydnidae*) en laboratorio. Revista Colombiana de Entomología, 24 (1-2): 7-11.

BEDDING, R. A. 1993. Biological control of *Sirex noctilio* using the nematode *Deladenus siricidicola*. *In:* Nematodes and the biological control of insect pests. East Melbourne Victoria (Australia), CSIRO, information service. p. 11-20.

BEDDING, R. A.; IEDE, E. T. 2005. Application of *Beddingia siricidicola* for sirex woodwasp control. *In*: Nematodes as biocontrol agents. Grewal, P. S.; Ehlers, R. U.; Shapiro-Ilan, D.I. Eds. Chapter 21. CABI Publishing. Oxfordshire. U.K., p. 385 - 399.

BEDDING, R. A.; MILLER, L. A. 1981. Use of a nematode, *Heterorhabditis heliothidis,* to control black vine weevil, *Otiorhynchus sulcatus*, in potted plants. Annals of Applied Biology, 99: 211-216.

BELLOTTI, A. C.; MELO, E. L.; ARIAS, B.; HERRERA, C. J.; HERNÁNDEZ, M. DEL P.; HOLGUÍN, C. M.; GUERRERO, J. M.; TRUJILLO, H. 2005. Biological control in the neotropics: A selective review with emphasis on cassava. *In:* International Symposium on Biological Control of Arthropods. sept. 12-16, Davos, Switzerland. Mark S. Hoddle, Compiter. Vol. I, p. 206-227.

BILGRAMI, A. L.; BREY, C. 2005. Potential of predatory nematodes to control plant-parasitic nematodes. *In*: Nematodes as biocontrol agents. Grewal, P. S.; Ehlers, R. U.; Shapiro-Ilan, D. I., Eds. Chapter 3. CABI Publishing. Oxfordshire. U.K., p. 447 - 464.

BIRD, R. A.; AKHURST, R. J. 1983. The nature of the intestinal vesicle in nematodes of the family Steinernematidae. International Journal of Parasitology, 13: 599-606.

BLAXTER, M. L.; DE LEY, P.; GAREY, J. R.; LIU, L. X.; SCHELDEMAN, P.; VIERSTRAETE, A.; VANFLETEREN, R.; MACKEY, L. Y.; DORRIS, M.; FRISSE, L. M.; VIDA, J. T.; THOMAS, W. K. 1998. A molecular evolutionary framework for the phylum nematoda. Nature, 392: 71-75.

BOEMARE, N. 2002. Biology, taxonomy and systematics of *Photorhabdus* and *Xenorhabdus*. *In*: Entomopathogenic Nematology. Gaugler, R. Eds. CAB International, Walingford, U.K., p. 35-56.

BOEMARE, N.; LAUMOND, C.; MAULEON, H. 1996. The entomopatogenic nematode bacterium complex; biology, life cycle and vertebrate safety. Biocontrol Science and Technology, 6 (3): 333 – 345.

BURNELL, A. M.; STOCK, S. P. 2000. *Heterorhabditis, Steinernema* and their bacterial symbionts - lethal pathogens of insects. Nematology. 2 (1): 31-42.

BUSTILLO, A. E. 1976. Patogenicidad de nematodo *Neoplectana carpocapsae* en larvas, prepupas y pupas de *Oxydia trychiata*. Revista Colombiana de Entomología. 2 (4): 139-144.

BUSTILLO, A. E. 2006. Una revisión sobre la broca del café *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae), en Colombia. Revista Colombiana de Entomología. 32(2):101-116.

BUSTILLO, A. E.; CÁRDENAS, R.; VILLALBA, D. A.; BENAVIDES, P.; OROZCO, J.; POSADA, F. J. 1998. Manejo de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) en Colombia. 2 ed. Editorial Feriva, Chinchiná, Cenicafé 134 p.

CAICEDO, A. M.; BELLOTI, A. 1996. Reconocimiento de nemátodos entomopatógenos nativos asociados con *Cirtomenus bergi* Froeschner (Hemiptera: Cydnidae) en ocho localidades de Colombia. Revista Colombiana de Entomología, 22: 19-24.

CAMPBELL, J. F.; KAYA, H. K. 1999. How and why a parasitic nematode jumps. Nature, 397: 485-486.

CAPINERA, J. L.; EPSKY, N. D. 1992. Potential for biological control of soil insects in the Caribean basin using entomopathogenic nematodes. Florida Entomologist, 75 (4): 525-532.

CAPPAERT, D. C.; KOPPENHÖFER, A. M. 2003. *Steinernema scarabaei,* an entomopathogenic nematode for control of the European chafer. Biological Control, 28: 379-386.

CARNE, P. B.; REED, E. M. 1964. A simple apparatus for harvesting infective stage nematodes emerging from their insect hosts. Parasitology, 54: 551–553.

CASTILLO, A. 2007. Nematodos parásitos de la broca del café. *In*: La broca del café en América Tropical: Hallazgos y enfoques, J. F. Barrera, A. García, V. Domínguez & C. Luna. Eds. Sociedad Mexicana de Entomología y El Colegio de la Frontera Sur, México, p. 111-120.

CASTILLO, A.; BARRERA, J. F. 1998. Primer registro de nematodo parasitando a la broca del café en cafetales de México. *In:* II Reunión Intercontinental sobre broca del café, J. F. Barrera, A. A. Guerra, J. J. Menn & P. S. Baker, Eds, 29 de marzo a 2 de abril de 1998. Tapachula, Chiapas (México). p. 47.

CASTILLO, A.; INFANTE, F.; BARRERA, J. F.; CARTA, L.; VEGA, F. E. 2002. First field report of a nematode (Tylenchida: Spherurlarioidea) attacking the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae) in the Americas. Journal of Invertebrate Pathology, 79: 199-202.

CASTILLO, A.; MARBÁN, M., N. 1996. Evaluación en laboratorio de nematodos steinernematidos y heterorhabditidos para el control biológico de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferr.). Nematropica, 26 (2):101 – 109.

CASTRILLÓN A., C. 1989. Manejo integrado del picudo negro, *Cosmopolites sordidus* (Germar) en plátano y banano en la zona cafetera de Colombia. Asociación para la Cooperación en Investigaciones Bananeras en el Caribe y en América Tropical. *In*: ACORBAT. Memorias IX. Maracaibo – Venezuela, p 349 -360.

CHARWAT, S. M.; DAVIES, K. A.; HUNT, C. H. 2000. Impact of a Rhabditid nematode on survival and fecundity of *Cernuella virgata* (Mollusca: Helicidae). Biocontrol Science and Technology, 10: 147-155.

CHEN, S.L., LI, X.H., YAN, A., SPIRIDONOV, S.E.; MOENS, M. 2006. A new entomopathogenic nematode, *Steinernema hebeiense* sp. n. (Rhabditida: Steinernematidae), from North China. Nematology, 8: 563-574.

CHOO, H., KAYA, H. K. 1993. Parasitism of the brown planthopper by the Mermithid nematode *Agamermis* in rice. *In*: Nematodes and the biological control of insect pests. East Melbourne, Victoria (Australia), CSIRO. Information Service, p. 21-26.

CHOO, H. Y.; KAYA, H. K.; BURLANDO, T. M.; GAUGLER, R. 1989. Entomopathogenic nematodes: Host-finding ability in the presence of plant roots. Environmental Entomology, 18: 1136-1140.

CIAT. 2003. Integrated Pest and disease managment in major agroecosystems. Annual report. Soil Pest – Cassava and other crops, p. 53-70.

CIBC. COMMONWEALTH INSTITUTE OF BIOLOGICAL CONTROL. 1990. Control biológico de la broca de la cereza del cafeto. In: Manual de Capacitación de Control Biológico. Chinchiná (Colombia), Cenicafé, p. 140 - 153.

COOMANS, A. 2000. Nematode systematics: past, present and future. Nematology, 2 (1): 3-7.

CORREDOR, L. T.; LUQUE, J. E.; PARADA, J. C. 2006. Proceso e infección de *Steinernema feltiae*, cepa Colombia, sobre larvas de *Tecia solanivora*. In*:* Nematodos entomoparásitos: experiencias y perspectivas*.* Parada S., J. C.; Luque Z., J. E.; Piedrahía C, W. de J. Eds. Bogotá. Universidad Nacional de Colombia-Facultad de Agronomía, p. 81-98.

CUTHBERTSON, A. G.; HEAD, J.; WALTERS, K. F.; GREGORY, S. A. 2003. The efficacy of the entomopathogenic nematode, *Steinernema feltiae*, against the immature stages of *Bemisia tabaci*. Journal of Invertebrate Pathology, 83 (3): 267-267.

DAVIDSON, J. A.; GILL, S.; RAUPP, M. J. 1992. Controlling clearwing moths with entomopathogenic nematodes: the dowood borer case study. Journal of Arboricultura, 18: 81-84.

DE LEY, P. 2000. Lost in worm space: phylogeny and morphology as road maps to nematode diversity. Nematology, 2 (1): 9-6.

DE LEY, P.; BLAXTER, M. 2002. Systematic position and phylogeny. *In*: Lee, D.L. (ed.). The Biology of Nematodes. Taylor and Francis, New York, p. 1-30.

DEL CASTILLO R., J. A. 2004. Evaluación de mezclas de entomopatógenos para el control de poblaciones de broca en el suelo. Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas, *(*Tesis: Ingeniero Agrónomo*),* San Juan de Pasto, Colombia, 97 p.

DEMPSEY, C. M.; GRIFFIN, C. T. 2003. The infectivity and behaviour of exsheathed and ensheathed *Heterorhabdeitis megidis* infective juveniles. Nematology, 5: 49-53.

DIX, I.; BURNELL, A. M.; GRIFFIN, C. T.; JOYCE, S. A.; NUGENT, J. M. 1992. The identification of biological species in the genus *Heterorhabditis* (Nematoda: Heterorhabditidae) by cross breeding second-generation amphimictic adults. Parasitology 104: 509-518.

DOWNING, A. S.; ERICKSON, S. G.; KRAUS, M. J. 1991. Field evaluation of entomopathogenic nematodes against citrus root weevils (Coleoptera: Curculionidae) in Florida citrus. Florida Entomologist, 74: 584-586.

DUNCAN, L. W.; McCOY, C. W.; TERRANOVA, A. C. 1996. Estimating sample size and persistence of entomogenosus nematodes in sandy soils and their efficacy against the larvae of *Diaprepes abbreviatus* in Florida. Journal of Nematology, 28: 56-67.

DUSENBERY, D. B. 1983. Chemotactic behavior of nematodes. Journal of Nematology, 15 (2): 168-173.

EBSA, L.; BORGEMEISTER, C.; BERNDT, O.; POEHLING, H. M. 2001a. Eficacy of entomopathogenic nematodes against soil-dwelling life stages of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae). Journal of Invertebrate Pathology, 78: 119-127.

EBSA, L.; BORGEMEISTER, C.; BERNDT, O.; POEHLING, H. M. 2001b. Impact of entomopathogenic nematodes on different soil-dwelling stages of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae), in the laboratory and under semi-field conditions. Biocontrol Science and Technology, 11: 515-525.

EBSA, L.; BORGEMEISTER, C.; POEHLING, H. M. 2004. Effectiveness of differente species / strains of entomopatogenic nematodes for control of western flower thrips (*Frankliniella occidentalis*), at various concentrations, host densities and temperatures. Biological Control, 29: 145-154.

EHLERS, R. U. 1996. Current and future use of nematodes in biocontrol: Practice and commercial aspects with regard to regulatory policy issues. Biocontrol Science and Technology, 6: 303-316.

EHLERS, R. U.; SHAPIRO-ILAN, D. I. 2005. Mass production. *In*: Nematodes as biocontrol agents. Grewal, P. S.; Ehlers, R. U.; Shapiro-Ilan, D.I. Eds. Chapter 3. CABI Publishing. Oxfordshire. U.K., p. 65 - 78.

EPSKY, N. D.; WALTER, D. E.; CAPINERA, J. I. 1998. Potential role of nematophagous microarthorpods as biotic mortality factors of entomogenous nematodes (Rhabditida: Steinernematidae, Heterorhabditidae). Journal of Economic Entomology, 81: 821-825.

FINNEY, J. R.; WALKER, C. 1979. Assessement of a field trial using the DD-136 strain of *Neoaplectana* sp. for the control os *Scolytus scolytus*. Journal of Invertebrate Pathology, 33: 239-241.

FISCHER-LE SAUX, M.; MAULEON, H.; CONSTANT, P., BURNEL, B.; BOEMARE, N. 1998. PCR-ribotyping of *Xenorhabdus* and *Photothabdus* isolates from the Caribbean region in relation to the taxonomy and geographic distribution of their nematode hosts. Applied and Environmental Microbiology, 64: 4246-4254.

FLANDERS, L. K.; MILLER, M. J.; SHIELDS, J. E. 1996. *In vivo* production of *Heterorhabditis bacteriophora* "Oswego" (Rhabditidae: Heterorhabditidae) a potential biological control agent for soil- inhabiting insects in temperate regions. Journal of Economy Entomology, 89 (2): 373- 380.

FRIEDMAN, M. J. 1990. Commercial production and development. *In:* Entomopathogenic nematodes in biological control. Gaugler R.; Kaya, H. K., Eds. Boca Raton (USA), CRC Press, p. 153-172.

FUNDERBURK, J.; LATSHA, K. S. 2005. The Entomophilic *Thripinema*. *In*: Nematodes as biocontrol agents. Grewal, P. S.; Ehlers, R. U.; Shapiro-Ilan, D. I., Eds. Chapter 22. CABI Publishing. Oxfordshire. U. K., p. 401 - 410.

GARZÓN, M. Y.; AZA., B. O.; JIMÉNEZ, J.; LUQUE, J. E. 1996. Potencial del nematodo *Steinernema* sp. para el control biológico del gusano blanco de la papa. Revista Colombiana de Entomología, 22 (1): 25-30.

GAUGLER, R. 1981. Biological control potential of neoplectanid nematodes. Journal Nematology, 13 (3): 241-249.

GAUGLER, R.; BROWN, I.; SHAPIRO-ILAN, D.; ATWA, A. 2002. Automated technology for *in vivo* mass production of entomopathogenic nematodes. Biological Control, 24: 199-206.

GAUGLER, R.; GEORGIS, R. 1991. Culture method and efficacy of entomopathogenic nematodes (Rhabditida: Steinernematideae and Heterorhabditidae). Biological Control, 1: 269-274.

GEORGIS, R.; GAUGLER, R. 1991. Predictability in biological control using entomopathogenic nematodes. Journal of Economic Entomology, 84: 713-720.

GEORGIS, R.; HAUGE, N. G. M. 1988. Field evaluation of *Steinernema feltiae* against the webspining larch sawfly, *Cephalcia lariciphila*. Journal of Nematology, 20: 317-320.

GEORGIS, R.; HOM, A. 1992. Introduction of entomopathogenic nematode products into latin america and the caribbean. Nematropica, 22 (1): 81-98.

GEORGIS, R.; POINAR, G. O. Jr. 1984. Greenhouse control of the black vine weevil, *Otiorhynchus sulcatus* (Coleoptera: Curculionidae) by heterorhabditid and steinernematid nematodes. Environmental Entomology, 13: 1138-1140.

GILL, S. A.; DAVIDSON, J. A.; RAUPP, M. J. 1992. Control of the peach tree borer, *Synanthedon exitosa* (Lepidoptera), in landscape setting utilizing entomopathogenic nematodes. Journal of Arboriculture, 18 184-187.

GILL, S. A.; RAUPP, M. J. 1997. Evaluation of bioilogical and chemical application for control of Ireis borer. Journal of Environmental Horticulture, 15:108-110.

GIRALDO, D. P. 2003. Comportamiento de entomonematodos en el control de poblaciones de broca en árboles de café. Universidad de Caldas. Facultad de Ciencias Agropecuarias, (Tesis: Ingeniero Agrónomo). Manizales, Colombia, 83 p.

GLAZER, I. 1996. Survival mechanisms of entomopathogenic nematodes. Biocontrol Science and Technology, 6: 373-378.

GORDON, R.; WEBSTER, J. M. 1974. Biological control of insect by nematodes. *In* :Helminthological abstracts. Series B, Plant Nematology, 43 (3): 137-151.

GREWAL, P. S.; GEORGIS, R. 1998. Entomopathogenic nematodes. *In*: F: R: Hall and J: J: Menn, eds. Methods in biotechnology , Vol. 5, Biopesticides: use and delivery. Totowa, N. J.: Humana Press, p. 271-299.

GREWAL, P. S.; GREWAL, S. K.; TAYLOR, R. A. J.; HAMMOND, R. B. 2001. Application of molluscicidal nematodes to slug shelters: a novel approach to economic biological control of slugs. Biological Control, 22: 72-80.

GREWAL, P. S.; MARTIN, W. R.; MILLER, R. W.; LEWIS, E. E. 1997. Suppression of plant-parasitic nematode populations in turfgrass by application of entomopathogenic nematodes. Biocontrol Science and Technology, 7: 393-399.

GREWAL, P. S.; POWER, K. T.; GREWAL, S. K.; SUGGARS, A.; HAUPRICHT, S. 2004. Enhanced consistency in biological control of white grubs (Coleoptera: Scarabaeidae) with new strains of entomopathogenic nematodes. Biological Control, 30: 73-82.

GRIFFIN, C. T.; BOEMARE, N. E.; LEWIS, E. E. 2005. Biology and behaviour. *In*: Grewal, P. S., Ehlers, R.-U. & Shapiro-Ilan, D.I. (Eds). Nematodes as biological control agents. Wallingford, UK, CABI Publishing, p. 47-64.

GRIFFIN, C. T.; O'CALLAGHAN, K.; DIX, I. 2001. A self-fertile species of *Steinernema* from Indonesia: further evidence of convergent evolution amongst, entomopathogenic nematodes?. Parasitology. 122: 181-186.

GRUNDER, J. M. 1997. *Photorhabdus luminescens* als Symbiont insektenpathogener Nematoden. Ph. D., thesis. ETH Zurich, Switzerland.

HAND, R.; EHLERS, R. 2000. Pathogenicity development and reproduction of *Heterorabdhitis bacteriophora* and *Steinernema carpocapsae* under axenic *in vivo* conditions. Journal of Invertebrate Pathology, 75 (1): 55-58.

HARRIS, M. A.; OETTING, R. D.; GARDNER, W. A. 1995. Use of entomopathogenic nematodes and a new technique for control of fungus gnats, *Bradysia coprophila*, (Diptera: Sciaridae) in floriculture. Biological Control, 5: 412-418.

HASS, B.; GLEN, D. M.; BRAIN, P.; HUGHES, L. A. 1999a. Targeting biocontrol with the slug-parasitic nematode *Phasmarhabditis hermaprhodita* in slug feeding areas: a model study. Biocontrol Science and Technology, 9: 587-598.

HASS, B.; HUGHES, L. A.; GLEN, D. M. 1999b. Overall versus band application of the nematode *Phasmarhabditis hermaprhodita* with and without incorporation into soil, for biological control of slugs in winter wheat. Biocontrol Science and Technology, 9: 579-586.

HEAD, J.; LAWRENCE A. J.; WALTERS K. F. 2004. Efficacy of the entomopathogenic nematode, *Steinernema feltiae*, against *Bemisia tabaci* in relation to plant species. Journal of Applied Entomology, 128 (8): 543-547.

HOMINICK, W. H.; COLLINS, S. A.. 1997. Application of ecological information for practical use of insect pathogenic nematodes.CAPÍTULO 2. *In*: Microbial Insecticides: Novelty or Necessity?. Symposium proceedings No. 68. Farham (Inglaterra) British Crop Protection Council, 302 p.

ICA. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. 1983. Al fin uno. Notas y noticias Entomológicas. Enero-Febrero 1983. Bogotá, Colombia, p. 3.

INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO, ICA. 1980. Se descubre otro enemigo. Notas y noticias Entomológicas (Colombia). Julio-Agosto 1980, Bogotá, Colombia, p. 95.

ISHIBASHI, N.; KONDO, E. 1990. Behavior of infective juveniles. *In*: Entomopathogenic nematodes in biological control. Gaugler R.; Kaya, H. K., Eds. Boca Raton, CRC Press, p. 139-150.

JAGDALE, G. B.; CASEY, M. L.; GREWAL, P. S.; LINDQUIST, R. K. 2004. Effects of application rate and timing, potting medium, and host plant on efficacy of *Steinernema feltiae* against fungus gnat, *Bradysia coprophila*, in floriculture. Biological Control, 29: 296-305.

JOHNIGK, S. A.; EHLERS, R, U. 1999. Endotokia matricida in hermaphrodites of *Heterorhabditis* spp., and the effect of the food supply. Nematology, 1 (7-8): 717-726.

KAKOULI, D. T.; HAGUE G. M. N. 1999. Infection, development, and reproduction of the entomopathogenic nematode *Steinernema arenarium* (Nematoda: Steinernematidae) in the black vine weevil *Otiorhinchus sulcatus* (Coleoptera: Curculionidae). Nematology, 1 (2): 149 – 156.

KAKOULI, T.; LABUSCHANGE, L.; HAGUE, N. G. M. 1997. Biological control of the black vine weevil, *Otiorhynchus sulcatus* (F.) (Coleoptera: Curculionidae), with entomopathogenic nematodes (Nematoda: Rhabditida). Annals of Applied Biology, 131: 11-27.

KARD, B.; HAIN, F.; BROOKS, W. 1988. Field suppresion of three white grubs species (Col: Scarabidae) by the entomogenous nematodes *S. feltiae* and *H. heliothidis*. Journal of Economy Entomology, 81 (4): 1033-1039.

KAYA, H. K. 1990. Soil ecology. *In*: Entomopathogenic nematodes in biological control. Gaugler R.; Kaya, H. K. Editores. Boca Raton (USA), CRC Press, p. 93-115.

KAYA, H. K.; BEEDING, R. A.; AKHURST, R. J. 1993. An overview of insect parasitic and entomopathogenic nematodes. *In*: Nematodes and the biological control of insect pests. East Melbourne Victoria (Australia), CSIRO, information service, p. 1-10.

KAYA, H. K.; BROWN, L. R. 1986. Field application of entomogenous nematodoes for control of clear-wing moth borers in alder and sycamore trees. Journal of Arboriculture, 12: 150-154.

KAYA, H. K.; GAUGLER, R. 1993. Entomopathogenic nematodes. *In*: Annual Review of Entomology, 38: 181-206.

KAYA, H. K.; HARA, A. H.; REARDON, R. C. 1981. Laboratory and field evaluations of *Neoaplectana carpocapsae* (Rhabditida: Steinernematidae) agaisnt the elm leaf beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) and the western spruce budworm (Lepidoptera: Tortricidae). Canadian Entomologist, 113: 787-793.

KAYA, H. K.; KOPPENHÖFER, A. M. 1996. Effects of microbial and other antagonistic organism and competition on entomopathogenic nematodes. Biocontrol Science and Technology, 6: 357-371.

KAYA, H. K.; LINDERGREN, J. E. 1983. Parasitic nematode controls western polar borer. California Agriculture, 37: 31-32.

KAYA, H. K.; REARDON, R. C. 1982. Evaluation of *Neoaplectana carpocapsae* for biiological control of the western spruce budworm, *Choristoneura occidentalis*: ineffectiveness and persistence of tank mixes. Journal of Nematology, 14: 595-597.

KAYA, H. K.; STOCK, S. P. 1997. Techniques in insect nematology. *In:* Manual of techniques in insect pathology. Lawrence Lacey. Eds. Academic Press, Inc. San Diego. Chapter, 6. p. 281-324.

KIM, H. H.; CHOO, H. Y.; KAYA, H. K.; LEE, D. W.; LEE, S. M.; JEON, H. Y. 2004. *Steinernema carpocapsae* (Rhabditida: Steinernematidae) as a biological control agent against fungus gnat *Bradysia agrestis* (Diptera: Sciaridae) in propagation houses. Biocontrol Science and Technology, 14: 171-183.

KOPPENHÖFER, A. M.; BAUR, M.; STOCK, P.; CHOO, H.; CHINNASRI, B.; KAYA, H. K. 1997. Survival of entomopathogenic nematodes within host cadavers in dry soil. Applied Soil Ecology, 6: 231-240.

KOPPENHÖFER, A. M.; FUZY, E. M. 2003a. *Steinernema scarabaei* for the control of white grubs. Biological Control, 28: 47-59.

KOPPENHÖFER, A. M.; FUZY, E. M. 2003b. Biological and chemical control of the Asiatic garden beetle, *Maladera castanea* (Coleoptera: Scarabaeidae). Journal of Economic Entomology, 96:1076-1082.

KOPPENHÖFER, A. M.; WILSON, M. G.; BROWN, I.; BAUR, M.; KAYA, H. K.; GAUGLER, R. 2000. Biological control agents for white grubs (Coleroptera: Scarabaeidae) in anticipation of the establishment of the japanese beetle in California. Journal or Economic Entomology, 93: 71-80.

KUNG, S. P.; GAUGLER, R.; KAYA, H. K. 1991. Effects of soil temperature, moisture, and relative humidity on entomopathogenic nematode persistence. Journal of Invertebrate Pathology, 57: 242-249.

LACEY, L. A.; FRUTOS, R.; KAYA, H. K.; VAILS, P. 2001. Insect pathogens as biological control agents: do they have a future?. Biological Control, 21: 230-248.

LANDAZABAL, J.; FERNÁNDEZ, F.; FIGUEROA, A. 1973. Control biológico de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith), con el nematodo: *Neoaplectana carpocapsae* en maíz (*Zea mays*). Acta Agronómica, 23 (3-4): 41-70.

LARA, J. C.; LÓPEZ N., J. C. 2005. Evaluación de diferentes equipos de aspersión para la aplicación de nematodos entomopatógenos. Revista Colombiana de Entomología, 31 (1): 1 - 4.

LARA, J. C.; LÓPEZ N., 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.

LEE, W.; CHOO, H. Y.; KAYA, H. K.; LEE, S. M.; SMITLEY, D. R.; SHIN, H. K.; PARK, C. G. 2002. Laboratory and field evaluation of Korean entomopathogennic nematode isolates against the oriental beetle *Exomala orientalis* (Coleoptera: Scarabaeidae). Journal of Economic Entomology, 95: 918-926.

LEITE, L. G.; MACHADO, L. A.; GOULART, R. M.; TAVARES, F. M.; BATISTA FILHO, A. 2005. Screening of entomopathogenic nematodes (Nemata: Rhabditida) and the efficiency of *Heterorhabditis* sp. against the sugarcane root spittlebug *Mahanarva fimbriolata* (Fabr.) (Hemiptera: Cercopidae). Neotropical Entomology, 34: 785-790.

LENGYEL, K.; LANG, E.; FODOR, A.; SZÁLLÁS, E.; SCHUMANN, P.; STACKEBRANDT, E. 2005. Description of four novel species of *Xenorhabdus,* family Enterobacteriaceae: *Xenorhabdus budapestensis* sp. nov., *Xenorhabdus ehlersii* sp. nov., *Xenorhabdus innexi* sp. nov., and *Xenorhabdus szentirmaii* sp. nov. Syst Appl Microbiol, 28 (2): 115-122.

LEZAMA, R.; HAMM, J. J.; MOLINA, J.; LÓPEZ, M.; PESCADOR, A.; GONZÁLEZ, R.; STYER E. L. 2001. Occurrence of entomopathogens of *Spodoptera frugiperda*(lepidoptera: noctuidae) in the Mexican States of Michoacán, Colima, Jalisco and Tamaulipas. Florida Entomologist, 84 (1): 23 – 30.

LOLA-LUZ, T.; DOWNES, M.; DUNNE, R. 2005. Control of black vine weevil larvae *Otiorhynchus sulcatus* (Fabricius) (Coleoptera:Curculionidae) in grow bags outdoors with nematodes. Agricultural and Forest Entomology, 7: 121–126.

LOOTSMA, M.; SCHOLTE, K. 1997. Effects of the springtail *Folsomia fimetaria* and the nematode *Aphelenchus avenae* on *Rhhizoctonia solani* stem infection of potato at temperatures of 10 and 15°C. Plant Pathology, 46: 203-208.

LÓPEZ N., J. C.; CANO, L.; GÓNGORA, C. E.; STOCK, S. P. 2007. Diversity and evolutionary relationships of entomopathogenic nematodes (Steinernematidae and Heterorhabditidae) from the Central Andean region of Colombia. Nematology, 9 (3): 333 - 341.

LÓPEZ N., J. C.; 2002. Nematodos parásitos de insectos y su papel en el control de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari). *In:* Memorias Curso Internacional Teórico – Práctico. Sección II. Parasitoides y otros enemigos de la broca. Cenicafé, Chinchiná, Colombia, Marzo 18-22, p. 39–70.

LÓPEZ N., J. C.; 2005. ¿Es posible el uso de entomonematodos en programas MIP en Colombia ?. Avances con la broca del café. *In*: SOCOLEN Sociedad Colombiana de Entomología, Simposio Broca del Café. Socolen, Ibagué, Colombia, XXXII Congreso. Julio 27 al 29, 2005. Memorias, p. 33 –39.

LÓPEZ N., J. C.; PLICHTA, K.; GÓNGORA, C.E.; STOCK, P. 2008. A new entomopathogenic nematode, *Steinernema colombiense* n. sp. (Nematoda: Steinernematidae) from Colombia. Nematology, 10 (4): 561 – 574.

LUBEGO, S. 1992. The use of four Rhabditid Nematode species in the control of *Cosmopolites sordidus, Hypothenemus hampei* and *Cylas puncticollis*., University of Reading. Department of Agriculture. (Thesis: M.Sc. in Technology of Crop Protection), 111 p.

MALAN, A,P.; NGUYEN, K.B.; de WAAL, J.Y.; TIEDT, L. 2008. *Heterorhabditis safricana* n. sp. (Rhabditida: Heterorhabditidae), a new entomopathogenic nematode from South Africa. Nematology, 10(3):381-396.

MARSTON, N.; CAMPBELL, B.; BOLDT, E. 1975. Mass producing eggs of the greater wax moth *Galleria mellonella* (L.). Technical Bulletin No. 1510. Agricultural Research Service. United States Departament of Agriculture, 15 p.

MARTÍNEZ, M. A.; SURIS, M.; SÁNCHEZ, L.; RODRÍGUEZ, M. G.; GONZÁLEZ, E.; CASTELLANOS, L. 1998. Manejo integrado de chinches harinosos en el cultivo del cafeto. Resúmenes del II Congreso Taller Internacional Aportes del Control Biológico en la Agricultura Sostenible y I Congreso Latinoamericano de la Sección Regional Neotropical de la Organización Internacional de Lucha Biológica. Mayo 18-22, Lima, Perú, p. 91.

McCOY, C. W.; SHAPIRO, D. I.; DUNCAN, L. W.; NGUYEN, K. 2000. Entomopathogenic nematodes and other natural enemies as mortality factor for larvae of *Diaprepes abbreviatus*. Biological Control, 19: 182-190.

McCOY, C. W.; STUART, R. J.; DUNCAN, L. W.; NGUYEN, K. 2002. Field efficacy of two commercial preparatiosn of entomopathogenic nematodes against larvae of *Diaprepes abbreviatus* (Coleoptera: Curculionidae) in alfisol type soi. Florida Entomologist, 85: 537-544.

MELO, E. L., ORTEGA, C A.; SUSURLUK, A.; GAIGL, A.; EHLERS, R. U. 2006. Búsqueda de nematodos entomoparásitos asociados a insectos rizófagos en regiones de Colombia y Panamá. *In:* Nematodos entomoparásitos: experiencias y perspectivas. Parada S., J. C.; Luque Z., J. E.; Piedrahía C, W. de J., Eds. Bogotá. Universidad Nacional de Colombia-Facultad de Agronomía, p.10-27.

MELO, E. L.; ORTEGA, C. A.; GAIGL, A.; BELLOTTI, A. C.; EHLERS, R. U.; SUSURLUK, A. 2004. Búsqueda de poblaciones nativas de nemátodos entomopatógenos en regiones de Colombia y Panamá. Resúmenes del XXXI Congreso Sociedad Colombiana de Entomología (SOCOLEN), Bogotá, D. C., p. 139.

MOLINA, J. P.; LÓPEZ N., J. C. 2001. Producción *in vivo* de tres especies de entomonematodos con dos sistemas de infección en dos hospedantes. Revista Colombiana de Entomología, 27 (1-2): 73-78.

MOLINA, J. P.; LÓPEZ N., 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 N., J. C. 2003. Supervivencia y parasitismo de nematodos entomopatógenos para el control de *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae). Boletín de Sanidad Vegetal. Plagas, 29: 523–533.

MONTUFAR, E. 1993. Efecto de tres concentraciones del nematodo *Steinernema carpocapsae* y del cubrimiento del plato radicular con raquis en el control del barrenador de raíces (*Sagalassa valida* W) de palma Áfricana de Tumaco. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía. Universidad de Nariño, Pasto (Colombia), 105 p.

MORTON, A.; GARCÍA DEL PINO, F. 2007. Susceptibility of shore fly *Scatella stagnalis* to five entomopathogenic nematode strains in bioassays. Biocontrol, 52 (4): 533-545.

MRÁCEK, Z.; NGUYEN, K.B.; TAILLIEZ, P.; BOEMARE, N.; CHEN, S. 2006. *Steinernema sichuanense* n. sp. (Rhabditida, Steinernematidae), a new species of entomopathogenic nematode from the province of Sichuan, east Tibetan Mts., China. Journal of Invertebrate Pathology, 93: 157–169.

NGUYEN, K.B.; SHAPIRO-ILAN, D.I.; STUART, R.J.; McCOY, C.W.; JAMES, R.J,; ADAMS, B.J. 2004. *Heterorhabditis mexicana* n. sp. (Rhabditida: Heterorhabditidae) from Tamaulipas, Mexico, and morphological studies of the bursa of *Heterorhabditis* spp. Nematology, 6:231-244.

NGUYEN K.B.; TESFAMARIAM M.; GOZEL U.; GAUGLER R.; ADAMS B.J. 2004. *Steinernema yirgalemense* n. sp. (Rhabditida: Steinernematidae) from Etiopía. Nematology, 6:839-856.

NGUYEN K.B.; GOZEL U.; KÖPPENHÖFER H.S.; ADAMS B.J. 2006. *Heterorhabditis floridensis* n. sp. (Rhabditida: Heterorhabditidae) from Florida. Zootaxa, 1177: 1–19.

NGUYEN, K.B., MALAN, A.P.; GOZEL, U. 2006. *Steinernema khoisanae* n. sp. (Rhabditida: Steinernematidae), a new entomopathogenic nematode from South Africa. Nematology, 8:157-175.

NGUYEN, K.B., QIU, L., ZHOU, Y.; PANG, Y. 2006. *Steinernema leizhouense* sp. n. (Nematoda: Steinernematidae), a new entomopathogenic nematode from southern China. Russian Journal of Nematology, 14:101-118.

NGUYEN, K. B.; STUART R. J.; ANDALO V.; GOZEL U.; ROGERS M. E. 2007. *Steinernema texanum* n. sp. (Rhabditida: Steinernematidae), a new entomopathogenic nematode from Texas, USA. Nematology, 9(3): 379-396.

NGUYEN, K.B.; SHAPIRO-ILAN D.; MBATA G.N. 2008. *Heterorhabditis georgiana* n. sp. (Rhabditida: Heterorhabditidae) from Georgia, USA. Nematology, 10(3), 433-448.

NGUYEN, K.B.; PŮŽA, V.; MRÁČEK, Z. 2008. *Steinernema cholashanense* n. sp. (Rhabditida, Steinernematidae) a new species of entomopathogenic nematode from the province of Sichuan, Chola Shan Mountains, China. Journal of Invertebrate Pathology. 97(3):251-264.

QIU, L; FANG Y.; ZHOU, Y.; PANG Y.; NGUYEN K.B. 2004. *Steinernema guangdongense* sp. n. (Nematoda: Steinernematidae), a new entomopathogenic nematode from southern China with a note on *S. serratum (nomen nudu*m) *Zootaxa* 704: 1–20.

QIU, L.; YAN X.; ZHOU, Y.; NGUYEN K.B.; PANG Y. 2005. *Steinernema aciari* sp. n. (Nematoda: Steinernematidae), a new entomopathogenic nematode from Guangdong, China. Journal of Invertebrate Pathology, 88 (1): 58-69.

QIU, L, HU, X.., ZHOU, Y., MEI, S., NGUYEN K. B.; PANG, Y. 2005. *Steinernema akhursti* sp. n. (Nematoda: Steinernematidae) from Yunan, China. Journal of Invertebrate Pathology, 90, 151-160.

ORTIZ, E.; CALVACHE, G.; LUQUE, E. 1994. Control microbiano de *Sagalassa valida*, Walker con el nematodo *Steinernema carpocapsae* (Weiser) en Tumaco, Nariño. Palmas, 5 (1): 29-38.

PARADA, J. C. 2006. Steinernematidae en Cundinamarca y sur de Boyacá, Colombia. *In:* Nematodos entomoparásitos: experiencias y perspe*ctivas.* Parada, J. C.; Luque, J. E.; Piedrahita C, W. de J. Eds. Bogotá. Universidad Nacional de Colombia-Facultad de Agronomía, p.10-27.

PARADA, J. C.; MARTÍNEZ, J.; SÁNCHEZ, J. 2006. Escalamiento por fermentación en medio sólido y líquido de *Steinernema feltiae* (Rhabditida: Steinernematidae), cepa Colombia. *In*: Nematodos entomoparásitos: experiencias y perspectivas. Parada, J. C.; Luque, J. E.; Piedrahía, C. W. de J. Eds. Bogotá. Universidad Nacional de Colombia-Facultad de Agronomía p.115-125.

PATEL, M. N.; PERRY, R. N.; WRIGHT, D. J. 1997. Desiccation survival and water contents of entomopathogenic nematodes, *Steinernema* spp. (Rhabditida: Steinernematidae). International Journal for Parasitology, 27 (1): 61-70.

PELOQUIN, J. J.; PLATZER, E. G. 1993. Control of root gnats (Sciaridae: Diptera) by *Tetradonema plicans* Hungerford (Tetradonematidae: Nematoda) produced by a novel culture method. Journal of Invertebrate Pathology, 62 (1): 79-86.

PETERS, A. 1996. The natural host range of *Steienernema* and *Heterorhabditis* spp. and their impact on insect population. Biocontrol Science and Technology, 6: 389 - 402.

PHAN, L K.; SUBBOTIN, S. A.; WAEYENBERGE, L.; MOENS, M. 2005. A new entomopathogenic nematode, *Steinernema rubustispiculum* n., sp. (Rhabditida: Steinernematidae), from Chumomray National Park in Vietnam. Systematic Parasitology, 60: 23-32.

PHAN, L.K., SPIRIDONOV, S.E., SUBBOTIN, S.A.; MOENS, M. 2006. Four new species of *Steinernema* Travassos, 1928 with short infective juveniles from Vietnam. Russian Journal of Nematology, 14, 11-29

PHAN, L.K., TAKEMOTO, S.; FUTAI, K. 2006. *Steinernema ashiuense* sp. n. (Nematoda: Steinernematidae), a new entomopathogenic nematode from Japan. Nematology, 8(5): 681-690.

PLATZER, E. G.; MULLENS, B. A.; SHAMSELDEAN, M. M. 2005. Mermithid nematodes. *In*: Nematodes as biocontrol agents. Grewal, P. S.; Ehlers, R. U.; Shapiro-Ilan, D. I., Eds. Chapter 23. CABI Publishing. Oxfordshire. U.K., p. 411 - 418.

POINAR, G. O. Jr. 1976. Description and biology of a new insect parasitic Rhabditoid, *Heterorhabditis bacteriophora* n. gen., n. sp. (Rhabditida; Heterorhabditidae N. Fam.). Nematologica, 21: 463-470.

POINAR, G. O. Jr. 1990. Biology and taxonomy of Steinernematidae and Heterorhabditidae. *In:* Entomopathogenic nematodes in biological control. Gaugler R.; Kaya, H. K. Eds. Boca Raton (USA), CRC Press, p. 23-61.

POINAR, G. O. Jr.; BUCKLEY, R. 2006. Nematode (Nematoda: Mermithidae) and hairworm (Nematomorpha: Chordodidae) parasites in early cretaceous amber. Journal of Invertebrate Pathology, 93:36-41.

POINAR, G. O. Jr.; LACHAUD, J. P.; CASTILLO, A.; INFANTE, F. 2006. Recent and fossil nematode parasites (Nematoda: Mermithidae) of neotropical ants. Journal of Invertebrate Pathology, 91: 19-26.

POINAR, G. O. Jr.; LINARES, B. 1985. *Hexamermis dactylocercus* n. sp. (Mermithidae: Nematoda), a parasite of *Aeneoalmia varia* (Cercopidae: Homoptera) in Venezuela. Revue Nématol., 8 (2): 109-111.

POINAR, G. O. Jr.; VEGA, F. E.; CASTILLO, A.; CHAVEZ, I. E.; INFANTE, F. 2004. *Metaparasitylenchus hypothenemi* n. sp (Nematoda: Allantonematidae), a parasite of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Curculionidae: Scolytinae). Journal of Parasitology, 90 (5): 1106-1110.

POSADA, F. J.; CÁRDENAS, R.; ARCILA, J.; GIL, L. F.; MEJÍA, C. G. 2001. Las babosas causantes del anillado del tallo del cafeto. Avances Técnicos Cenicafé, Chinchiná, Colombia, No. 289, 8 p.

PREMACHANDRA, W. T. S. D.; BORGEMEISTER, C.; BERNDT, O.; EHLERS R. U.; POEHLING, H. M.. 2003. Combined releases of entomopathogenic nematodes and the predatory mite *Hypoaspis aculeifer* to control soil-dwelling stages of western flower thrips *Frankliniella occidentalis*. Biocontrol, 48: 529 - 541.

QIN, X.; KAO, R.; YANG, H.; ZHANG, G. 1998. Study on application of entomopathogenic nematodes of *Steinernema bibionis* and *S. feltiae* to conbtrol *Anoplophora glabripennis* and *Holcocerus insularis*. Forest Research, 1: 179-185.

QIU, L.; FANG, Y; ZHOU, Y.; PANG, Y.; NGUYEN, K.B. 2004. *Steinernema guangdongense* n sp.. (Nematoda: Steinernematidae),a new entomopathogenic nematode from southern China with a note on *S. serratum (nomen nudu*m) Zootaxa, 704: 1–20.

QIU, L.; HU, X.; ZHOU, Y.; MEI, S.; NGUYEN, K. B.; PANG, Y. 2005. *Steinernema akhursti* n. sp. (Nematoda: Steinernematidae) from Yunnan, China. Journal of Invertebrate Pathology, 90 (9): 151-160.

QIU, L, HU, X.., ZHOU, Y., PANG, Y.; NGUYEN K. B. 2005. *Steinernema beddingi* n. sp. (Nematoda:Steinernematidae), a new entomopathogenic nematodes fron Yunan, China. Nematology 7(5): 737-749.

QUINTERO, M. P. 2003. Comparación en laboratorio de la patogenicidad de tres especies de nematodos entomopatógenos (Rhabditida) sobre larvas de tercer ínstar de *Phyllophaga menetriesi* (Blanchard) (Coleoptera: Scarabaeidae). Trabajo de grado de Biología. Universidad del Valle, Facultad de Ciencias, Santiago de Cali, Colombia, 49 p.

REALPE, F. J.; BUSTILLO, A. E.; LÓPEZ, J. C. 2007. Optimización de la cría de *Galleria mellonella* (L.) para la producción de dos nematodos entomopatógenos parásitos de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari). Revista Cenicafé 58 (2):142-157.

REED, E. M.; WALLACE, H. R. 1965. Leaping locomotion by an insect-parasitic nematode. Nature, 206 (4980): 210-211.

RENN, N. 1995. Mortality of immature houseflies (*Musca domestica* L.) in artificial diet and chicken manure after exposure to encapsulated entomopathogenic nematodes (Rhabditida: Steinernematidae, Heterorhabditidae). Biocontrol Science and Technology, 5: 349 - 359.

ROGERS, C. E.; MARTI, O. G.; SIMMONS, A. M. 1993. *Noctuidonema guyanenese* (Nematoda: Aphelenchoididae): host range and pathogenicity to the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera:Noctuidae). *In:* Nematodes and the biological control of insect pests. East Melbourne, Victoria (Australia). CSIRO. information service, p. 27-32.

SÁENZ, A. 1998. *Steinernema feltiae* cepa Villapinzón (Rhabditida: Steinernematidae) ciclo de vida, patogenicidad y métodos de cría. Tesis Maestría en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía. Santafé de Bogotá, p. 125.

SÁENZ, A.; BENITEZ, E.; DE HARO, E. 2005. Patogenicidad y signos en larvas del barrenador de raíces de palma de aceite, *Sagalassa valida,* por nematodos entomopatógenos. Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite – Cenipalma, Ceniavances, 127: 1-4.

SÁENZ, A.; LUQUE, J. 2000. Cultivo *in vivo* y método de almacenamiento para juveniles infectivos de *Steinernema feltiae* (Rhabditidae: Steinernematidae). Agronomía Colombiana, 17 (1-3): 37-45.

SELVAN, S.; GREWAL, P. S.; GAUGLER, R.; TOMALAK, M. 1994. Evaluation of steinernematid nematodes against *Popillia japonica* (Coleoptera: Scarabaeidae) larvae: species, strains, and rinse after application. Journal of Economic Entomology, 87: 605-609.

SHAPIRO, D. I.; McCOY, W. C. 2000. Effects of culture method and formulation of the virulence of *S. riobrave* (Rhabditida: Steinernematidae) to *Diaprepes abbreviatus* (Coleoptera:Curculionidae). Journal of Nematology, 32 (3): 281-288.

SIDDIQI, M. R. 2000. *Tylenchida* parasites of plants and insects. CAB International, Wallingford, UK, p. 633-751.

SMITH-FIOLA, D. C.; GILL, S. A.; WAY, R. G. 1996. Evaluation of entomopathogenic nematodes as biological control against the banded ash clerar-wing borer. Journal of Environmental Horticulture, 14: 67-71.

SMITS, P. H. 1997. Insect pathogens: their suitability as biopesticides. *In:* Microbial Insecticides: Novelty or Necessity?. Chapter 1. Symposium proceedings No. 68. Farham (Inglaterra) British Crop Protection Council, 302 p.

SNYDER, H. STOCK, S. P., FLORES-LARA, Y., KIM, S. K.; FORST, S. 2007. New insights into thecolonization and release process of *Xenorhabdus nematophila* and the morphology and ultrastructureof the bacterial receptacle of its nematode host, *Steinernema carpocapsa*e. Applied Environmental Microbiology.73: 5338-5346.

SPIRIDONOV, S. E.; KRASOMIL-OSTERFELD, K.; MOENS, M. 2004. *Steinernema jollieti* sp. n. (Rhabditida: Steinernematidae), a new entomopathogenic nematode from the American Midwest. Russian Journal of Nematology 12 (1): 85-96.

STOCK, S. P. 1995. Natural populations of entomopathogenic nematodes from the Pampean Region of Argentina. Nematropica, 25: 143-148.

STOCK, S. P. 1998. Sistemática y biología de nematodos parásitos y asociados a insectos de importancia económica. Universidad Nacional del Litoral. Esperanza, Santa Fe (Argentina), 106 p.

STOCK, S. P.; GRIFFIN, C. T.; CHAERANI, R. 2004. Morphological and molecular caracterization of *Steinernema hermaphorditum* n. sp. (Nematoda: Steinernematidae), an entomopathogenic nematode from Indonesia, and its phylogenetic relationships with other members of the genus. Nematology, 6 (3): 401-412.

STOCK, S. P.; HUNT, D. J. 2005. Nematode morphology and systematics. *In*: Grewal, P. S., Ehlers, R. U.; Shapiro-Ilan, D. I. (Eds). Nematodes as biological control agents. Wallingford, UK, CABI Publishing, p. 3-43.

STURHAN, D.; SPIRIDONOV, S. E.; MRÁCEK, Z. 2005. *Steinernema silvaticum* n. sp. (Rhabditida: Steinernematidae), a new entomopathogenic nematode from Europe. Nematology, 7 (2): 227-241.

SULISTYANTO, D.; EHLERS. R. U. 1996. Efficacy of the entomopathogenic nematodes *Heterorhabditis megidis* and *Heterorhabditis bacteriophora* for control of grubs (*Phylloptertha horticola* and *Aphodius contaminatus*) in golf course turf. Biocontrol Science and Technology, 6:247-250.

TAILLIEZ, P.; PATÉS, S.; GINIBRE, N.; BOEMARE, N. 2006. New insight into diversity in the genus *Xenorhabdus*, including the description of ten novel species. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 56: 2805-2818.

TANADA, Y.; KAYA, H. K. 1993. Nematodes, nematomorphs, and plathelminthes. *In*: Insect pathology. Chapter 13. San Diego, USA, Academic Press, 666 p.

TARASCO, E.; MRÁČEK, Z.; NGUYEN, K.B.; TRIGGIAN, O. *Steinernema ichnusae* sp. n. (Nematoda: Steinernematidae) a new entomopathogenic nematode from Sardinia Island (Italy). Journal of Invertebrate Pathology. In Press.

TAYLOR, A. L. 1935. A review of a fossil nematode. Proceedings of Helminthological Society of Washington, 2: 47-49.

TIMPER, P.; KAYA, H. K. 1989. Role of the second stage cuticle of entomogenous nematodes in preventing infection by nematophagous fungi. Journal of Invertebrate Pathology, 54: 314-321.

TOMALAK, M. 2004. Infectivity of entomopathogenic nematodes to soil-dwelling developmental stages of the tree leaf beetles *Altica quercetorum* and *Agelastica alni*. Entomologia Experimentalis et Applicata, 110:125-133.

TREVERROW, N.; BEEDING, R. A.; DETTMANN, E. B.; MADOX, C. 1991. Evaluation of entomopathogenic nematodes for control of *Cosmopolites sordidus* (Gemar) (Coleoptera: Curculionidae), a pest of bananas in Australia. Annals of Applied Biology, 119: 139-145.

TRIGGIANI O.; MRACEK Z.; REID A. 2004. *Steinernema apuliae* sp. n. (Rhabditida: Steinernematidae): a new entomopathogenic nematode from southern Italy. Zootaxa. 460: 1-12.

URIBE-LORIO L.; MORA M.; STOCK S.P. 2007. *Steinernema costaricense* n. sp. and *S. puntauvense* n. sp. (Rhabditida: Steinernematidae), two new entomopathogenic nematodes from Costa Rica. Systematic Parasitology, 68(3):167-82

VALDES, V. Y.; ESCOBAR, H. M. 2006. Susceptibilidad de *Hypothenemus hampei* Ferrari a las especies de nematodos entomopatógenos *Steinernema cubanum, Heterorhabditis indica* y *Heterorhabditis bacteriophora*. Fitosanidad, 10 (3): 245-246.

VARAPRASAD, K. S.; BALASUBRAMANIAN, S.; DINAKAR, B. J.; RAO, R. C. V. R. 1994. First report of an entomogenous nematode, *Panagrolaimus* sp., from coffee-berry borer, *Hypothenemus gampei* (Ferrari) from Karnataka, India. Plant Protection Bulletin Faridabad, 46 (2-3): 34.

VOLCY, C. 1997. Nematodos. El ABC de la Nematología. Tomo 1. Medellín, Colombia, 62 p.

WAEREBEKE, D. V.; REMILLET, M. 1973. Moprphologie et biologie de *Heterogonema ovamsculis* n. sp. (Nematoda: Tetradonematidae) parasite de nitidulidae (Coleoptera). Nematologica 19: 80-92.

WHITE, G. F. 1927. A method for obtaining infective nematode larvae from cultures. Science 66: 302-303.

WILLIAMS, E. C.; MacDONALD, O.C. 1995. Critical factors required by the nematod *Steinernema feltiae* for the control of the leafminers *Liriomyza huidobrensis, Liriomyza bryoniae* and *Chromatomyia syngenesiae*. Annals of Applied Biology. 127:329-341.

WILSON, M. J.; GLEN, D. M.; GEORGE, S. K. 1993. The rhabditid nematode *Phasmarhabditis hermaphrodita* as a potential biological control agent for slugs. Biocontrol Science and Technology. 3:503-511.

WOUTS, W. M. 1981. Mass production of entomogenous nematode *Heterorhabditis heliothidis* (Nematoda: Heterorabdhitidae) on artificial media. Journal of Nematology, 13 (4): 467-469.

WOUTS, W. M. 1991. *Steinernema* (*Neoaplectana*) and *Heterorhabditis* species. *In:* Manual of agricultural nematology. Marcel Dekker Inc., New York.. p. 855-897.

YANG H.; JIAN H.; ZHANG S.; ZHANG G. 1997. Quality of the Entomopathogenic Nematode *Steinernema carpocapsae* Produced on Different Media. Biological Control, 10 (3): 193 - 198.

YOSHIDA, M. 2004. *Steinernema litorale* n. sp. (Rhabditida:Steinernematidae), a new entomopathogenic nematode from Japan. Nematology, 6:819-838.

ZHANG C.; LIU J.; XU M.; SUN J.; YANG S.; AN X.; GAO G.; LIN M.; LAI R.; HE Z.; WU Y.; ZHANG K. 2008. *Heterorhabditidoides chongmingensis* gen. nov., sp. nov. (Rhabditida: Rhabditidae), a novel member of the entomopathogenic nematodes. Journal of Invertebrate Pathology, 98(2):153-68.

ZENG, Y.; GIBLIN-DAVIS, R. M.; YE, Y.; BÉLAIR, G.; BOIVIN, G.; THOMAS, W. K. 2007. *Bradynema listronoti* n. sp. (Nematoda: Allantonematidae), a parasite of the carrot weevil *Listronotus oregonensis* (Coleoptera: Curculionidae) in Quebec, Canada. Nematology. 9(5): 609-623.

ZUCKERMAN, B. M.; JANSSON, H. B. 1984. Nematode chemotaxis and possible mechanisms of host-prey recognition. Annual Review of Phytopathology, 22: 95-113.

ZULUAGA, C. A. 2003. Identificación de chizas (Col: Melolonthidae) asociadas a pasto ''kikuyo'' (*Pennisetum clandestinum* Hoechst) y papa (*Solanum tuberosum* L.) y sus posibles enemigos naturales en Cundinamarca. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional, Bogotá, Colombia, 52 p.

CAPÍTULO 11

Los insecticidas en el control químico de plagas

Álex Enrique Bustillo Pardey

Los insecticidas de síntesis conforman el grupo de productos utilizados para el control químico de insectos plagas, y forman parte de una de las estrategias que se utilizan para la represión de poblaciones dentro de un programa MIP. Estos compuestos se denominan comúnmente plaguicidas. El éxito del control químico o por lo menos de una aplicación de insecticidas, en el control de las plagas está supeditado al criterio que se tenga para decidir: el tipo de producto a usar, la forma de aplicarlo y el momento u oportunidad para ejecutar el tratamiento. Estas decisiones exigen conocimientos sobre las características de los productos insecticidas, los equipos de aplicación, las plagas y la planta cultivada. También hay que tener en cuenta las prácticas culturales, las condiciones climáticas, las condiciones económicas del cultivo y del agricultor, y las características culturales y sociales del medio (Andrews y Quezada, 1989; Barrons, 1981).

El desarrollo de los insecticidas

El desarrollo de los insecticidas modernos en la agricultura se inició después de terminada la Segunda Guerra Mundial. El descubrimiento de la acción insecticida del DDT en 1939, y del BHC en 1941, permitió su uso para combatir insectos vectores de enfermedades que afectaban a las tropas aliadas. Rápidamente su uso se extendió al combate de plagas agrícolas y del ganado, y más tarde se generalizó en casi todos los países; al grupo de los insecticidas clorados pronto se unió el grupo de los fosforados, posteriormente los carbamatos y más recientemente los piretroides. Con anterioridad a esta época sólo se conocían unos pocos compuestos de origen mineral y vegetal para combatir las plagas de los cultivos (Casida y Quistad, 1988; Gooding 1980).

A comienzos del siglo pasado se aplicó por primera vez un producto químico sobre extensiones relativamente grandes. Se trató del "verde de París", un insecticida inorgánico, empleado contra el *Leptinotarsa decemlineata,* plaga de la papa en los Estados Unidos. Luego se desarrollaron otros insecticidas inorgánicos como el arseniato de calcio, para controlar insectos masticadores, y productos derivados de plantas, como la nicotina y la rotenona, contra insectos picadores-chupadores. Esta situación perduró sin mayores cambios hasta inicios de la Segunda Guerra Mundial (Forgash, 1984; Cisneros, 1974).

En la actualidad se cuenta con una gran cantidad de compuestos insecticidas y otros plaguicidas con características toxicológicas, físicas y químicas muy diversas. Miles de nuevos productos se investigan anualmente, en la búsqueda de propiedades plaguicidas, y algunos de ellos se incorporan al mercado después de muchos años de experimentación. Entre los países productores de insecticidas más importantes están Estados Unidos, Alemania, Japón, Rusia, Suiza, Italia, Holanda y recientemente, China e India (Dent, 1995; Fairchild, 1978; Jepson, 2000).

Los insecticidas son importantes por sus rápidos efectos en la represión de las plagas y por su facilidad de manejo. Se considera que su uso ha jugado un papel importante en el incremento de la productividad agrícola en las últimas décadas, sobre todo en los países más tecnificados. Las primeras aplicaciones de insecticidas modernos fueron tan espectaculares que se cifraron muchas esperanzas en la posibilidad de erradicar las principales plagas. Desafortunadamente, después de algo más de cuatro décadas de aquellos resultados extraordinarios, se puede comprobar que los problemas de plagas no han desaparecido y, por

el contrario, en muchos casos se han agravado. La utilización de los plaguicidas trajo consigo fenómenos nuevos, no previstos, como el desarrollo de resistencia a los insecticidas y la aparición de nuevas plagas por la destrucción de sus enemigos naturales (March, 1959; Moorefield, 1959; Oudejeans, 1982).

En la actualidad, la pérdida de eficacia, la aparición de nuevas plagas, la contaminación del medio ambiente, la destrucción de la fauna benéfica y silvestre, y los peligros de intoxicación, son fenómenos comunes ligados al uso de insecticidas. A pesar de todo ello, la agricultura moderna difícilmente podría mantener altos rendimientos sin el uso razonable de estos productos. Muchos de los problemas citados se han derivado del mal empleo y uso excesivo de insecticidas y plaguicidas. Aún hoy en día mucha gente, incluyendo agricultores y profesionales poco informados, creen que el control de las plagas por medio de insecticidas es algo simple y basta con seguir las instrucciones de los envases de plaguicidas o, lo que es peor, creer que "si poco es bueno, mucho es mejor". De esta manera aumentan dosis innecesariamente o mezclan productos sin ninguna racionalidad, para estar seguros de no fallar con el tratamiento (Cisneros, 1974; Young, 1986).

Efecto de los insecticidas en el ecosistema agrícola

Desde el punto de vista ecológico, el insecticida es una sustancia tóxica que el hombre introduce al ecosistema agrícola, afectando a todos sus organismos, en particular a los animales. La intensidad del efecto varía según las características del insecticida, el grado de susceptibilidad de las especies fitófagas y benéficas presentes, la formulación y la dosis del producto, la forma en que es aplicado, la clase de cultivo y las condiciones climáticas prevalecientes durante las aplicaciones. Es normal que los efectos se extiendan más allá de los límites del campo aplicado, pues los insecticidas son fácilmente llevados por el viento y el agua (Tait y Napompeth, 1987).

Efecto de los insecticidas sobre los benéficos

Normalmente los insectos benéficos son más susceptibles que las especies fitófagas, por lo que sus poblaciones son afectadas más drásticamente por las aplicaciones de insecticidas. La destrucción de los controladores biológicos produce dos situaciones, una es la rápida resurgencia de la plaga que causa el problema y que motiva su control y la otra es la aparición de nuevas plagas (Rabb y Guthrie, 1970; Maredia *et al*., 2003).

La **resurgencia** se debe a la eliminación de los enemigos biológicos de la plaga, que aunque no estaban en proporción satisfactoria para mantener la población de la plaga en niveles bajos, de alguna manera ejercían cierto grado de control. Una vez desaparecido el efecto del insecticida, la plaga, libre de sus enemigos biológicos, se incrementa rápidamente hasta alcanzar niveles mayores que los anteriores.

La **aparición de nuevas plagas** es consecuencia de la eliminación de los enemigos biológicos de las otras especies fitófagas, a las que mantenían en niveles bajos. Sin este control natural, las poblaciones de insectos, que antes no tenían importancia económica, se incrementan y alcanzan niveles de plagas.

Resistencia a los insecticidas

Cuando se utilizan insecticidas, las primeras aplicaciones provocan altas mortalidades en las plagas y solo unos pocos individuos, que reúnen características especiales, pueden sobrevivir. Estos individuos se seleccionan con las continuas aplicaciones y terminan formando una población distinta, capaz de sobrevivir a los tratamientos. Así se desarrollan las poblaciones resistentes a los insecticidas. El incremento de las dosis hace que la selección sea más severa y se desarrollen niveles de resistencia más altos (Forgash, 1984; Geoghion y Taylor, 1986; Dent, 1991).

Contaminación ambiental

Las aplicaciones de insecticidas contribuyen a la contaminación del medio ambiente, con el agravante de que son productos de gran actividad biológica. Las mayores dosis y los menores intervalos entre aplicaciones, y entre la última aplicación y la cosecha, pueden generar residuos tóxicos en los productos cosechados; así mismo, incrementan los riesgos de intoxicaciones directas y elevan los costos del control fitosanitario (Cisneros, 1974; Brown, 1959).

Características de los insecticidas

Cada producto insecticida presenta características toxicológicas, químicas y físicas propias, que determinan su eficacia contra las plagas, pero al mismo tiempo su efecto sobre los insectos benéficos, la planta, los animales silvestres y el mismo hombre. Las características químicas y físicas determinan su estabilidad, persistencia en el medio ambiente, compatibilidad y la forma como se preparan las formulaciones comerciales.

Toxicidad a los insectos

Para que un insecticida cause la muerte de un insecto debe afectar un sistema vital de su organismo. Así por ejemplo, las piretrinas, la nicotina, los insecticidas orgánicos sintéticos fosforados, carbamatos y piretroides afectan el sistema nervioso; los tiocianatos afectan el aparato respiratorio; los arsenicales destruyen la pared intestinal; y los insecticidas clorados orgánicos afectan procesos en la sinapsis y en el axon de la neurona. Otros insecticidas modernos afectan los procesos de muda o de quitinización del integumento (Brown, 1959).

Grado de toxicidad

El grado de toxicidad de un insecticida contra una población de insectos se expresa como Dosis Letal Media o DL_{50}, que es la cantidad de insecticida requerida para causar la muerte del 50% de un grupo representativo de insectos. La dosis letal media puede expresarse en cantidad de insecticida por individuo, por ejemplo 15 microgramos por larva o por insecto adulto, o en forma más precisa, en la cantidad de insecticida por unidad de peso del insecto. Así se dice que la DL_{50} del parathion para la cucaracha americana es de 1,2 μg/g de peso vivo del adulto (Fairchild, 1978; Guill y Eaton, 1951; NACA, 1969).

Espectro de acción de un insecticida

No todas las especies de insectos son igualmente susceptibles a la aplicación de un insecticida. Estas diferencias se deben a que, debido a algún mecanismo, el producto no llega a acumularse en el cuerpo del insecto en cantidades suficientes para ser letal. El mecanismo puede consistir en diferencias en la velocidad de absorción del insecticida, a reacciones enzimáticas que descomponen el producto, o que el producto es eliminado fácilmente (Maredia *et al*., 2003; NAC, 1968).

También se presentan diferencias de susceptibilidad entre individuos de una misma población y, sobre todo, entre los diferentes estados de desarrollo de una especie de insecto. Especies muy próximas pueden tener grados de susceptibilidad diferentes. Así en general, *Heliothis virescens* es menos susceptible a los insecticidas que *H. zea.* Ciertos insecticidas son efectivos contra un gran número de especies plagas, mientras que otros productos sólo son efectivos contra un grupo relativamente pequeño, generalmente de especies relacionadas entre sí. Los primeros se denominan insecticidas de **amplio espectro** o politóxicos y los segundos, insecticidas **específicos**, selectivos u oligotóxicos. Ejemplos de insecticidas de amplio espectro son DDT, BHC, parathión, carbofuran y cipermetrina, entre otros. Entre los insecticidas específicos está pirimicarb, especialmente efectivo contra áfidos, Mirex, particularmente eficiente contra las hormigas, y buprofezin con efectos larvicidas persistentes contra cochinillas, cochinillas harinosas y moscas blancas. Hay muchos casos de compuestos cuyos espectros pueden considerarse intermedios; así como hay numerosas

excepciones para las generalizaciones de los insecticidas específicos y de amplio espectro (Cisneros, 1974; Rabb y Guthrie, 1970; Oudejeans, 1982).

El DDT es un insecticida de amplio espectro, pero en general es inefectivo contra langostas, grillos, cochinillas, algunos coleópteros y la mayoría de los áfidos, y sin embargo controla el áfido de la arveja *Macrosiphon pisi*. El parathion, también de amplio espectro, se usó para controlar muchas especies de cochinillas, incluyendo *Coccus pseudomagnoliarum,* pero era ineficiente contra *Coccus hesperidum*. Se puede deducir por lo expuesto, que las generalidades sobre el efecto de los productos insecticidas constituyen una orientación útil pero, en última instancia, la efectividad de un producto dado contra una plaga determinada sólo puede quedar establecida con certeza mediante la experimentación. Endrín, carbaryl y aminocarb, por ejemplo, son efectivos contra numerosas larvas de lepidópteros, y los tres productos controlan eficientemente larvas de *Anticarsia gemmatalis* de la familia Noctuidae. Sin embargo, el efecto del carbaryl es muy limitado contra *Prodenia endemia* que pertenece a la misma familia (Noctuidae), mientras que los otros dos productos son efectivos. Aldicarb es muy efectivo contra insectos picadores-chupadores del algodonero, pero en general, no controla larvas de lepidópteros; sin embargo, ha resultado efectivo contra larvas de *Bucculatrix,* pequeño lepidóptero perforador de la hoja del algodonero (Herrera, 1958; Bennelt, 1957; Beingolea, 1958).

Estabilidad y efecto residual

Los plaguicidas presentan grandes variaciones en cuanto a su estabilidad química y física. Esto afecta el tiempo y las condiciones de su almacenamiento, así como su efecto residual en la planta.

Expuestos al medio ambiente, los insecticidas que tienen una alta tensión de vapor se tornan volátiles y se dispersan más rápidamente que aquellos con baja tensión de vapor. Por otro lado, los factores físicos, químicos y biológicos del medio ambiente también influyen marcadamente en la estabilidad y la persistencia de los productos. Entre estos factores se encuentran la temperatura, la luz, la radiación ultravioleta, los agentes oxidantes, hidrolizantes y reductores, y el pH del medio, así como los fermentos y los microorganismos desintegradores (Rabb y Guthrie, 1970; Rumker y Horay, 1972).

Los insecticidas de origen vegetal como la nicotina, rotenona, piretrina y algunos insecticidas fosforados como el TEPP y DDVP, se descomponen o disipan rápidamente. Por el contrario, los insecticidas arsenicales y la mayoría de los insecticidas clorados como el DDT, el eldrín y el dieldrín persisten por largo tiempo. Los insecticidas fosforados y carbamatos incluyen tanto productos de rápida descomposición como productos de mediana y larga persistencia. Entre los insecticidas sistémicos algunos productos se descomponen rápidamente como el mevinfos, mientras que otros perduran por unas pocas semanas como el demeton o el forato, o por períodos más prolongados como el aldicarb (Rabb y Guthrie, 1970; Rumker y Horay, 1972).

En la utilización de un insecticida es importante considerar que el efecto residual prolongado confiere un mayor período de protección a las plantas, pero al mismo tiempo afecta gravemente la fauna benéfica y dificulta su recuperación, incrementa el peligro de los residuos tóxicos sobre las plantas y requiere de un mayor intervalo entre la última aplicación y la cosecha. Lo contrario puede indicarse para los productos de escaso poder residual.

Toxicidad de insecticidas a las plantas

Los insecticidas agrícolas normalmente no son fitotóxicos porque en el proceso de su selección se eliminan las sustancias con esos efectos. Sin embargo, no todos los compuestos que llegan al mercado son necesariamente inocuos para las plantas. Ciertos compuestos pueden resultar tóxicos para algunas especies de plantas o variedades, o pueden afectar la fisiología normal de la planta (floración, retención de frutos), en grados que varían con las dosis, el estado de desarrollo de la planta, las condiciones ambientales en el momento de la aplicación y la frecuencia de las aplicaciones del producto. También existen productos que resultan fitotóxicos cuando se mezclan con otros, al ser aplicados o cuando todavía quedan residuos de otras sustancias sobre la planta. Este efecto es uno de los factores que determinan la incompatibilidad de los productos (Dent, 1995; Rabb y Guthrie, 1970; Tait y Napompeth, 1987; Edwards, 1970).

Toxicidad de los insecticidas en el hombre

Los insecticidas, además de ser tóxicos para las plagas, son también tóxicos para los animales de sangre caliente, incluyendo el hombre. El personal que trabaja en la fabricación o en la formulación de los productos plaguicidas, los agricultores y operadores que manipulan y aplican los productos insecticidas, así como el consumidor de los productos vegetales tratados con estos tóxicos, están expuestos a intoxicaciones.

Tipos de toxicidad

La toxicidad se clasifica en aguda y crónica. La **toxicidad aguda** es producida por dosis relativamente altas de insecticidas que causan efectos rápidos. La **toxicidad crónica** es consecuencia de una serie de dosis pequeñas, cuyos efectos son muy difíciles de medir ya que normalmente debe transcurrir un tiempo prolongado para manifestarse. Estos efectos en la actualidad son de mucha importancia. Un insecticida en las dosis recomendadas no debe afectar la reproducción de los mamíferos, no debe generar efectos teratogénicos, ni tener efectos cancerígenos. Cualquier manifestación de estos efectos inhabilita su uso (NACA, 1969; National Research Council, 1987).

Los casos de intoxicaciones agudas generalmente son consecuencia de algún accidente en la manipulación del insecticida, por descuido o ignorancia. Las advertencias señaladas en las etiquetas de los envases se deben acatar estrictamente. Se reconocen las siguientes clases de intoxicaciones:

Dermal por contacto del insecticida con la piel
Por ingestión o toxicidad oral
Por inhalación o toxicidad pulmonar

La **toxicidad dermal** resulta del contacto con el insecticida, debido a una aplicación defectuosa o inadecuada protección del operario, como falta de calzado, ropa o protector impermeable. La **toxicidad oral** suele ser estrictamente accidental, al confundir un insecticida con un alimento o por ingerir vegetales recién tratados. La **toxicidad por inhalación** se produce por la exposición a los vapores tóxicos o a las neblinas de la aspersión. Para evitar este efecto se deben usar máscaras con filtros apropiados, debe evitarse el manejo de productos concentrados en sitios cerrados, y en el campo, al manipular o aplicar los insecticidas, el operador debe ubicarse en contra del viento para protegerse de los vapores y neblinas de los insecticidas. Después de terminar la aplicación de los insecticidas, los operarios deben bañarse o por lo menos lavarse las manos y otras partes expuestas del cuerpo, sobre todo antes de comer o fumar (NACA, 1969).

La toxicidad aguda de un insecticida para los animales de sangre caliente se expresa también en forma de dosis letal media (DL_{50}), tal como se indicó para los insectos, pero se expresa en miligramos de insecticida por kilogramo de peso vivo del animal. En la mayoría de los casos, la referencia de la toxicidad para los mamíferos corresponde a las dosis letales medias determinadas para ratas con administración oral, salvo que se indique otra cosa. Así, la dosis letal media para el DDT es de 250 mg/kg, la del parathion de 4 a 13 mg/kg, y la del aldicarb de 0,9 mg/kg. Cuanto menor es el valor de la dosis letal media mayor es la toxicidad del producto (NAC, 1968; NACA, 1969).

Precauciones para evitar las intoxicaciones

Por disposiciones legales, en la etiqueta de los envases se indica en forma permanente y legible el grado de toxicidad, las precauciones que deben tomarse, el antídoto y su modo de administración en casos de intoxicación. Hay una tendencia a internacionalizar el grado del peligro mediante el color de las etiquetas, símbolos gráficos (pictogramas) y palabras. La FAO y la Organización Mundial de la Salud han publicado una serie de boletines sobre las directrices para el registro y el control de plaguicidas, para su etiquetado y su utilización. A pesar de ello, es alarmante la falta de conciencia sobre los peligros de los insecticidas, no solamente entre los operarios sino también entre el personal técnico que dirige las operaciones agrícolas. Para hacer más crítica la situación, muchos médicos incluyendo los de zonas rurales, no están familiarizados

con las propiedades tóxicas y farmacológicas de los insecticidas modernos, con su sintomatología o con los antídotos (Klimmer, 1967; Oudejans, 1982).

La exposición del operador durante la aplicación de insecticidas depende de la forma de aplicación y del equipo que se usa. En la aplicación manual por ser una labor agotadora, resulta extremadamente incómodo para el operador usar vestidos de protección especial, máscaras y guantes de goma, como normalmente se aconseja. Sin embargo, actualmente en el comercio se encuentran ropas apropiadas más ligeras, de telas impermeables que hacen menos incomodo su uso en estas actividades. Es importante que el operario tenga facilidades para bañarse y cambiarse de ropa después de la aplicación, y nunca estar descalzo durante las aplicaciones. En aspersiones de frutales el uso de sombrero, gafas y máscara es imprescindible, sobre todo si se usan nebulizadoras. Las máscaras de los aplicadores deben tener cartuchos para ácidos orgánicos, con carbón activado, que deben cambiarse de acuerdo a las instrucciones del fabricante (Young, 1986).

Residuos de insecticidas en los productos vegetales

Cuando se aplica un insecticida, cierta cantidad del producto se deposita sobre la planta. Este depósito tiende a disiparse con el tiempo, la insolación, el viento, la lluvia y la temperatura. La cantidad de insecticida o sus derivados que permanecen sobre o dentro de la planta al momento de la cosecha o de su utilización, se denominan "residuos", y se expresan en partes por millón (ppm) del peso fresco del producto, salvo que se especifique otra cosa (NACA, 1969; Dent, 1991).

La rapidez con que se disipan los depósitos de los insecticidas en las plantas depende de varios factores (Garrido *et al*., 2004):

Del insecticida: su naturaleza, estabilidad y tipo de formulación.
De la planta: tipo, textura de la superficie de las hojas y el tallo, velocidad de crecimiento, etc.
De las condiciones climáticas: lluvia, viento, radiación solar, que afectan la adherencia y estabilidad de los insecticidas.

En cuanto a la naturaleza de los insecticidas, existen ciertos productos que son extremadamente estables y otros que se descomponen rápidamente. El aldicarb, por ejemplo, es un compuesto que penetra a la planta y perdura por varias semanas. En cambio, el mevinfos, que también penetra y circula en el interior de la planta, se metaboliza rápidamente en pocas horas, sin dejar residuos tóxicos (Cisneros, 1974).

Niveles de tolerancia de residuos

Tolerancia es el límite máximo de residuo de un plaguicida que se permite en un producto alimenticio al momento que es ofrecido para el consumo, y que resulta de la práctica autorizada en el uso del plaguicida. La tolerancia se expresa en miligramos del residuo del plaguicida por kilogramo de peso de alimento o en partes por millón (ppm).

El cálculo de la tolerancia se basa en el conocimiento previo de la Ingesta Diaria Admisible (IDA) del producto insecticida, que es la cantidad del producto que una persona puede ingerir diariamente durante toda la vida sin correr riesgo apreciable, a juzgar por los conocimientos existentes. La IDA se expresa en miligramos del producto por kilogramo de peso de la persona (mg/kg). El cálculo de las tolerancias en los Estados Unidos se basa en la determinación del MEL (*no-ill-effect level*), modificado posteriormente a NOEL (*no-observable effect level*); para animales experimentales la IDA se define como la cantidad de insecticida que ingiere diariamente el animal sin presentar ningún síntoma y se expresa en mg/kg/día. Por consideraciones de seguridad este factor se reduce a una centésima para convertirlo en IDA para el ser humano. Con esta base se calcula la contribución teórica máxima del residuo para cada alimento. La suma total debe ser menor que la IDA. El procedimiento es distinto si se sospechan efectos oncogénicos (National Research Council, 1987).

Las Naciones Unidas, a través de la FAO y de la Organización Mundial de la Salud, al reconocer el grave peligro de los residuos en productos agrícolas, estudia el problema para establecer normas internacionales de residuos en productos alimenticios específicos. Esto se hace a través del *Codex Alimentarius* o Código Internacional de Alimentos, que se publica periódicamente desde 1963, y de otras publicaciones (National Research Council, 1987).

El sistema de tolerancias está vigente en los países industrializados desde hace mucho tiempo, conjuntamente con un eficiente sistema de fiscalización de residuos. La preocupación es constante, sobre todo por los posibles efectos cancerígenos (Ekstrom *et al.,* 1996; Schlede *et al.,* 1995).

Desde el punto de vista práctico, es posible reducir los residuos debajo de los límites de tolerancia, siguiendo las instrucciones de las etiquetas de los envases de insecticidas; sobre todo en lo que se refiere a dosis y tiempo que debe mediar entre la última aplicación y la cosecha ("período de carencia"). Pero la escasa observación de estas instrucciones hace que los consumidores en ciertos países adquieran productos, sobre todo hortalizas, en condiciones que no podrían ser comercializados en otras partes del mundo, debido a los altos residuos de insecticidas que contienen.

Clasificación de los insecticidas

Los insecticidas se clasifican de acuerdo a varios criterios y cada sistema de clasificación ayuda a caracterizar estos productos. Los principales criterios de clasificación son: 1) según la vía de ingreso del insecticida al cuerpo del insecto; 2) según su capacidad de penetrar y translocarse en la planta; 3) según su efectividad particular contra las plagas; y 4) según el origen y naturaleza química del producto (Dent, 1991; Rabb y Guthrie, 1970; Rumker y Horay, 1972). A continuación se detallan:

1. Según la vía de ingreso al cuerpo del insecto

Este criterio de clasificación es mencionado por algunos autores como "modo de acción" del insecticida, terminología que en realidad no es apropiada ya que algunos tienen varios modos de acción (Schlede *et al.,* 1995). De acuerdo a la vía de ingreso se dividen en:

- **Insecticidas estomacales o de ingestión***:* Aquellos productos que penetran por el sistema digestivo; es decir que deben ser ingeridos por los insectos conjuntamente con sus alimentos naturales, como las hojas, o con sustancias preparadas formando cebos tóxicos; a este grupo pertenecen los arseniatos. Algunos autores incluyen en este grupo a los insecticidas sistémicos que son tomados por los insectos al succionar los jugos de las plantas.

- También hay otros productos como los preparados de *Bacillus thuringiensis.* Algunos insecticidas modernos además de ingresar por la boca suelen penetrar por la cutícula (Burges, 1981).

- **Insecticidas de contacto***:* Aquellas sustancias capaces de atravesar la cutícula del insecto al ponerse en contacto con ella. Incluye a casi todos los insecticidas sintéticos modernos, siendo el DDT, el parathion, el carbaryl y los piretroides, los ejemplos clásicos. Algunos autores consideran dentro de este grupo a los aceites que al ponerse en contacto con el insecto lo cubren de una película aceitosa que obtura los espiráculos respiratorios, provocando la muerte del insecto por asfixia.

- **Insecticidas fumigantes***:* Productos que en forma de gas penetran a través del sistema respiratorio del insecto. Ejemplo: el gas cianhídrico, el bromuro de metilo y la fosfamina.

2. Según la penetración y translocación en la planta

Cuando un insecticida se deposita sobre la superficie de la planta puede ocurrir que permanezca exteriormente, que penetre a los tejidos inmediatos, o que penetre hasta los tejidos conductores y circule con la savia (Dent, 1991; Andrews y Quezada, 1989; Cisneros, 1974).

Insecticidas superficiales

- Aquellos que depositados sobre la superficie de la planta permanecen allí sin penetrar apreciablemente a los tejidos internos. Ejemplos: arsenicales, DDT, carbaryl, piretroides.

Insecticidas de penetración o profundidad

- Aquellos que pueden penetrar y atravesar los tejidos vegetales, de manera que aplicados sobre la superficie superior de las hojas sean capaces de matar a los insectos que se encuentran dentro del tejido parenquimatoso de la hoja o en el envés. Ejemplos: parathión, iodofenfós, fenitrotión, diazinón.

Insecticidas sistémicos

- Sustancias que son absorbidas por la planta y luego movilizadas a lo largo de sus órganos en concentraciones suficientes para matar a los insectos localizados en partes distantes al lugar de aplicación. Ejemplos: demeton, dimetoatos, aldicarb, metamidofos, monocrotofos, ometoato. El grado del efecto sistémico es variable según los productos y el estado fisiológico de la planta. Plantas en plena actividad, como después de un riego, absorben y translocan el producto más eficientemente.

También influyen otros factores. Hay insecticidas como el lindano, el parathion y sobre todo el metomyl, considerados no sistémicos, que aplicados como cubrimiento de semillas son absorbidos y translocados a las primeras hojas de las plántulas. Una vez que el producto sistémico ha sido absorbido pueden ocurrir tres fenómenos diferentes, según la naturaleza del producto: (a) que el producto se mantenga sin ningún cambio (producto estable o no metabolizado), como los compuestos de selenio; (b) que el producto se descomponga en metabolitos no tóxicos después de cierto período (compuestos endolíticos), como el schradan, dimefox, mevinfos; (c) que las sustancias absorbidas se transformen en productos más activos (endometatóxicos) antes de descomponerse en metabolitos no tóxicos, como el dimetoato, demeton, disulfoton, forato y fosfamidon, entre otros (Cisneros, 1974).

3. Según la efectividad particular contra grupos de insectos

Se usan diversos términos descriptivos tales como:

Aficidas: efectivos contra áfidos
Formicidas: efectivos contra hormigas
Blaticidas o cucarachicidas: efectivos contra cucarachas
Ovicidas: efectivo contra huevos de insectos y ácaros
Larvicidas: efectivos contra larvas. En entomología médica suele referirse sólo al efecto contra larvas de zancudos.
Adulticidas: efectivos contra adultos.

4. Según el origen y la naturaleza química del producto

La gran variedad de compuestos insecticidas que se usan en la agricultura se han agrupado clásicamente en: Insecticidas minerales o inorgánicos, insecticidas de origen vegetal e insecticidas orgánicos sintéticos. En los últimos años han aparecido productos que no encajan satisfactoriamente en estas categorías; entre ellos los insecticidas microbiológicos, como las toxinas del *Bacillus thuringiensis,* la abamectina que se obtiene por la fermentación de un hongo del suelo *Streptomyces avermitilis,* o los productos que imitan a las hormonas de la muda, llamados reguladores del crecimiento (Casida y Quistad, 1998).

Insecticidas minerales o inorgánicos

Son sales inorgánicas tóxicas que generalmente contienen arsénico o flúor, aunque también hay productos a base de bario, boro, cobre, mercurio, antimonio, selenio, azufre, talio y otros elementos. En general, son sustancias muy estables que actúan por ingestión. Estos productos han sido desplazados casi completamente por los insecticidas orgánicos modernos.

Insecticidas de origen vegetal

Son insecticidas que se derivan de plantas que contienen diversas sustancias, incluyendo alcaloides, que son tóxicos para los insectos. Pueden usarse como extractos o como partes de las plantas molidas en forma de polvo. La nicotina se extrae de las hojas del tabaco, las piretrinas de las flores del piretro (solo para uso casero) y la rotenona de las raíces del "barbasco" (*Lonchocarpus* spp.). Estos productos han sido desplazados por los insecticidas sintéticos aunque existe una nueva corriente para reivindicar productos derivados de las plantas. En años recientes han adquirido cierta importancia los extractos de las semillas de *Azadirachta indica*, un árbol originario de India conocido comúnmente como "nim" o "margosa". La sustancia activa es un triterpenoide (azaridachtina).

Insecticidas orgánicos sintéticos

Constituyen un grupo muy heterogéneo de compuestos orgánicos con características químicas, físicas y toxicológicas muy variables. Se les puede agrupar por su composición química. Los primeros grupos: clorados y fosforados, fueron desarrollados a partir de la década de 1940. Posteriormente, se desarrollaron los carbamatos y luego los piretroides estables. Hay grupos menores como los nitrofenoles, sulíbnados, tiocianatos y formamidinas. A éstos y otros compuestos que no corresponden a ninguno de los grupos mencionados se les ubica como misceláneos.

A continuación se describen brevemente los principales grupos de insecticidas orgánicos sintéticos, con ejemplos y con los nombres técnicos o genéricos para cada uno (Dent, 1995; Fairchild, 1978; Forgash, 1984; Kremlin, 1991):

Nitrofenoles y derivados. Son sustancias derivadas del cresol y del fenol, con marcado efecto fitotóxico. Algunos compuestos sólo se pueden usar como tratamientos en la época de invierno en cultivos de manzanos y otros frutales caducifolios, solos o con aspersiones de aceite. Controlan escamas, ácaros y huevos de pulgones. También tienen efecto fungicida: dinitrofenol, dinobuton, dinocap, dinocton-O, DNOC.

Organoclorados. Son sustancias que llevan cloro en su composición y son activas porque afectan el sistema nervioso a nivel del axon. El grupo incluye insecticidas y acaricidas de contacto y toxicidad variable para el hombre. Algunos compuestos son muy estables y se acumulan en el suelo, el agua, los animales y en la grasa humana y leche materna. Por estas razones el uso agrícola de la mayoría de estos compuestos ha sido prohibido. A algunos compuestos se les ha atribuido efectos cancerígenos. Además de su uso para la protección de cultivos, el DDT y el BHC han jugado un rol muy importante para la salud humana, al controlar vectores de enfermedades por más de 30 años. En la actualidad su uso agrícola está prohibido. Los principales compuestos de este grupo son: aldrín, BHC, clorbensido, clorobenzilato, DDT, dicofol, dieldrin, endosulfán, endrín, heptacloro, lindano, metoxicloro, mirex, ovex, TDE, tetradifon, toxafeno.

Organofosforados. Son fosfatos orgánicos que afectan el sistema nervioso por su acción anticolinesterásica. La enzima colinesterasa es esencial para el control de las transmisiones entre células nerviosas. Algunos compuestos son extremadamente tóxicos y fácilmente absorbidos, por lo que su manejo entraña graves riesgos. Este grupo de insecticidas incluye productos muy variados, los hay de contacto, ingestión y efecto fumigante, sistémicos y no sistémicos, muy estables y de persistencia fugaz. La mayoría tiene un amplio espectro de acción. Los principales compuestos son: acefato, amidition, azinfos-etílico, azinfos-metílico, bomyl, carbofenotion, cianofos, clorfenvinfos, clorfoxim, clormefos, clorpirifos, clorpirifos metílico, crotoxifos, demeton, demeton-s-metílico, demeton-s-metílico-sulfoxido, diazinon, diclofention, dicrotofos, dimefox, dimetoato, dioxabenzofos, dioxation, disulfoton, ebufos, endotion, epn, ethion, etoprop, fenamifos, fencapton, fenitrotion, fensulfotion, fention, fentoato, fonofos, forato, formotion, fosalone, fosfamidon, fosfolan, fosmet, fosmetilan, foxim, hetp o tepp, heptenofos, lodofenfos, isazofos, isofenfos, isoxation, malation, mefosfolan, menazon, metamidofos, metidation, mevinfos, monocrotofos, naled, ometoato, oxideprofos, paration, paration metílico, piridafention, pirimifos-metílico, profenofos, propetamfos, protiofos, protoato, quinalfos, schradan, sophamide, sulfotep, sulprofos, temefos, terbufos, tetraclorvinfos, tiometon, triazophos, triclorfon, vamidotion.

Carbamatos. Son ésteres del ácido carbámico que inhiben la colinesterasa de manera similar a los insecticidas organofosforados. Igual que los fosforados, los carbamatos incluyen productos de características muy variables en cuanto a su toxicidad para los insectos y para los humanos, amplitud del espectro de acción, persistencia y efecto sistémico. Los principales compuestos de este grupo son: aldicarb, aldoxycarb, aminocarb, bendiocarb, butocarboxim, butoxicarboxim, carbaryl, carbofuran, carbosuan, cloetocarb, dimitan, dioxacarb, etiofencarb, fenocarb, furatiocarb, asolan, isoprocarb, landrin, mecarbam, metiocarb, mexacarbato, oxamyl, pirimicarb, promecarb, propoxur, tiocarboxima, tiodicarb, trimetacarb, xililcarb.

Piretroides. Son compuestos sintéticos que guardan alguna semejanza con las sustancias activas del piretro (ésteres de los ácidos crisantémico y piretroico). Los piretroides usados en la agricultura son los llamados fotoestables, que no se descomponen tan fácilmente como las piretrinas (naturales) y aletrinas (sintéticas). Son compuestos de una extraordinaria actividad biológica que afectan el sistema nervioso de los insectos; en algunos casos sólo se necesitan unos pocos gramos de la sustancia activa por hectárea. En general, son productos con amplio espectro de acción, notoriamente sin efecto acaricida (salvo alguna excepción); no hay productos sistémicos, su acción es por contacto, con efectos paralizantes. La mayoría de piretroides son poco tóxicos para el hombre y otros animales de sangre caliente, por lo que su uso se ha extendido contra plagas caseras y de salud pública. Los principales compuestos de este grupo son: aletrina, alfacipermetrina, alfametrina, bartrina, beta-cyflutrina, bifentrina, bioaletrina, bioresmetrina, biopermetrina, cismetrina, cyletrina, cyflutrina, cypermetrina, deltametrina, d-fenotrina, d-tetrametrina, dimetrina, esbiol, esfenvalerato, fenotrina, fenpropanato, fenvalerato, flucitrinato, fluvalinato, furetrina, indotrina, lambdacihalotrina, permetrina, phthaltrina, resmetrina, teflutrina, tetrametrina, tralometrina.

Sulfonados. Son compuestos con actividad contra ácaros, los principales compuestos son: aramite, clorbensido, clorfenson, clorofenson, clorfensulfuro, fenson, fluorbensido, genite, propargito, tetradifon, tetrasul.

Misceláneos. Compuestos muy diversos en su estructura química y en sus características toxicológicas, incluye compuestos relativamente antiguos y productos modernos. La mayoría tiene efectos acaricidas. Entre los más importantes están: abamectina, azocyclotin, bromopropilato, clorfenetol, clorobencilato, clorofenamidina, cloropropilato, cyhexatin, dicofol, dienoclor, fenbutatin, oxitioquinox, oxytane, tranid.

Insecticidas hormonales y reguladores de crecimiento (IGR). Es un grupo de sustancias que están relacionadas químicamente o funcionalmente (bioanálogos) con dos hormonas que producen los insectos para regular su crecimiento y metamorfosis: la hormona de la muda o **ecdisona** y la hormona juvenil o **neotenina**. La hormona juvenil predomina en los estados inmaduros y tiende a mantener al insecto en su forma larval o ninfal. Las sustancias sintéticas que tienen efectos similares se llaman **juvenoides** y evitan que el insecto alcance el estado adulto.

Por otro lado la ecdisona interviene en el proceso de muda o **ecdisis** que consiste en el cambio periódico de la cutícula del insecto y permite su crecimiento y metamorfosis. La cutícula vieja endurecida se desprende y se forma una nueva cutícula, que inicialmente es elástica y permite el crecimiento del insecto hasta que se endurece. Durante el proceso hay absorción y depósito de quitina. Algunos compuestos interfieren en la formación de la nueva cutícula y el proceso de muda en general, causando el crecimiento anormal del insecto y su muerte. Estos productos llamados reguladores de crecimiento de los insectos constituyen la generación más moderna de insecticidas. Son sustancias poco tóxicas para los vertebrados y se les considera poco dañinas para el medio ambiente. Entre estas sustancias se encuentran:

Ecdisona u hormona de la muda
Neotenina u hormona juvenil
Juvenoides o bioanálogos de la neotenina
Hidroprene
Kinoprene
Methoprene
Triprene

Reguladores de crecimiento no juvenoides:
Diflubenzuron
Cyromazina
Fenoxicarb
Flufenoxuron
Teflubenzuron
Triflumuron

Consideraciones en la formulación de insecticidas

Cuando se compra un insecticida lo que se adquiere es una **formulación comercial**, es decir un preparado especial que está listo para ser utilizado en forma directa o previa dilución en agua. El producto puede tener la forma de polvo, gránulos o líquido. Una misma sustancia insecticida puede presentarse en el mercado bajo diferentes formulaciones comerciales. La riqueza de la formulación comercial está determinada por la cantidad de ingrediente activo o de producto técnico que contenga (Young, 1986). Estos conceptos se explican a continuación (García, 1999; Pérez, 1989):

Ingrediente activo y producto técnico. El ingrediente activo (i.a.) llamado también materia activa o sustancia activa, es el insecticida químicamente puro y posee una denominación química definida. El ingrediente activo del DDT, por ejemplo, es el isómero para dicloro difenil tricloroetano y el ingrediente activo del parathión es dietilnitrofenilfosforotiato. En la fabricación industrial de los insecticidas, sin embargo, el producto no se obtiene químicamente puro sino más bien acompañado de algunas impurezas y sustancias relacionadas, propias del proceso de producción en gran escala. A este producto industrial se le llama **producto técnico o materia técnica** y constituye la base para la producción de las formulaciones comerciales. A los productos técnicos normalmente se les fijan ciertos grados o límites mínimos de pureza. El producto técnico del endrin, por ejemplo, contiene alrededor del 85% de ingrediente activo. En el caso de los fosforados, carbamatos y otros productos, la pureza del producto técnico suele ser más alta (Klimmer, 1967).

El producto técnico puede presentar un estado físico distinto al del ingrediente activo puro. Así, el dimetoato químicamente puro es un sólido blanco, en cambio el producto técnico es un líquido de apariencia aceitosa de color pardo amarillento. El parathion metílico puro es un polvo cristalino blanco, mientras que el producto técnico, que contiene alrededor de 80% de i.a., es un líquido pardo (Klimmer, 1967).

Formulación comercial

El producto técnico constituye la materia prima en la formulación comercial de los insecticidas, proceso que se realiza en las plantas formuladoras. La materia técnica que puede ser líquida, sólida o pastosa, con frecuencia es insoluble en agua. De allí que no sea posible su dilución directa, para ser distribuida en el campo. Se requiere de preparados especiales que superen esta limitación. Los preparados especiales que permiten la dilución del insecticida y su distribución, son las formulaciones comerciales (García, 1999; Pérez, 1989).

Cuando se trata de polvos para espolvorear o de insecticidas granulados, las formulaciones comerciales normalmente vienen listas para ser aplicadas en forma directa en el campo. En casos excepcionales, el producto técnico líquido se utiliza en forma directa sin dilución en agua (aplicaciones de ultrabajo volumen). Pero lo común es que los concentrados líquidos y polvos se diluyan en agua para su aplicación.

Tipos de formulaciones

Las formulaciones comerciales de los insecticidas se caracterizan por el tipo de formulación y por su contenido de ingrediente activo. Un mismo producto insecticida puede presentarse bajo diversas formulaciones comerciales (Rumker y Horay, 1972; García, 1999; Pérez, 1989).

Los tipos convencionales de formulaciones son:

Concentrado Emulsivo, C.E.
Concentrado Soluble, C.S.
Polvo Mojable, P.M.
Polvo Soluble, P.S
Polvo seco, P.
Granulado, G.
Cebo Tóxico, Cebo

En años recientes se han introducido algunas formulaciones especiales que mejoran las características de las formulaciones convencionales. Entre ellas están las siguientes:

Microencapsulados
Suspendidos líquidos
Gránulos dispersables
Concentrados para ultrabajo volumen
Emulsiones invertidas
Peletizados
Paquetes solubles

Adyuvantes o coadyuvantes para las formulaciones

Todas las formulaciones comerciales, pero sobre todo las que se diluyen en agua, contienen sustancias que mejoran las características físicas del producto, haciendo posible su dilución y aplicación y mejorando su efectividad. Entre ellas están los **solventes** y las **sustancias adyuvantes**. Existen solventes volátiles como el tolueno y el xileno, y solventes no volátiles como los aceites de petróleo y derivados afines. Los adyuvantes afectan la eficiencia del insecticida, mejorando la uniformidad y estabilidad de las diluciones y favoreciendo el depósito, permanencia y penetración de los insecticidas, en la planta y en los insectos. Cierta cantidad de adyuvantes están incorporados en la formulación comercial; pero también se pueden adquirir por separado para ajustar las cualidades de la aspersión a las condiciones particulares de la planta o del clima de una localidad (García, 1999; Pérez, 1989).

Entre los principales adyuvantes están los adherentes, mojantes, dispersantes, esparcidores, emulsificantes y estabilizantes (García, 1999; Pérez, 1989):

- Los **adherentes o adhesivos** son sustancias que "retienen" el insecticida sobre la superficie de la planta, resistiendo al viento, la lluvia y otros factores adversos del ambiente. Entre las sustancias clásicas se encuentran las materias proteínicas como la caseína de la leche, la harina de trigo, la albúmina de la sangre y la gelatina. Hay sustancias de otra naturaleza como aceites, gomas, resinas y arcillas finas. Los productos adherentes comerciales modernos suelen poseer también características mojantes y esparcidoras. Algunas de estas sustancias son sales o alcoholes sulfatados, ésteres de ácidos grasos, sulfonatos del grupo alquilo y sulfonatos de petróleo.

- Los **mojables** son sustancias que bajan la tensión superficial de modo que el líquido se extiende sobre la superficie de la planta. Entre estas sustancias se encuentran los alcoholes de cadenas largas, sulfonatos de petróleo, sulfatos ácidos y derivados, derivados de sulfonatos aromáticos, ésteres de ácidos grasos y arcillas. Se recomiendan para plantas con follaje ceroso.

- Los **dispersantes** son sustancias que reducen la cohesión o la tendencia de las partículas a adherirse entre sí, facilitando en dispersión en el agua. Las sustancias dispersantes se utilizan en la preparación de los polvos mojables y concentrados emulsivos. Estos adyuvantes están relacionados con los agentes defloculantes, que son sustancias que ayudan a producir y mantener las suspensiones de los polvos mojables.

- Los **esparcidores** ("spreaders") son sustancias que adelgazan la película de un líquido sobre la superficie de la planta aumentado el área que cubre.

- Los **emulsivos** son sustancias que ayudan a la formulación y mantenimiento de las emulsiones; es decir, a la dispersión de pequeñas gotitas de un líquido aceitoso dentro del agua con la cual no es miscible. Se utiliza en la preparación de concentrados emulsivos. Los emulsivos, como los demás agentes tensoactivos, se pueden clasificar en:

No iónicos*:*
Ésteres hidrofóbicos.
Ésteres hidrofílicos.

Iónicos:
Aniónicos: jabones alcalinos, alcoholes sulfonados del grupo arilo o alquilo, mojantes y detergentes, en general.
Catiónicos: sales de amonio cuaternario.

Los agentes no iónicos están indicados para aguas duras y van adquiriendo mayor importancia por no reaccionar con los insecticidas. Los aniónicos son indicados para aguas blandas. Los catiónicos no son usados en las formulaciones de insecticidas por resultar caros. En la mayoría de los insecticidas comerciales se usan mezclas de agentes no iónicos y aniónicos.

Los estabilizantes son sustancias que sirven para retardar la descomposición de los insecticidas y prolongar su efectividad.

Existen otros adyuvantes como activadores penetrantes, correctivos de pH, controladores de espuma, etc.

Adyuvantes comerciales. Para mejorar las características de las aplicaciones líquidas de los insecticidas se venden sustancias que tienen efecto polivalente como adherentes, dispersantes y mojantes que se adicionan a las diluciones acuosas de los insecticidas comerciales. Estos productos se usan generalmente en concentraciones de 25 a 50 cc/100 L de mezcla insecticida.

Uso de las diferentes formulaciones

Un mismo insecticida puede presentarse en diferentes tipos de formulaciones y cada formulación tiene ciertas características que permiten el mejor uso del producto para determinadas condiciones. Por lo tanto, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos (Andrews y Quezada, 1989; Cisneros, 1974; García, 1999; Pérez, 1989):

La posible fitotoxicidad, en relación con la planta que va recibir el insecticida, también se debe tener en cuenta si la superficie es cerosa, lisa o pubescente, y la densidad del follaje.

Utilizar el equipo de aspersión más adecuado para la aplicación.

Tener presente los riesgos de deriva del insecticida por el viento, escurrimiento y lavado, hacia áreas adyacentes.

La seguridad de los operadores y otras personas y animales domésticos que pudieran estar expuestos al producto.

Las características de la plaga, como su movilidad, momento oportuno de aspersión de acuerdo con su biología y a la fenología de la planta.

La relación costo/beneficio que hace el tratamiento viable.

Según estas consideraciones, la decisión final puede ser la aplicación de un insecticida en forma líquida en aspersión, un polvo para espolvoreo o un granulado. Las formulaciones que se usan para estos fines se describen a continuación:

1. Concentrados emulsivos. El concentrado emulsivo es un líquido de aspecto aceitoso que al ser mezclado con el agua forma una emulsión. La dilución generalmente es muy estable y requiere poca agitación. Se aplica en aspersión. Esta formulación se obtiene disolviendo el producto insecticida y un agente emulsivo en un solvente orgánico. También se usan otras sustancias adyuvantes para mejorar los depósitos en la planta (García, 1999; Pérez, 1989).

Debe tenerse presente que el exceso de adyuvantes tensoactivos es contraproducente, pues facilita el escurrimiento y el lavado del producto, y provoca la formación de abundante espuma que dificulta el sistema de alimentación de la aspersora. Esto último puede ocurrir cuando se usan diluciones muy concentradas en lugar de los caldos diluidos, para los cuales han sido calculadas las cantidades de adyuvantes.

Los concentrados emulsivos tienen las siguientes ventajas: altas concentraciones de ingrediente activo por lo que su precio relativo puede ser favorable, es fácil de transportar y almacenar, requiere poca agitación para mantener la mezcla uniforme, no es abrasivo para el equipo de aplicación, no se sedimenta, no obstruye las boquillas, no deja residuos visibles sobre la superficie de frutas y verduras.

Sus desventajas son: por su alta concentración en ingrediente activo los errores de medida se magnifican fácilmente; por lo general, son más fitotóxicos, penetran más fácilmente por la piel, los solventes pueden dañar las partes del equipo de aplicación.

2. Concentrados solubles. Pocos productos insecticidas tienen su materia técnica líquida y soluble en agua. Con la adición de algunos adyuvantes se obtiene la formulación de Concentrado Soluble. Disuelto en agua se forma una solución uniforme que no requiere agitación. Las características mencionadas para los concentrados emulsivos se aplican también para los concentrados solubles (García, 1999; Pérez, 1989).

3. Polvos mojables. Los polvos mojables tienen el aspecto de polvos finos, pero son concentrados que al ser mezclados con el agua forman suspensiones. Estas suspensiones son aplicadas en forma de aspersiones o pulverizaciones. Los polvos mojables contienen sustancias humectantes y dispersantes, y bases inertes que les permiten suspenderse en el agua, como el caolín, talco y carbonato de calcio. La bentonita tiene la más alta capacidad de suspensión pero tiende a recubrir la sustancia activa, con lo que disminuye la eficacia de la formulación.

Los polvos mojables tienen las ventajas de su costo relativamente menor, facilidad de manejo, transporte y almacenamiento, menor fitotoxicidad que los concentrados emulsivos, son fáciles de medir y mezclar, y son de menor absorción por la piel, que los concentrados emulsivos. Las desventajas son: mayor peligro de inhalar los polvos concentrados en el momento de la medición y mezcla, requiere constante agitación en el tanque, es abrasivo para las bombas y boquillas, y los residuos se hacen visibles fácilmente (García, 1999; Pérez, 1989).

4. Polvos solubles. En los pocos casos en que la materia técnica es un compuesto soluble en agua, es posible obtener un polvo que pueda disolverse directamente en el agua. Aún en estos casos se requieren de adyuvantes que faciliten el mojado de la planta. No se requiere agitación una vez que la solución está uniforme.

5. Microencapsulado. Es una formulación especial en que las partículas insecticidas sólidas o líquidas, están rodeadas por una cobertura plástica. Mezclado con el agua forma una suspensión que se aplica en aspersión. El encapsulado permite que el insecticida sea liberado paulatinamente y su efecto residual sea mayor. Además, tiene la ventaja de ser menos riesgosa para el personal que realiza la aplicación. Requiere agitación constante.

6. Suspendibles líquidos. Es un nuevo tipo de formulación líquida que contiene en suspensión gránulos finos del ingrediente activo. Estos concentrados se diluyen en agua para su aplicación en aspersiones. Tienen las ventajas de ser fáciles de manejar y raramente obturan las boquillas; su desventaja es que requiere cierta agitación y puede dejar residuos visibles.

7. Gránulos dispersables. Son gránulos que se dispersan en agua formando una suspensión, como los polvos mojables, para aplicarlos en aspersiones. La ventaja sobre los polvos mojables es que tienen menos riesgo de ser inhalados y son más fáciles de medir, verter y diluir. También requieren agitación.

8. Paquetes solubles. Son formulaciones especiales para reducir los riesgos de manejar productos altamente tóxicos. Son paquetes plásticos que contienen polvos mojables o polvos solubles y que se disuelven al ser echados en el agua. La mezcla se asperja como cualquier mezcla insecticida.

9. Ultrabajo volumen. Es una formulación líquida que se aplica concentrada, tal como se vende o ligeramente diluido en un líquido que no es agua. Se aplica en aspersión con un equipo especial de ultra bajo volumen (UBV).

10. Polvos para espolvoreo. El producto insecticida se presenta en forma de polvo fino, frecuentemente coloreado para evitar su confusión accidental con harinas comestibles. Se distinguen los "polvos secos concentrados" de los "polvos secos diluidos". Los polvos concentrados necesitan ser diluidos antes de ser aplicados, mientras que los polvos diluidos se aplican directamente en el campo (espolvoreos). Ambas formas se venden en el mercado, pero es preferible comprar los polvos diluidos.

Los inertes que se utilizan comúnmente en la preparación de polvos secos son el talco, la pirofilita, las arcillas, el carbonato de calcio, el silicato sintético de calcio y el atapulgito. Los polvos tienen la ventaja de penetrar fácilmente entre el follaje y la desventaja de ser fácilmente llevados por el viento con poca retención sobre la superficie de la planta.

11. Granulados. Para algunos casos especiales, los insecticidas pueden formularse en forma granulada. En estas formulaciones el insecticida va absorbido o adherido a la superficie de gránulos de un inerte, en una concentración que permite su aplicación directa. Con la formulación granulada se disminuyen apreciablemente los riesgos de intoxicación accidental y contaminación, facilitando la aplicación dirigida del producto. Los granulados se emplean en casos específicos como la incorporación de insecticidas al suelo, la aplicación de larvicidas contra zancudos, o para el control de insectos del maíz y otras plantas gramíneas que pueden retener los gránulos entre sus hojas.

12. Peletizados. Formulación similar a los granulados pero de mayor tamaño, siendo los *pellets* más uniformes en peso y forma.

13. Cebos tóxicos. Los cebos tóxicos son mezclas de insecticidas u otros plaguicidas con alimento u otras sustancias atrayentes. Muchos de los cebos que se utilizan en la agricultura se preparan en el campo; sin embargo algunos productos se venden como cebos ya formulados.

Literatura citada

ANDREWS, K. L.; QUEZADA, J. R. 1989. Manejo integrado de plagas insectiles en la agricultura: Estado actual y futuro. Departamento de Protección Vegetal, Escuela Agrícola Panamericana "El Zamorano", Honduras, 623 p.

BARRONS, K. C. 1981. Are pesticides really necessary? Regnery Gateway, Inc. Chicago, Illinois, 245 p.

BEINGOLEA, Ó. 1958. Resistencia de los insectos a los insecticidas, con ejemplos en el Perú. Rev. Peruana de Entomol. Agric., 1 (1): 51-58.

BENNELT, S. A. 1957. The behavior of systemic insecticides applied to plants. Ann. Rev. Entomol., 279-296.

BROWN, A. W. A. 1959. Inheritance of insecticide resistance and tolerances. Symp. Research Progress on Insect Resistance. Misc. Publ. Entomol. Soc. Amer., p. 20-26.

BURGES, H. D. 1981. Microbial control of pest and plant diseases 1970-1980. London, Academic Press, 949 p.

CASIDA, J. E.; QUISTAD, G. B. 1998. Golden age of insecticide research: past, present and future. Annu. Rev. Entomol., 43: 1 – 16.

CISNEROS V., F. 1974. Principios de control de plagas. Parte II, Departamento de Sanidad Vegetal, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. 346 p.

CREMLYN, R. J. W. 1991. Agrochemicals. preparation and mode of action. John Wiley and Sons. Chichester, GB. 396 p.

DENT, D. 1991. Insect pest management. CAB International, Wallingford, UK, 604 p.

DENT, D. 1995. Integrated pest management. Chapman & Hall, London, 356 p.

EDWARDS, C. A. 1970. Persistent pesticides in the environment. Cleveland, Ohio, CRC Press, Vol 1, No. 1, 78 p.

EKSTRÖM, G.; HEMMING, H.; PALMBORG, M. 1996. Swedish pesticide risk reduction 1981-1995: food residues, health hazard, and reported poisonings. Rev. Environ. Contam. Toxicol., 147: 119-47.

FAIRCHILD, E. J. 1978. Agriculture and pesticides. A handbook of the toxic effects. Castle House, London, 229 p.

FORGASH, A. J. 1984. History, evolution and consequences of insecticide resistance. Pestic. Biochem. Physiol., 22: 178-186.

GARCÍA, J. E. 1999. Formulaciones de plaguicidas: importancia, tipos y perspectivas futuras. Tecnología en Marcha, 13 (2): 44-60.

GARRIDO, A.; MARTÍNEZ, J. L.; LÓPEZ, T.; CORTÉS, S.; MARTÍNEZ, I. 2004. Monitoring multi-class pesticide residues in fresh fruits and vegetables by liquid chromatography with tandem mass spectrometry. Journal of Chromatography, 1048: 199-206.

GEORGHION, G. P.; TAYLOR, C. E. 1986. Factors influencing the evolution of resistance. *In*: Pesticide resistance, strategies and tactics for management. National Research Council, Board of Agriculture. Eds. National Academic Press. Washington D.C. p. 157-169

HERRERA, J. 1958. Resistencia de ciertas plagas del algodonero a los insecticidas orgánicos en el valle de Cañete. Rev. Peruana de Entomol. Agric. 1 (1): 47-51.

JEPSON, P. C. 2000. Pesticides and IPM: Concepts and reality. In: Emerging technologies for integrated pest management. Concepts, research, and implementation, ed., Kennedy, G. G. & Sutton, T. B. Proceedings of a conference, march 8 – 10, 1999, Raleigh, N. C.. APS Press, St. Paul, Minnesota, p. 307 – 322.

KLIMMER, O. R. 1967. Plaguicidas, lexicología, sintomatología y terapia. Oikos-Tau. S.A. Ediciones Barcelona. España. 162 p.

MARCH, R. B. 1959. Resistance to organophosphorus insecticides, Symp. Research Progress on Insect Resistance. Misc. Publ. Entomol. Soc. Amer. Washington, D.C. 13-19.

MAREDIA, K. M.; DAKOUO, D.; MOTA – SÁNCHEZ, D. 2003. Integrated pest management in the global arena. Cabi Publishing, Wallingford, UK, 512 p.

MOOREFIELD, H. H. 1959. Insect resistance to the carbamate insecticides. Symp. Research Progress on Insect Resistance. Misc. Publ. Entomol. Soc. Amer., p. 145-152.

NAC. NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. 1968. Effects of pesticides on fruit and vegetable physiology. Principles of plant and animal pest control. Washington. Vol. 6, 90 p.

NACA. NATIONAL AGRICULTURAL CHEMICALS ASSOCIATION. 1969. Official F.D.A. Tolerance. News and Pesticide Review. Washington, 27 (3). 31 p.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. BOARD OF AGRICULTURE. 1987. Regulating pesticides in food. The Delaney Paradox. National Academy Press, Washington D.C., 272 p.

OUDEJANS, J. H. 1982. Agro – pesticides- Their management and application. Economic and social commission for Asia and the Pacific, Bangkok, 205 p.

PÉREZ, L. 1989. Aspectos sobre formulación de plaguicidas. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Barquisimeto. Estación Experimental Lara. Barquisimeto (Venezuela). Vol.1, 12 p.

RABB, R. L.; GUTHRIE, F. E. 1970. Concepts of pest management. Proceedings of a conference held at North Carolina State Univ. at Raleigh, march 25-27, 242 p.

RUMKER, R. V.; HORAY, F. 1972. Pesticide manual. Department of state Agency for International Development. Kansas, 358 p.

SCHLEDE, E.; MISCHKE, U.; DIENER, W.; KAYSER, D. 1995. The international validation study of the acute toxic class method (oral). Arch. Toxicol., 69 (10): 659-670.

TAIT, J.; NAPOMPETH, B. 1987. Management of pests and pesticides. Farmer´s perceptions and practices. Westview Press, London, 244 p.

YOUNG, B. W. 1986. The need for a greater understanding in the application of pesticides. Outlook on agriculture, 15: 80 – 87.

CAPÍTULO 12
Tecnología de aplicación y equipos de aspersión de agroquímicos

Diógenes Alberto Villalba Guott

Introducción

El cultivo del café en Colombia, no ha sido un cultivo con tradición en la aplicación de plaguicidas. Sin embargo, con la llegada de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix* Berk. y Br.) a Brasil, en el año 1970, se iniciaron las investigaciones sobre la tecnología de aplicación y los equipos de aspersión en el Centro Nacional de Investigaciones de Café, con el fin de desarrollar una tecnología de aplicación y equipos de aspersión adecuados para realizar aplicaciones en el cultivo del café bajo las condiciones de la zona cafetera colombiana y de esta forma, poder contar con alternativas para el control de problemas fitosanitarios, tales como: la roya y la broca del café, entre otros.

La broca del café, introducida a Colombia en 1988, amenaza seriamente la caficultura colombiana, debido a las condiciones en la cual se desarrolla, como son: zona cafetera continua, altas densidades de siembra, topografía de difícil acceso para realizar el control y condiciones de clima que favorecen una fructificación de los cafetales durante gran parte del año, hacen que en la zona cafetera colombiana el ataque de este insecto sea más severo que en cualquier otra parte del mundo cafetero (Bustillo *et al*., 1988).

El control de la broca del café se debe enfocar bajo un programa de manejo integrado, que comprende el conocimiento a fondo de todos los factores que componen el ecosistema cafetero y sus múltiples interacciones, éstas son: la fenología del cultivo en las diversas zonas cafeteras y la biología, el comportamiento, el potencial de reproducción, la dispersión y los enemigos nativos de la broca (Bustillo *et al*., 1988).

Además, este programa debe incluir prácticas agronómicas y culturales, control biológico y como último recurso el control químico, el cual sólo se debe utilizar cuando se justifique técnicamente, teniendo como base los períodos de floración del cultivo y los niveles de infestación de la plaga (Bustillo *et al*., 1988).

En la gran mayoría de la zona cafetera colombiana, la tecnología de aplicación y los diferentes equipos de aspersión se vienen utilizando deficientemente, ocasionando problemas como el incremento del volumen y número de aplicaciones, el aumento de las dosis de los insecticidas y la baja eficacia de los mismos. Esta situación, ocasiona mayor contaminación del ecosistema cafetero y de los operarios que realizan las aplicaciones, además de presionar a la plaga para que adquiera resistencia a los productos químicos e incrementar los costos de las aplicaciones.

Tecnología de aplicación

La tecnología de aplicación se define como la correcta aplicación de un producto biológico y/o químico para el control de un problema fitosanitario, que puede ser: un insecto plaga, una enfermedad y/o una arvense. Ahora bien, para obtener buena eficacia (> al 75%) de la aplicación de un plaguicida, ésta se debe realizar teniendo como base los siguientes aspectos: aplicar en el momento oportuno, empleando una dosis correcta y con una adecuada calibración de los equipos de aspersión, con el fin de depositar el volumen por

árbol adecuado y obtener buenos cubrimientos (mayores de 50 gotas/cm²) y tamaños de gota entre 150 y 200 μm. En general, se puede concluir que el éxito biológico de cualquier control fitosanitario depende en gran parte de la tecnología de aplicación.

Los resultados de las investigaciones en Cenicafé sobre tecnología de aplicación y equipos de aspersión, han permitido disminuir los volúmenes de aplicación de 1.000 a 250 L/ha y definir los diferentes sistemas de aplicación y los equipos de aspersión más adecuados y eficientes para el control de problemas fitosanitarios en el cultivo del café (Villalba, 1992).

Principios básicos sobre tecnología de aplicación

Propiedades físicas de las gotas

El fin de todos los métodos y sistemas de aplicación es la distribución uniforme del ingrediente activo sobre el objetivo, el cual puede ser: un insecto, un hongo, una planta y/o el suelo.

El ingrediente activo necesario por unidad de superficie, en la mayoría de los casos, es mínimo y puede flutuar entre unos pocos hasta miles de gramos por hectárea. Técnica y prácticamente, es imposible lograr una distribución uniforme con cantidades tan pequeñas de estos ingredientes, razón por la cual hay que recurrir a agentes o medios de dilución (diluyentes). El diluyente más usado es el agua y en algunos casos específicos los aceites agrícolas. En general, la gota es el vehículo o medio de transporte más adecuado para llevar el ingrediente activo a su objetivo (Ciba Geigy, 1985).

El cubrimiento (número de gotas/cm²) determina más del 80% del éxito biológico de una aplicación. Esto explica la importancia que se le atribuye a la gota, en relación con su tamaño, peso específico y susceptibilidad a la evaporación, como portadora del ingrediente activo.

Medidas y criterios para la clasificación de las gotas

Medidas y fórmulas

El tamaño de la gota está dado por el diámetro medido en micras (μm), que es igual a 0,001 mm. El volumen de una gota se calcula utilizando la fórmula:

V = 4/3¶ R³

Como se mencionó anteriormente, la eficacia de un tratamiento depende en alto grado del cubrimiento obtenido en la aplicación. Esto se explica por la relación existente entre el número de gotas, su tamaño, distribución y la cantidad de ingrediente activo necesario por unidad de superficie, para alcanzar el efecto deseado (Ciba Geigy, 1985).

Diámetro medio volumétrico (VMD)

La propiedad fundamental de una aplicación es la gota, y de ésta su diámetro. El diámetro medio volumétrico (VMD) se puede definir como: el diámetro de la gota, que divide un espectro de aplicación en dos partes iguales, en el cual la mitad del volumen del líquido aplicado está constituido por gotas de un diámetro superior a ella y la otra mitad por gotas de un diámetro inferior. En otras palabras, es el tamaño de gota de un espectro que divide el volumen de aplicación en dos mitades iguales (Mathews, 1979).

Es importante anotar que entre menor sea el tamaño de las gotas, mayor cantidad de ellas se depositarán por unidad de superficie. Por ejemplo: Si consideramos un cubo de 600 micras como representante de una gota en una aplicación a alto volumen (400 L/ha) y lo dividimos en pequeños cubos de 300 micras, se puede obtener una disminución de ocho veces el volumen de líquido aplicado, así:
VMD: 600 micras: Vol: 400 L/ha

VMD: 300 micras: Vol: 400 / 8 = 50 L/ha

Con base en esta propiedad, se han realizado aplicaciones a bajo y ultra bajo volumen, con un incremento del número de gotas por unidad de superficie, con mayor rendimiento y menores consumo de agua y tiempo de aplicación.

En términos prácticos, se puede apreciar que una gota de 300 micras equivale a 216 gotas de 50 micras, que cubren un área considerablemente mayor que una sola gota de 300 micras, y que por lo tanto mejoran la distribución y la penetración de las gotas en las partes internas de las plantas, con un incremento en la eficacia del producto aplicado.

Cuando se utilizan volúmenes de aplicación entre 200 y 500 L/ha y boquillas hidráulicas, se producen gotas de diferentes tamaños, las cuales pueden variar entre 20 y 1.000 μm, aproximadamente.

En general, para la aplicación de productos biológicos y/o químicos, se pueden utilizar tamaños de gota entre 150 y 300 μm, dependiendo del equipo de aspersión, la formulación del plaguicida y las condiciones climáticas (Villalba 2003).

Matthews (1979) presenta una clasificación del tipo de aplicación de acuerdo con el tamaño de la gota (Tabla 12.1).

Tabla 12.1. Clasificación de las aplicaciones en relación con el tamaño de gota (Tomado de Matthews, 1979).

Tamaño de gota (μm)	Clasificación
Menor de 50	Aerosol
51 - 100	Neblina
101 - 200	Aspersión fina
201 - 400	Aspersión media
Mayor a 400	Aspersión gruesa

Cubrimiento

El cubrimiento se puede definir como el número de gotas por unidad de área (No. de gotas / cm^2) que llegan al objetivo, lo cual indica la cantidad de ingrediente activo depositado en las diferentes partes de la planta. El cubrimiento depende del diámetro de las gotas, lo cual quiere decir que entre menor sea el tamaño de éstas, mayor será el cubrimiento y por lo tanto, mejor la eficacia biológica de las aplicaciones.

En términos generales, para obtener buena eficacia biológica de las aplicaciones de insecticidas y fungicidas, se deben obtener cubrimientos mayores a 50 gotas/cm^2, y de herbicidas entre 20 y 40 gotas/cm^2.

Distribución de una aspersión

La distribución se puede definir como el cubrimiento obtenido en los diferentes estratos de la planta (alto, medio, bajo), cuando se realiza una aplicación. La distribución varía, dependiendo no solo de la localización de las hojas y/o frutos en las plantas, sino también de su posición (interna y/o externa) por la haz y/o envés de las hojas, del equipo de aspersión, del sistema de aplicación y de las condiciones ambientales.

Los factores relacionados con el equipo de aspersión son: el volumen de aplicación, el tamaño de gota y el tipo de boquillas. Entre menor volumen se utilice por unidad de área, menor será el tamaño de gotas y mejor la distribución.

En relación con la planta, es importante tener en cuenta aspectos como la distancia y densidad de siembra, la altura de las plantas y el tamaño y densidad del follaje.

Los factores climáticos como: temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, juegan un papel muy importante en la distribución de las gotas (Villalba, 2003).

Penetración

Si las gotas se dispersan en una masa de aire en movimiento cada una tiene su propio momento. El momento se puede definir como la fuerza resultante de la velocidad y el tamaño de la gota, por lo tanto las gotas grandes tienen un mayor momento.

Las gotas con mayor momento se depositan más rápidamente sobre las partes externas de las plantas y son las que normalmente se deslizan sobre las superficies de las hojas o frutos y caen al suelo. Por esta razón, las gotas pequeñas se depositan en las hojas y/o frutos más internos de los árboles, y mejoran la eficacia de los productos.

Ancho de faja

Se puede definir como el área cubierta por una aplicación con una densidad de cobertura igual o mayor a 50 gotas/cm^2. Cuando se realiza una aplicación con gotas grandes, el ancho de faja disminuye, ya que éstas por su tamaño y peso, se distribuyen en una superficie menor, a diferencia si son de menor tamaño, las cuales pueden distribuirse más uniformemente en un área mayor.

Evaluación de una aplicación

Una aplicación se puede evaluar física y/o biológicamente.

Evaluación física

Se basa en la determinación de los parámetros físicos de las aplicaciones, tales como: cubrimiento (número de gotas/cm^2), tamaño de gota (VMD), penetración, distribución y depósito del ingrediente activo. La ventaja de la evaluación física es la rápida disponibilidad de los resultados con el fin de poder realizar los cambios y/o ajustes necesarios, para alcanzar los objetivos propuestos. La evaluación física se puede realizar sobre partes de la planta (hojas y/o frutos) o sobre colectores (tarjetas). La evaluación sobre partes de las plantas se realiza utilizando trazadores fluorescentes, tales como: Lumogen, amarillo saturno o uvitex. Estos productos se utilizan generalmente en una concentración del 0,5 al 1% y la evaluación, se lleva a cabo retirando las hojas y/o ramas con frutos de los árboles y observándolos bajo una lámpara de luz ultravioleta. La evaluación sobre colectores (tarjetas), se realiza utilizando diferentes tipos de colectores dependiendo: del volumen de aplicación, la formulación y el colorante. Los colectores más utilizados en técnicas de aplicación son:

Papel kromacote: es uno de los colectores más utilizados en técnicas de aplicación en café y otros cultivos. Este papel presenta una superficie rugosa y una lisa, esta última debe quedar expuesta a la aplicación. Se puede usar en cualquier humedad relativa, pero se necesita adicionar un colorante a la mezcla, para lo cual se usa, generalmente, el azul de metileno técnico al 1%, o cualquier otro tipo de colorante como el rojo congo o el azul maxilon.

Con este colector se puede determinar el cubrimiento (No. de gotas/cm^2), el tamaño de gota (VMD) y la distribución y penetración de la aplicación. El tamaño del colector para evaluar las aplicaciones depende del cultivo, el problema fitosanitario y el equipo de aspersión.

Las principales ventajas son: su fácil adquisición y bajo costo, además se puede guardar después de usarlo por largos períodos, sin que las gotas se borren o deformen, pero tiene como desventaja, que se debe utilizar siempre un colorante que contraste con el color blanco de la tarjeta, para realizar la evaluación.

Papel hidrosensible: Este colector es de color amarillo y al entrar en contacto con una solución acuosa se torna azul oscuro. Es muy útil para realizar evaluaciones rápidas en el campo, chequear patrones de aspersión de boquillas, distribución, número de gotas/cm^2 y tamaño de gota, etc. Las evaluaciones se pueden realizar visualmente y/o utilizando lupas de diferentes aumentos. Tiene como ventaja que no requiere ningún

colorante para su utilización y además, se pueden realizar todas las evaluaciones físicas de una aplicación, pero presenta las siguientes desventajas:

- No se puede utilizar en condiciones de alta humedad relativa o días lluviosos.
- Se deben manipular con delicadeza, ya que se pueden dañar con facilidad.
- Son de difícil adquisición y muy costosos.
- No se pueden guardar por largos períodos, porque las gotas pueden borrarse o distorsionarse.

Papel sensible a aceite CF-1: Este colector es rígido y blanco grisáceo, cubierto con una capa delgada de cera. La superficie cerosa se disuelve cuando las gotas con base en aceite, impactan sobre la superficie del colector, y éstas se tornan negras contrastando con el fondo blanco del colector. Es muy utilizado para realizar evaluaciones rápidas en el campo, tales como: analizar distribución, cubrimiento, penetración y tamaño de gota de aplicaciones terrestres y/o aéreas, especialmente a bajo y ultrabajo volumen.

Aunque las aspersiones acuosas no se marcan sobre el colector CF-1, éste es útil para observar el cubrimiento cuando se utilizan trazadores fluorescentes, con base en aceite.

Evaluación biológica

Consiste en determinar el grado de control del insecto, hongo y/o arvense, después de una aplicación, a través del porcentaje de daño y la cantidad y calidad de la cosecha. Esta evaluación es lenta y toma tiempo para obtener la información final, pero es muy confiable y es complementaria de la evaluación física para determinar la eficacia de una aspersión.

Métodos para evaluar el cubrimiento

La determinación del cubrimiento es el método más simple y confiable para obtener información en cuanto a la calidad de una aplicación. Los métodos más utilizados en tecnología de aplicación, para evaluar el cubrimiento son: 1) por comparación, 2) ocular, 3) analizador de imagen, 4) rayos láser Knollenberg. Los métodos del analizador de imagen y el rayo láser, son utilizados en laboratorios de universidades y/o centros de investigaciones de tecnología de aplicación y en fábricas de equipos de aspersión y/o de boquillas, en diferentes países del mundo.

Por comparación

Este método se utiliza, cuando se necesita una indicación inmediata de una aplicación en el campo. Se basa fundamentalmente en la elaboración de una escala comparativa con diferentes cubrimientos. Es cualitativo pero tiene la ventaja de ser rápido, práctico y es útil para corregir los parámetros necesarios para realizar una correcta aplicación. Es apropiado para técnicos y extensionistas agrícolas, los cuales necesitan comprobar y corregir rápidamente los parámetros de una aplicación en el campo, principalmente en aspectos relacionados con boquillas, presiones de trabajo, sistemas y volúmenes de aplicación.

Ocular

Es el método más utilizado para realizar investigaciones sobre tecnología de aplicación y equipos de aspersión, tanto en café como en otros cultivos.

Para la determinación del cubrimiento se utilizan lupas monoculares de diferentes aumentos (15, 20 y 30X). Este método es práctico, confiable y fácil de usar en el campo, ya que no requiere de sitios especiales para realizar las mediciones.

Para evaluar el cubrimiento (No. de gotas / cm^2) se requiere inicialmente, determinar el campo óptico de la lupa y/o del observador. Para el efecto, se coloca la lupa sobre un papel milimetrado y se cuenta el número de cuadros (mm) que se observan en el campo, y con este dato, se calcula el área total mediante la fórmula $\mathbf{A = \pi.r^2}$. El área de la lupa es el divisor de 100 mm^2 (1 cm^2), con el cual se obtiene el factor de conversión.

Para determinar el cubrimiento se requiere leer con la lupa el número de gotas, grandes y pequeñas, que se observan en 4, 6 ó más campos, dependiendo del tamaño del colector y se estima el promedio. Luego este valor se multiplica por el factor de conversión para obtener el número de gotas/cm^2, finalmente la información obtenida se registra en tablas elaboradas para tal fin.

Actualmente, para evaluar físicamente las aplicaciones en café para el control de la broca, se están utilizando colectores de papel kromacote de 48 cm^2 (16 x 3 cm), leyendo 8 campos (4 por encima y 4 por debajo) en relación con la posición de la tarjeta en la rama (Villalba, 2003).

Métodos para determinar el tamaño de la gota

Para determinar el tamaño de gota, (diámetro medio volumétrico, VMD) se han desarrollado muchas técnicas bajo condiciones particulares. Las técnicas modernas incluyen fotografía a alta velocidad, rayos láser y analizador de imagen, entre otros. Los métodos más utilizados en tecnología de aplicación en café y otros cultivos son: por comparación, por el diámetro máximo, la gratícula Porton G-12 y el analizador de imagen. A continuación, se describen algunos de estos métodos:

Comparación

Cuando no se requieren mediciones precisas para evaluar el tamaño de gota, se pueden utilizar escalas comparativas de diferentes tamaños de gota (VMD), previamente determinados y clasificados según el tamaño de las mismas. Este método es útil para tener una impresión rápida en el campo, del tamaño de gota que se está produciendo con un determinado equipo de aspersión y boquilla, a una presión determinada.

Diámetro máximo

Este método consiste en seleccionar las manchas más grandes de cada colector con una lupa de 20X, luego se clasifican en grupos de acuerdo al tamaño (50 μm). Posteriormente, se escoge la mancha de mayor tamaño de esta distribución, la cual debe cumplir los siguientes requisitos: debe haber por lo menos dos gotas de este tamaño y una de un tamaño inmediatamente inferior sobre el colector, y finalmente, se determina el VMD mediante la fórmula:

$$VMD = \frac{\mathbf{D.MAX}}{\mathbf{F.E\ X\ 2{,}2}}$$

En donde:

VMD : Diámetro medio volumétrico
D.MAX : Diámetro máximo
F.E. : Factor de expansión
2,2 : Constante

Nota: El factor de expansión de una gota cuando se usa el colorante azul de metileno y el papel Kromacote es 1.

Gratícula Porton G-12

Esta gratícula, se utiliza cuando se requiere realizar mediciones muy precisas, de tamaños de gota en trabajos de investigación sobre tecnología de aplicación y equipos de aspersión y se instala en el ocular del microscopio, el cual debe tener una platina mecánica para poder alinear las gotas que están en el colector en una serie de líneas de la gratícula. A partir de la línea base **Z** la distancia entre esas líneas se incrementa en una progresión de √2. El uso de la gratícula es dispendioso cuando se requiere realizar mediciones de grandes cantidades de muestras.

Para determinar el tamaño de gota con la Gratícula Porton GT-12, se utiliza un microscopio con el ocular 10X y el objetivo 8X, para obtener un aumento de 80X. En el ocular del microscopio se instala la gratícula, para medir el tamaño de la gota, la cual tiene 14 divisiones de la línea Z hasta 14.

Para medir el tamaño de las gotas se hace coincidir la línea demarcada con la letra Z y se observa hasta cuál línea se extiende. En el caso que la gota se localice entre dos líneas, se aproxima a la siguiente. En la Tabla 12.2, se muestra el tamaño de la gota de acuerdo a la clase a la que se extienda su diámetro.

Tabla 12.2. Clasificación por clase del tamaño de gota, según la Gratícula Porton GT-12

Clase	Tamaño de gota (micras)
1	5,50
2	7,70
3	11,04
4	15,50
5	22,00
6	31,25
7	44,17
8	62,50
9	88,35
10	125,00
11	176,77
12	250,00
13	353,55
14	500,00

Métodos para determinar la distribución

Los métodos que se utilizan para determinar la distribución son los mismos que usan para cuantificar el cubrimiento.

Método para determinar depósitos

Para la determinación de los depósitos se utiliza el trazador fluorescente Uvitex, en dosis de 3 a 4 gramos por hectárea, y un fluorómetro.

Para la realización de las lecturas en el fluorómetro hay que calibrarlo inicialmente, para lo cual se utiliza uno de los siguientes solventes: Isopropanol, cloroformo y/o tetracloruro de carbono. Para el efecto, al prender el aparato el dial debe estar marcando "0" y cuando se utilice una mezcla de un litro de uno de los solventes más 100 μm de Uvitex, el dial del fluorómetro debe estar marcando "100" (Ciba Geigy, 1985).

El procedimiento para realizar la lectura de las muestras, es el siguiente:

1. Los colectores y/o frutos de café, que recibieron la aplicación, deben lavarse con el mismo solvente que se utilizó para la calibración del fluorómetro.
2. La cantidad de solvente requerido para lavar los colectores y/o frutos de café, depende de la cantidad de trazador depositada por colector, para lo cual la mínima cantidad a utilizar son 10 mL.
3. La recuperación se calcula por la intensidad de fluorescencia de la solución utilizada para el lavado de los colectores, el área del colector y el contenido de Uvitex OB en la mezcla que se aplicó.
4. La recuperación se calcula mediante la fórmula:

$$\text{Recuperación estimada (\%)} = \frac{\text{Total estimado depósito/árbol}}{\dfrac{\text{Depósito real/ha}}{\text{No de árboles/ha}}}$$

EQUIPOS DE ASPERSIÓN

Actualmente, en el mercado nacional existe una serie de equipos de aspersión tanto de la industria nacional como importados, para realizar aplicaciones para el control de problemas fitosanitarios en el cultivo café, como en otros (frutales) de la zona cafetera colombiana. Por lo tanto, la selección de un equipo de aspersión depende entre otros factores de: la extensión de la finca, la topografía, la disponibilidad de agua, la duración de la labor, las características de los lotes, la frecuencia de aplicación y el costo del equipo (Villalba, 2003).

Un equipo de aspersión es una máquina diseñada para realizar aplicaciones de plaguicidas tanto líquidos como polvos, para el control de problemas fitosanitarios en los cultivos y/o aspersiones para el control de plagas domésticas, tales como: moscas, cucarachas, pulgas, chinches, etc.

Todo equipo de aspersión está constituido por tres partes principales, independientemente que se trate de una aspersora para realizar aplicaciones en cultivos, aplicaciones domésticas y/o aplicaciones aéreas, que son: un tanque para el agroquímico, un sistema de presión y un sistema de salida (Villalba, 2003).

Existen diferentes tipos de equipos, los cuales dependiendo de su funcionamiento, se pueden clasificar como:

- De palanca o presión hidráulica
- De presión neumática
- De presión previa retenida
- Motorizados de espalda con ventilador
- Motorizados de espalda con bomba de presión
- Semiestacionarios motorizados
- De disco rotativo y/o aplicación controlada de gotas (CDA)
- Termonebulizadores

Equipos de palanca o presión hidráulica

Se conocen como de palanca y/o presión hidráulica (Figura 12.1), ya que es el mismo líquido que bajo presión lo hace salir por la boquilla y lo transforma en una nube de aspersión. Son muy utilizados en cultivos como: café, tomate, hortalizas y pastos.

Estas aspersoras son de fácil operación, pero tienen los siguientes inconvenientes:

El operario lleva ambas manos ocupadas y en terrenos pendientes hay variabilidad en la calidad de las aplicaciones y, por ende, en la eficacia biológica de los productos aplicados.

Figura 12.1. Equipos de palanca y/o presión hidráulica (Foto G. Hoyos).

Por su funcionamiento, la presión es variable, dependiendo de la descarga de la boquilla, con la generación de diferentes tamaños de gotas y por ende, diferentes cubrimientos, lo cual influye en la eficacia biológica de los productos.

Con base en lo anterior, a estos equipos de palanca se les debe colocar un regulador de presión y/o una válvula reguladora, con el fin de realizar las aplicaciones a las presiones recomendadas, para un insecticida, fungicida y/o herbicida.

Los equipos de palanca más utilizados para hacer aplicaciones en cafetales son: Matabi Súper Agro – 20, Royal Cóndor, Tarea estándar, Herragro y Jacto pjh 9000.

Equipos de presión previa retenida (PPR)

Se conocen como de presión previa retenida (Figura 12.2), porque como su nombre lo indica, antes de introducirles el líquido hay que inyectarles 40 psi de presión inicial, y posteriormente, con la ayuda de la bomba, se les introduce 10 litros de la mezcla a asperjar.

Presentan muy buenas características de fabricación y funcionamiento y, son uno de los equipos con los cuales se puede realizar una aplicación técnicamente bien hecha de cualquier producto biológico o químico, ya que poseen un regulador de presión de buena calidad y una boquilla de baja descarga (TX3 ó HC3). Pero tienen como desventaja su bajo rendimiento de aplicación, por lo que un solo operario puede hacer la aplicación en una hectárea de 5.000 a 6.000 árboles, en una semana (cinco jornales).

Figura 12.2. Equipos de presión previa retenida (Foto G. Hoyos).

Los equipos de presión previa retenida más conocidos son: Triunfo 40 -100 – 10 y Calimax Leo Cafetera.

Equipos motorizados de espalda con ventilador

Estos equipos (Figura 12.3) se componen básicamente de: un motor de dos tiempos de 70 cc de cilindrada y acoplado a uno de los ejes del cigüeñal un ventilador, el cual genera una corriente de aire que impulsa a través del tubo de salida del aire, con el fin de romper el líquido que fluye por la boquilla e impulsarlo hacia los árboles que se quieren aplicar.

Los equipos más recomendados para realizar aplicaciones en cultivos como banano, plátano, aguacate, macadamia, cítricos, etc., son los siguientes: Solo Port 423, Cifarelli L3 PSA y Efco AT 2080, entre otros.

Figura 12.3. Equipo motorizado de espalda con ventilador (Foto G. Hoyos).

Motorizados de espalda con bomba de presión

Como los anteriores, estos equipos (Figura 12.4) poseen también un motor de dos tiempos de 22 cc de cilindrada, acoplados a uno de los ejes del cigüeñal, y una bomba de presión de dos pistones, la cual puede generar hasta 246 psi (17 kg/cm²). Estos equipos son recomendados para realizar aplicaciones en cafetales y en algunos casos a frutales. Los más utilizados son: Maruyama MS-056, Maruyama MS-068, Maruyama MS-073 D, Robin Kobra RS-937 y Arimitsu SD-253 D.

Figura 12.4. Equipos motorizados de espalda con bomba a presión (Foto G. Hoyos).

Equipos semiestacionario motorizados

Estos equipos (Figura 12.5) están compuestos básicamente por un motor de cuatro tiempos y una bomba de presión de tres pistones, acoplada al motor por una y/o dos poleas con sus respectivas correas. Los pistones pueden ser en acero inoxidable y/o cerámica, dependiendo del fabricante de la bomba, con una grasera y/o aceitera por pistón. En el múltiple de salida hay un regulador de presión con un manómetro (escala de presión en bar y/o kg/cm²), con un máximo de 40 kg/cm², y dos de salida para mangueras de aspersión de un ¼ de pulgada de diámetro interno. Algunos equipos traen una salida adicional de 3/8 y/o ½ pulgadas de diámetro, con el fin de utilizarla para labores de riego.

Además, vienen con una manguera de succión y una de retorno de 2,5 m de longitud, y una de aspersión, la cual debe tener como mínimo 200 m de longitud, una llave de paso de bola y una la lanza de doble salida, distanciadas una de otra 25 cm, aproximadamente, con discos D-35 (700 cc/min a 15 kg/cm²).

Estos equipos se pueden utilizar para realizar aplicaciones en café y cultivos sembrados en hileras como maracuyá. Los más utilizados son: Maruyama MS-253, Maruyama MS 330 ECB, Arimitsu CS-26 KB, Yuan Liang YL-22 y 28, y Diamond YS-22 y 28.

Figura 12.5. Equipos semiestacionarios (Foto G. Hoyos).

Equipos de bajo volumen

Los equipos de aspersión de bajo volumen no se están utilizando actualmente en el cultivo del café. Algunos de estos equipos son: Micron Ulva, Ulva Fan y Motax.

Equipos termonebulizadores

En relación con estos equipos, son muy opcionados para realizar aplicaciones en recintos cerrados como bodegas, teatros y otros sitios, pero no se recomiendan para realizar aplicaciones en cafetales.

Las especificaciones técnicas de los diferentes equipos de aspersión se pueden consultar en el Anexo 1.

Boquillas utilizadas para realizar aplicaciones en cafetales

Las boquillas son consideradas como una de las partes más importantes de cualquier equipo de aspersión. Algunos investigadores en tecnología de aplicación, las consideran como instrumentos de precisión, ya que con ellas se pueden aplicar diferentes volúmenes de aplicación dependiendo de las necesidades en cada caso (Villalba, 2003).

Las principales funciones de las boquillas son:

1. Desintegrar el líquido en gotas
2. Regular el flujo
3. Distribuir el líquido en patrones definidos

Cuando se va a realizar la aplicación de un producto biológico y/o químico, es conveniente seleccionar la boquilla más adecuada, de acuerdo con las siguientes características: descarga, presión de operación, ángulo de salida, patrón de aspersión y tamaño del orificio del disco, ya que el conocimiento de estos factores garantiza el éxito biológico de la aplicación del producto.

El flujo de la boquilla, el cual depende del tamaño del orificio del disco y de la presión de operación, es un aspecto muy importante para determinar el cubrimiento, el volumen de aplicación y la velocidad de aplicación.

La presión, es otro factor fundamental ya que determina el volumen por unidad de tiempo, el ángulo de aspersión, el cubrimiento y el tamaño de gota. En términos generales, se puede indicar que cuando se incrementa la presión se obtiene: menor tamaño de la gota y mayores flujo, ángulo de aspersión, cubrimiento, penetración, distribución, deriva y desgaste del orificio del disco. Cuando se utiliza menor presión se obtiene: mayor tamaño de gota y menores flujo, ángulo de aspersión, cubrimiento, penetración y desgaste.

En el mercado existen boquillas de diferentes materiales las cuales, de menor a mayor resistencia, son: latón, plástico, acero inoxidable, acero inoxidable endurecido, acetal y cerámica.

Las partes de una boquilla típica son: cuerpo, filtro, punta (rotor y disco) y tapa.

Las boquillas recomendadas para los equipos manuales de espalda, motorizados de espalda con bomba de presión y semiestacionarios, para el control de la broca y la roya del cafeto, se presentan en las Tablas 12.3 y 12.4.

Tabla 12.3. Boquillas recomendadas para los equipos manuales de espalda.

Referencia	Descarga* (cc/min.)
TX3 - HC3	190
TX4 - HC4	252
TX5 - HC5	315
TX6 - HC6	380
TXVS 3 / TXVK 3 (Amarilla)	190
TXVS 4 / TXVK4 (Verde)	252
TXVS 6 / TXVK 6 (Roja)	380
Albuz ATR 80	200
RC - 350 B 101X	350
G -32	320
FM-001-37	340
TXA 800050 VK	190

* Presión 40 PSI

Tabla 12.4. Discos de las boquillas para los equipos motorizados de espalda con bomba de presión y semiestacionario.

Referencia	Presión (kg/cm^2)	
	15	20
	Descarga (cc/min.) *	
D-35	1.500	1.700
D-6	1.960	2.250
C-35	3.000	3.440

* Descarga de 2 discos

CALIBRACIÓN DE UNA APLICACIÓN

La calibración se puede definir como el proceso por medio del cual se determinan los factores básicos para el éxito biológico de una aplicación.

La calibración es importante porque de lo contrario se puede incurrir en dos situaciones: en una sobredosificación o en una subdosificación. Ambas son malas: la primera porque se aplicaría mayor cantidad del plaguicida y aunque se controle la plaga, se incrementan los costos de las aplicaciones y se generaran una serie de problemas potenciales como son: presión a la plaga para que adquiera resistencia, resurgencia de plagas potenciales y mayores riesgos de contaminación ambiental y de los operarios.

En relación con la subdosificación, ésta tendría mayores implicaciones negativas que la sobredosificación, por lo que habría necesidad de repetir la aplicación del plaguicida, perdiéndose el producto aplicado y los jornales, y en el caso específico de la broca del café, se repetiría pero ya no en el momento oportuno, con una baja eficacia de la aplicación. Adicionalmente, también se incurrirían en problemas como los mencionados en el caso de una sobredosificación.

Para realizar una correcta calibración es necesario tener en cuenta los siguientes factores:

- Condiciones del cultivo
- Equipo de aspersión

- Selección del producto a aplicar
- Operario

En cuanto a las condiciones del cultivo es conveniente conocer la densidad y distancia de siembra, la altura de las plantas, la topografía y el sistema de producción de café (a libre exposición solar o bajo sombra).

En relación con el equipo de aspersión es importante conocer: el tipo de equipo de aspersión (palanca, presión previa retenida, motorizado de espalda con bomba de presión y/o semiestacionario); la presión de aplicación: para herbicidas se recomienda entre 15 y 25 psi y para insecticidas y fungicidas a 40 psi; el tipo de boquilla: de abanico y/o cortina para aplicar herbicidas, o de cono hueco para la aplicación de insecticidas y/o fungicidas; el flujo de las boquillas: entre 190 y 315 cc/min. a 40 psi (TX 3 , TXVS 3/4/5 y TXVK 3/4/5), para la aplicación de insecticidas y fungicidas, y entre 190 y 378,5 cc/min. a 40 psi (800050 – 8001), para la aplicación de herbicidas.

Sistemas de aplicación

Existen diferentes sistemas de aplicación dependiendo del equipo de aspersión a utilizar, entre los cuales están:

1. Para los equipos de aspersión de palanca y presión previa retenida se recomienda el sistema de aplicación árbol por árbol (dos medias caras por pasada en zigzag).

El sistema de aplicación cuando se utiliza el equipo motorizado de espalda con bomba de presión, es el de dos surcos por encima de la copa de los árboles y/o dos medias caras por pasada, dependiendo de la topografía y/o altura de los árboles.

Con el equipo semiestacionario se sugiere utilizar el sistema de dos medias caras de ida y dos de regreso, u otro sistema que se adapte a las condiciones topográficas del lote.

La velocidad de aplicación depende de la topografía del lote a aplicar, pero en general, se recomienda una velocidad de más o menos un metro por segundo.

2. Volumen de aplicación: se recomienda un volumen de 25 y 50 cc, para árboles de dos y cuatro cuatro años, respectivamente.

Selección del producto a aplicar

Para el control de la broca del café se recomienda utilizar productos biológicos y/o químicos. Para el efecto, el hongo ***Beauveria bassiana*** (Balsamo) Vuillemin es el más utilizado en una dosis de **1 x 10^9** esporas/árbol.

En cuanto a los insecticidas, se pueden utilizar:

- **fentoato** (Fentopen 500 EC)
- **fenitrotion** (Sumithion 50 EC),
- **clorpirifos** (Lorsban 4 EC, Pirinex 48 EC, Ráfaga, etc.). Con este ingrediente activo, existen alrededor de diez productos de diferentes casas comerciales de agroquímicos.

La concentración recomendada para aplicar estos insecticidas es de 6 cc de producto comercial por litro de agua.

Operario
En cuanto a los operarios que van a realizar la calibración, es conveniente que se les dé un entrenamiento de los diferentes tipos de equipos de aspersión, boquillas, presión, volumen de aplicación, etc., además, se les debe explicar directamente en el lote que se va aplicar cómo se debe hacer la aspersión. Por ejemplo, explicarles que la lanza se debe colocar unos 20 cm de distancia de los árboles y la aplicación se debe hacer de arriba hacia abajo.

Antes de realizar la calibración, se debe revisar el equipo de aspersión y comprobar que todos elementos, como son manómetros del tanque y regulador de presión, llave de paso y boquilla, están funcionando adecuadamente y no presentan fugas.

Hay varios métodos para realizar la calibración de un equipo de aspersión, pero cualquiera que se utilice, debe producir los mismos resultados, independiente que el equipo sea manual de espalda, motorizado de espalda o semiestacionario.

Antes de iniciar la calibración, se debe determinar el flujo de la boquilla a la presión de aplicación, haciendo mínimo tres lecturas y promediarlas. Luego, se le adiciona una cantidad conocida de agua a la aspersora, normalmente 5 litros, se ajusta la presión de salida, dependiendo del producto que se va aplicar, con el manómetro del regulador de presión y se inicia la aspersión de los árboles. Posteriormente se cuentan los árboles que se asperjaron con los 5 litros de agua, y se determina el volumen de aplicación por árbol, dividiendo la cantidad de agua entre el número de árboles asperjados.

Para calcular el volumen de aplicación por hectárea, se debe multiplicar el número de árboles de la hectárea por los 5 litros de agua, que se utilizaron para hacer la aplicación, y se divide por el número de árboles asperjados, así:

Volumen por hectárea (litros): V = N . X / A

En donde:
N = Número de árboles por hectárea
X = Volumen de agua utilizado para la calibración (5 litros)
A = Número de árboles asperjados

En este caso, la población es de 5.000 árboles/ha de cuatro años, los cuales se cubren adecuadamente con 50 cc/árbol, y para la calibración, se utilizaron 5 litros de agua con los cuales se asperjaron **125 árboles**, entonces el volumen, será:

$$\text{Volumen por hectárea: } V = \frac{5.000 \times 5}{125} = 200 \text{ litros}$$

Ahora, con base en este ejemplo, para determinar el volumen de aplicación por árbol se divide el volumen por hectárea entre la población de árboles, entonces:

$$\text{Volumen } V = \frac{200 \text{ litros}}{5.000 \text{ árboles}} = 0{,}04 \text{ L/árbol} = 40 \text{ cc/árbol}$$

Con base en estos resultados, el volumen por árbol es menor al de referencia, que es de 50 cc, razón por la cual, se debe hacer nuevamente la calibración para tratar de depositarle la cantidad adecuada, de lo contrario se podría presentar deficiencia en la eficacia del producto aplicado.

Manejo y mantenimiento de los equipos de aspersión

Equipos de presión hidráulica o palanca y presión previa retenida (PPR)

- Antes de utilizar la aspersora, se debe leer detenidamente el manual, para armarla y desarmarla correctamente.
- El O-Ring del equipo de palanca o las chupas de cuero de las de PPR, se deben lubricar, antes de cada jornada de trabajo.
- Antes de utilizar los equipos se deben revisar todas las partes y verificar que no presenten fugas.
- Si las aspersoras poseen válvulas reguladoras y/o reguladores de presión, se le debe tomar el flujo a la boquilla que se va a utilizar, a la presión seleccionada.
- Se deben utilizar boquillas de baja descarga, tales como: TX3, TXVS3, TXVK3 y otras de similares características.
- Siempre que finalice la jornada de trabajo se debe lavar la aspersora unas tres veces haciéndole recircular agua. No se debe dejar líquido en la aspersora, de un día para otro, y mucho menos con productos químicos.
- En cuanto sea posible, se debe tener un equipo de aspersión para la aplicación de fungicidas e insecticidas y otro para herbicidas.
- Se deben revisar y limpiar los filtros de la llave de paso y boquillas de los equipos, con un cepillo de cerdas plásticas.
- Los equipos de aspersión se deben almacenar en un lugar fresco, seco y sin líquido, como se mencionó anteriormente.

Motorizados de espalda con ventilador y bomba de presión

- Leer siempre el manual de manejo y mantenimiento antes de usar el equipo.
- Se debe preparar la mezcla de gasolina y aceite de dos tiempos en la relación que indique el fabricante, por ejemplo 25:1, y en lo posible preparar la cantidad de mezcla que se va utilizar durante la jornada de trabajo.
- Cuando se va a reabastecer el tanque de combustible de los equipos, nunca se les debe quitar el filtro del tanque y, como norma de seguridad, el motor siempre debe estar apagado.
- Cuando se termina la labor de aspersión se debe cerrar la llave de paso de combustible, manteniendo el motor encendido y con agua en el tanque de agroquímicos, con el fin de consumir la mezcla de las mangueras y el carburador.
- Como estos equipos tienen acoplada una bomba centrífuga y/o de presión, no se deben operar sin líquido en el tanque de agroquímicos, porque se puede quemar y además, son muy costosas.
- Las bombas de presión se deben revisar periódicamente, dependiendo del uso del equipo, y lubricarlas con unas gotas de aceite de cuatro tiempos, en el caso de los equipos con bomba de presión.
- Cuando se termine la jornada de trabajo, se debe hacer recircular agua, con el motor encendido, para lavar completamente el equipo.

Equipos semiestacionarios

- Leer siempre, antes de usar el equipo, el manual de manejo y mantenimiento.
- Antes de prender por primera vez el motor, tanto al motor como a la bomba de presión, se les debe adicionar el tipo de aceite sugerido y la cantidad recomendada por el fabricante, los cuales aparecen en el manual de funcionamiento.
- Se debe revisar periódicamente el nivel de aceite del motor y la bomba, y si le hace falta, adicionarlo hasta el nivel indicado.
- El cambio de aceite del motor y la bomba, se debe realizar teniendo en cuenta las recomendaciones del fabricante, para lo cual hay que leer y revisar el manual de manejo y mantenimiento del equipo.
- Diariamente, antes de cada jornada de trabajo y durante la labor de aspersión, se debe lubricar la bomba de presión, colocándole de tres a cuatro gotas de aceite, y/o darle de tres a cuatro vueltas a las graseras.
- Por razones de seguridad, se recomienda apagar siempre el motor cada vez que se va a reabastecer de combustible.
- Cada día que se va a iniciar la labor de aspersión, se debe calentar el motor por unos 5 minutos, teniendo la precaución de introducir a la caneca las mangueras de succión y retorno, para que recircule el líquido.
- No se deben sacar las mangueras de succión y retorno cuando se vacíe la caneca de donde se está succionando la mezcla, porque la bomba de presión succiona aire y trabaja en seco, y se corre el riesgo que se quemen los empaques del pistón.
- El motor no se debe operar a máxima aceleración, ya que a media y/o tres cuartos, son suficientes para realizar la labor de aspersión, aún cuando se requiera aplicar en los lotes que están en la parte alta de la finca.
- Revisar la bujía y descarbonarla si es necesario, con un cepillo de cerdas metálicas, y recalibrarla, con un calibrador.
- Cuando se esté lavando el equipo, es recomendable cerrar la llave de paso de gasolina hasta que se consuma la gasolina de las mangueras y el carburador.
- Después de 50 horas de trabajo, se debe revisar la tensión de las correas del equipo, y si es necesario tensionarlas.
- El equipo siempre debe estar nivelado, ya que el sistema de lubricación, tanto del motor como el de la bomba de presión, es por salpique.
- Se recomienda, para estos equipos, una longitud mínima de las mangueras de aspersión de 200 metros.
- Se debe ajustar la presión, dependiendo si se aplica hacia arriba o hacia abajo, ya que por cada 10 metros que se ascienda o descienda, se incrementa y/o disminuye la presión en 1 kg/cm^2 (14,5 psi).
- La manguera de succión nunca se debe utilizar sin filtro, porque pueden pasar a la bomba residuos sólidos que podrían desgastar los pistones de la bomba.

- El equipo se debe ubicar estratégicamente en los lotes, para evitar moverlo frecuentemente y disminuir así los rendimientos de aplicación.

- Después de finalizada la jornada de trabajo siempre se debe recircular agua limpia por todo el equipo, incluyendo las mangueras y las boquillas.

- El filtro de aire se debe revisar cada 50 horas de trabajo, y si está muy sucio lavarlo con agua y detergente, secarlo y volverlo a colocar.

- Después de cada jornada de trabajo, el equipo se debe limpiar con un trapo húmedo.

Literatura citada

BUSTILLO, A. E.; CÁRDENAS, R.; VILLALBA, D. A.; BENAVIDES, P.; OROZCO, J.; POSADA, F. J. 1998. Manejo integrado de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) en Colombia. Federación Nacional de Cafeteros, Centro Nacional de Investigaciones de Café "Pedro Uribe Mejía", Cenicafé. Feriva S. A. ISBN 958-96554-0-8. 2a edición. 134 p.

CIBA - GEIGY, 1985. International training course in ground and aerial application for plant protection and biotechnical products. Volume 1 – 2. Les Barges (Vouvry). Switzerland. Julio 5 – 16, 1.985, p. 123 y 136.

MATTHEWS, G. A. 1979. Pesticide application methods. London, Longman, 336 p.

VILLALBA, D. A. 1982. Técnicas de aplicación de plaguicidas en el cultivo del cafeto. *In:*Taller sobre la roya del café (*H. vastatrix*. Berk y Br.). Cenicafé, Manizales, Colombia), abril 12-17 de 1982, 20 p.

VILLALBA, D. A. 1986. Evaluación del equipo de aspersión semiestacionario motorizado ARIMITSU CS – 26 KB, para el control de la roya del cafeto. *In*: Informe interno Disciplina de Fitopatología. Cenicafé, Chinchiná, Colombia,12 p.

VILLALBA, D. A. 1992. Desarrollo de tecnología de aplicación para el control de la broca del café. *In*: Informe sobre avances en investigaciones en broca. Cenicafé. Chinchiná (Colombia), marzo 20, 1992. p. 1-29.

VILLALBA, D. A. 1993. Calibración de aspersoras manuales de espalda. Cenicafé, Boletín de Extensión No. 75, Chinchiná (Colombia), 16 p.

VILLALBA, D. A. 2003. Curso sobre Tecnología de aplicación de agroquímicos y equipos de aspersión para el control de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari). Federación Nacional de Cafeteros de Colombia – Centro Nacional de Investigaciones de Café - Cenicafé, Chinchiná (Colombia), 45 p.

Anexo 1.

Especificaciones de los equipos más utilizados en la zona cafetera colombiana.

Equipos de aspersión de palanca o presión hidráulica

Marca: Matabi
Modelo: Super Agro 20
Peso: 3,8 kg
Capacidad del tanque de agroquímicos: 20 litros
Material de construcción: Polipropileno
Correas de sujeción: De nailon y graduables
Chasis – base: Polipropileno
Tipo de bomba: De émbolo
Cámara de presión: Polipropileno
Cilindro de la bomba: Polipropileno
Válvulas (2): En acero inoxidable, con diámetro en mm.
Palanca: Tubo de hierro
Manguera de salida: Plástica, de 6 mm de Ø interno
Llave de paso: Polipropileno y automática
Lanza: Latón cromado
Boquilla (cono de graduable): Latón cromado
Descarga: 800 cc/min. a 40 psi.
País de origen: España
Fabricante: GOIZPER S. COOP.

Marca: Royal Cóndor
Modelo: Clásica
Peso: 5,4 kg
Capacidad del tanque de agroquímicos: 20 litros
Material de construcción: Polietileno de alta densidad
Correas de sujeción: De nailon y graduables
Chasis / base: Hierro
Tipo de bomba: De émbolo
Cámara de presión: De polietileno
Cilindro de la bomba: Latón
Válvulas (2): En latón, de 7/16 mm de Ø interno
Palanca: Hierro
Manguera de salida: Caucho y 3/8' de Ø interno
Llave de paso: Poliacetal y automática
Lanza: Latón
Boquilla (De cono hueco): Latón (Graduable)
Descarga: 600 cc/min, a 40 psi.
País de origen: Colombia
Fabricante: PROGEN S.A.

Marca: Tarea
Modelo: Estándar
Peso: 5,5 kg
Capacidad del tanque de agroquímicos: 20 litros

Material de construcción: Polietileno de alta densidad
Correas de sujeción: De nailon y graduables
Chasis / base: Hierro
Tipo de bomba: De émbolo
Cámara de presión: De polietileno
Cilindro de la bomba: Latón
Válvulas (2): En latón, de 7/16 mm de Ø interno
Palanca: Hierro
Manguera de salida: Caucho y 3/8' de Ø interno
Llave de paso: De polietileno
Lanza: Latón
Boquilla (De cono hueco): Latón
Descarga: 600 cc/min. a 40 psi
País de origen: Colombia
Fabricante: Taller Rentería

Marca: Herragro

Modelo: 289
Capacidad del tanque de agroquímicos: 20 litros
Material de construcción: Polipropileno de alta densidad
Correas de sujeción: Nailon, graduables
Chasis / base: Polietileno
Tipo de bomba: De émbolo
Cámara de presión: Polipropileno y posición interna
Cilindro de la bomba: Polipropileno
Válvulas (2): Polipropileno de 13 mm de diámetro
Palanca: Tubo de hierro
Manguera de salida: Vinilo, con refuerzo de fibra de nailon, de 8 mm de Ø interno
Llave de paso: Plástica y automática
Lanza: Latón
Boquilla: Plástica y cono graduable
Descarga: 740 cc/min. a 40 psi
País de origen: México
Importado y comercializado por: Herramientas Agrícolas S.A.

Equipos de aspersión de presión previa retenida

Marca: Triunfo

Modelo: 40 – 100 - 10
Peso (vacía): 7,5 kg
Capacidad del tanque de agroquímicos: 10 litros
Material de construcción: Acero inoxidable
Resistencia: 200 psi
Base: Acero inoxidable
Correas de sujeción: En nailon y graduables
Espaldar: En acero inoxidable y reata de nailon
Manómetro del tanque: Tipo bourdon, escala de 0 a 150 psi
Regulador de presión: En latón. Manómetro de 0 - 100 psi
Manguera de salida: Caucho, de ¼' de Ø interno
Llave de paso: Latón y automática
Lanza: En latón, de 80 cm. de longitud
Boquilla (De cono hueco): TX3 Punta en acero inoxidable
Descarga: 200 cc/min. a 40 psi
Bomba inyectora: De émbolo

Material de construcción: Latón y manija de madera
Base: Lámina de hierro
Desplazamiento: 200 cc
Campana de succión: En acero inoxidable, filtro de 50 mallas en acero inoxidable
País de origen: Colombia
Fabricante: Fumigadoras Triunfo S.A.

Marca: Calimax

Modelo: Leo Cafetera
Peso (vacía): 8,0 kg
Capacidad del tanque de agroquímicos: 10 litros
Material de construcción: Acero inoxidable
Resistencia: 200 psi
Base: Lámina de hierro
Correas de sujeción: En nailon y graduables
Espaldar: Lámina de hierro y reata de nailon
Manómetro del tanque: Tipo bourdon, escala de 0 a 160 psi
Regulador de presión: En latón y manómetro de 0 - 100 psi
Manguera de salida: Caucho, de 1 m de longitud y 3/8' de Ø interno
Llave de paso: Latón y automática
Lanza: En latón, de 80 cm. de longitud
Boquilla (De cono hueco): HC3 Punta en latón y disco en acero inoxidable.
Descarga: 200 cc/min. 40 psi
Bomba inyectora: De émbolo
Material de construcción: Latón y manija de madera
Base: Lámina de hierro
Desplazamiento: 200 cc
Mangueras (de caucho): De succión de 2 m e inyección de 0,6 m de longitud y 3/8' de diámetro
Campana de succión: En acero inoxidable y filtro de 50 mallas en cobre
País de origen: Colombia
Fabricante: Colinagro S.A.

Equipos de aspersión motorizados de espalda con ventilador

Marca: Maruyama

Modelo: MD-150 DX
Peso: 12 kg
Capacidad del tanque de agroquímicos: 23 litros
Material de construcción: Polietileno
Correas de sujeción: Plástica, graduables y con hombreras
Motor: Monocilíndrico de 2 tiempos
Cilindrada: 42 cc
Potencia: 3,5 HP
Revoluciones: 8.500 rpm
Sistema de encendido: Electrónico
Carburador: Tipo Bing (Flotador)
Mezcla de combustible: 25:1
Capacidad del del tanque de combustible: 1,2 litros
Consumo de combustible: 0,5 L/h
Bujía: NGK BM 6 A
Sistema de arranque: Reversible
Velocidad de aire: 120 m/s
Volumen de aire: 20 m^3/min.
Alcance: horizontal 8 m y vertical 6 m

Tipo de boquilla: Graduable (4 posiciones)
Flujo: De 1 – 4 L/min.
Descarga de polvos: 0,5 – 5 kg
País de origen: Japón

Marca: Solo

Modelo: Port 423
Peso: 11,5 kg
Capacidad del tanque de agroquímicos: 12 litros
Material de construcción: Polietileno
Correas de sujeción: Nailon, graduables y hombreras
Motor: Monocilíndrico de 2 tiempos
Cilindrada: 70 cc
Potencia (HP): 3,5
Revoluciones: 6.000 rpm
Sistema de encendido: Electrónico
Carburador: Tipo Bing (Flotador)
Capacidad del tanque combustible: 1,4 litros
Mezcla de combustible: 25:1
Consumo de combustible: 1,75 L/h
Bujía: NGK 7 H S
Sistema de arranque: Reversible
Velocidad de aire: 100 m/s
Volumen de aire: 20 m^3/min.
Boquillas (2): Roja y negra (Graduables 4 posiciones)
Flujo de las boquillas: Roja: entre 560 – 2.400 cc/min. y Negra: entre 1.140 – 5.800 cc/min.
Descarga de polvos: De 0,5 - 4 kg/min.
Alcance (metros): Horizontal 12 m; vertical 8 m
Bomba de presión: Opcional
País de origen: Alemania
Fabricante: SOLO KLEINMOTOREN GmbH

Equipos de aspersión motorizados de espalda con bomba de presión

Marca: Maruyama

Modelo: MS 073 D
Peso: 8,5 kg
Capacidad del tanque de agroquímicos: 25 litros
Material de construcción: Polietileno
Correas de sujeción: Nailon, con hombreras y graduables
Motor
Marca: Maruyama
Clase: Monocilíndrico de 2 tiempos
Cilindrada: 23 cc
Potencia (HP): 1,5
Revoluciones: 6.000 rpm
Sistema de encendido: Electrónico
Carburador: De diafragma
Sistema de arranque: Reversible
Bujía: NGK BM 6A
Separación de los electrodos: 0,6 mm
Capacidad del tanque de combustible: 1 litro
Mezcla de combustible: 25:1
Consumo de combustible: 1 L/h

Bomba de presión
Tipo: De doble pistón (Dúplex)
Cilindro: Aluminio
Material de construcción carcasa: Polipropileno
Regulador de presión: Polipropileno
Número de posiciones: 4 (Encendido, malezas, insecticidas y alta presión)
Presión máxima: 525 PSI
Descarga: 7,1 L/min.
Manguera de salida: Polietileno, de 1 m de longitud y ¼' de Ø interno
Llave de paso: Latón y de esfera
Lanza: En latón cromado y 80 cm. de longitud
Boquilla: Dos de disco, ensamblados en un portaboquilla de polipropileno
Flujo de los discos: 1.400 cc/min. a 15 kg/cm^2
País de origen: Japón
Fabricante: MARUYAMA MFG. CO., LTD.

Marca: Robin Kobra

Modelo: RS- 937
Peso: 8, kg
Capacidad del tanque de agroquímicos: 25 litros
Material de construcción: Polietileno
Correas de sujeción: Nailon, con hombreras y graduables
Motor
Marca: Robin
Clase: Monocilíndrico de 2 tiempos
Cilindrada: 25 cc
Potencia (HP): 1,8
Revoluciones: 7.000 rpm
Sistema de encendido: Electrónico
Carburador: De diafragma
Sistema de arranque: Reversible
Bujía: NGK BM 6A
Separación de los electrodos: 0,6 mm
Capacidad del tanque de combustible: 1 litro
Mezcla de combustible: 25:1
Consumo de combustible: 1,2 L/h
Bomba de presión
Tipo: Pistón
Material de construcción carcasa: Polipropileno
Regulador de presión: Polipropileno
Número de posiciones: 4 (Encendido, malezas, insecticidas y alta presión)
Presión máxima: 375 PSI
Descarga: 6,8 L/min.
Manguera de salida: Polietileno, de 1 m de longitud y ¼' de Ø interno
Llave de paso: Latón y de esfera
Lanza: En latón cromado y 80 cm. de longitud
Boquilla: Dos de disco, ensamblados en un portaboquilla de polipropileno.
Flujo de los discos: 1.400 cc/min. a 15 kg/cm^2
País de origen: Japón
Fabricante: MARUYAMA MFG. CO., LTD.

Equipos semiestacionario motorizados

Marca: Maruyama

Modelo: MS- 253
Peso: 35 kg
Motor
Marca: Robin
Modelo: EY – 15 D
Clase: Monocilíndrico de 4 tiempos
Cilindrada: 143 cm^3
Potencia (HP): 3,5
Revoluciones: 4.000 rpm
Sistema de encendido: Electrónico
Carburador: De flotador
Sistema de arranque: Reversible
Bujía: NGK B6HS/ Champion L86C
Separación de los electrodos: 0,6-0,7 mm.
Capacidad del tanque de combustible: 2,8 litros
Consumo de combustible: 1 L/h (aceleración media)
Filtro de aire: Cuerpo metálico, espuma de uretano tapa metálica perforada
Sistema de aceleración: Palanca metálica, con el extremo en plástico
Sistema de lubricación: Por salpique
Capacidad del cárter: 0,6 litros
Tipo de aceite: SAE 30 ó 40
Sistema de enfriamiento: Por aire
Sistema de parada: Por medio del interruptor o cerrando la llave de paso de gasolina
Bomba de presión
Marca: Maruyama
Modelo: MS 253 ECB / MS 330 ECB
Material de construcción carcasa: Aluminio endurecido
Capacidad del del depósito de aceite: 0,5 litros
Tipo de aceite: SAE 30 ó 40
Cigüeñal: En acero inoxidable
Número de levas: Tres (3)
Rodamientos: Dos de bolas
Poleas: Dos, una en el motor y otra en la bomba
Tipo: De doble banda
Correas: Dos en "V"
Pistones: Tres pistones en acero inoxidable
Cilindro de la bomba: En acero inoxidable
Válvulas de presión: Tres en bronce y acero inoxidable
Múltiple de succión: En bronce cromado
Múltiple de descarga: En bronce cromado
Cámara de presión: En acero inoxidable
Regulador de presión: Cuerpo y palanca en latón, tornillo de ajuste de presión metálico ensamblado en plástico
Posiciones de la palanca: Hacia arriba o hacia abajo (presión)
Manómetro: Tipo Bourdon, con escala de 0-50 kg/cm^2
Presión de trabajo: Entre 5 y 20 kg/cm^2
Llave de paso: Dos, en latón y de esfera
Manguera de salida: En polipropileno, de ¼' de Ø interno y 200 m de longitud
Lanza: En latón cromado, de 80 cm. de longitud.
Boquilla: Dos de disco, ensamblados en un portaboquilla de latón cromado
Referencia de los discos: D – 35 y/o D – 6
Mangueras de succión: En caucho, de 3 m de longitud y 19 mm de Ø interno. Canastilla con filtro de 40 mallas en acero inoxidable

Mangueras de retorno: En caucho, de 3 m de longitud y 13 mm. de Ø interno
País de origen: Japón
Fabricante: MARUYAMA MFG. CO. , LTD.

Marca: Arimitsu

Modelo: CS 26 KB
Peso: 39 kg
Motor
Marca: Kawasaki
Modelo: FG – 200 G
Clase: Monocilíndrico de 4 tiempos
Cilindrada: 201 cc
Potencia (HP): 5
Revoluciones: 4.000 rpm
Sistema de encendido: Con platinos y condensador
Carburador: De flotador (Tipo Bing)
Sistema de arranque: Reversible
Bujía: NGK 4HS
Separación de los electrodos: 0,6-0,7 mm
Capacidad del tanque de combustible: 4 litros
Consumo de combustible: 1 L/h (aceleración media)
Filtro de aire: Cuerpo metálico, dos espumas y tapa plástica con 6 orificios.
Sistema de aceleración: Por palanca
Sistema de lubricación: Por salpique
Capacidad del cárter: 0,7 litros
Tipo de aceite: SAE 30 ó 40
Sistema de enfriamiento: Por aire
Sistema de parada: Por medio del interruptor o cerrando la llave de paso de gasolina.
Bomba de presión
Marca: Arimitsu
Modelo: US – 26 B
Material de construcción carcasa: Aluminio endurecido
Capacidad del del deposito de aceite: 0,5 litros
Tipo de aceite: SAE 30 ó 40
Cigüeñal: En acero inoxidable
Número de levas: Tres (3)
Rodamientos: Dos de balines
Poleas: Dos, una en el motor y otra en la bomba
Tipo: De doble banda
Correas: Dos en "V", referencia Bando A- 39
Pistones: Tres (3), en acero inoxidable
Cilindro de la bomba: En bronce
Empaques del pistón: Tres por cada uno, en NBR y NBR Tex
Válvulas de presión: Tres en bronce y acero inoxidable
Múltiple de succión: En bronce
Múltiple de descarga: En bronce
Cámara de presión: En acero inoxidable
Regulador de presión: Cuerpo y palanca en latón, tornillo de ajuste de presión metálico y ensamblado en plástico
Posiciones de la palanca: A la derecha y/o izquierda
Manómetro: Tipo Bourdon, con escala de 0-50 kg/cm^2
Presión de trabajo: Entre 5 y 20 kg/cm^2
Llave de paso: Dos, en latón y de esfera
Manguera de salida: En polipropileno, de ¼' de Ø interno y 200 m de longitud
Lanza: En latón cromado, de 80 cm. de longitud

Boquilla: Dos de disco, ensamblados en un portaboquilla de latón cromado
Referencia de los discos: D – 35 y/o D – 6
Mangueras de succión: En caucho, de 3 m de longitud y 19 mm Ø interno
Canastilla con filtro de 40 mallas en acero inoxidable
Mangueras de retorno: En caucho, de 3 m de longitud y 13 mm de Ø interno
País de origen: Japón

CAPÍTULO 13
Control etológico en el manejo de plagas

Luis Miguel Constantino Chuaire y Pablo Benavides Machado

Los insectos y, en general, los artrópodos y vertebrados, reaccionan ante estímulos de diversa naturaleza, siendo los químicos de gran importancia. El comportamiento está determinado por la respuesta de los insectos a la presencia u ocurrencia de estímulos que son predominantemente de naturaleza química como las feromonas, aunque también hay estímulos físicos y mecánicos. En este caso, el control etológico se refiere al uso de sustancias químicas, naturales o sintéticas, para repeler o atraer plagas a un determinado sitio, para eliminarlos, modificar su actividad sexual o alterar su orientación. Los mensajes que se envían y reciben pueden ser de tipo sexual, de alarma, de agregación y de orientación, entre otros (Coppel y Mertins, 1977; Dent 1991; Cisneros, 1995).

En la práctica, los usos del control etológico incluyen varios métodos de interferencia o supresión de plagas, mediante la utilización de feromonas o atrayentes en trampas y cebos, repelentes, inhibidores de alimentación y diversas sustancias que tienen efectos similares.

Uso de feromonas

Las feromonas son compuestos químicos complejos, básicamente hidrocarbonos de cadenas largas, como: alcoholes, ésteres, ketonas y aldehidos. Muchos de estos compuestos han sido exitosamente identificados y sintetizados, los cuales están disponibles en el mercado para su uso en programas de monitoreo de plagas y como alternativa de control (Hill, 1983; Silverstein, 1981). Las feromonas son secreciones odoríficas provenientes de diferentes tipos de glándulas de los insectos, localizadas en diferentes partes del cuerpo, las cuales son secretadas por un individuo y percibidas por otro de la misma especie. Los productos de las secreciones son transportados a grandes distancias mediante corrientes de aire, y ocasionan una función específica de comunicación entre individuos de una misma especie. La complejidad de estos sistemas se observa en aquellos insectos sociales como las abejas, avispas, hormigas y termitas, en donde la comunicación entre los miembros de la colonia ocurre esencialmente con el uso de feromonas (Cisneros, 1995).

Las feromonas de clasifican según el comportamiento que producen. De esta manera se denominan sexuales cuando atraen individuos del sexo opuesto, de agregación cuando producen concentraciones de insectos en determinadas áreas. Igualmente, existen feromonas que señalan el camino que deben seguir otros individuos o para provocar alarma y dispersión entre la población (Hill, 1983; Silverstein, 1981).

Feromonas sexuales

La mayoría de feromonas sexuales identificadas, aisladas y sintetizadas son de Lepidoptera nocturnos, de algunos Coleoptera y en menor proporción de Diptera. Muchas de las feromonas sexuales son difíciles de sintetizar y costosas de producir, y esto ha conllevado al desarrollo de feromonas mímicas (compuestos análogos) o atrayentes (Cisneros, 1995). Las feromonas sexuales son emitidas por las hembras vírgenes receptivas, mediante secreciones odoríficas de llamada, para anunciar al macho receptor de su proximidad. Una vez los dos sexos están cerca ocurre el evento del cortejo, en el cual el macho mediante la presencia

de androconias odoríficas estimula a la hembra a aparearse y a reconocer al macho de su especie. La mayoría de mariposas nocturnas de las familias Saturnidae, Geometridae, Noctuidae y Arctiidae son bien conocidas por la emisión de feromonas que emiten las hembras y que logran atraer a los machos, a una distancia hasta de 5 km (Birch y Haynes, 1982; Hill, 1983). Existen dos modalidades de uso de feromonas sexuales que han logrado ser sintetizadas y comercializadas, como agentes atrayentes en trampas y cebos, o para producir confusión de machos, mediante la inundación o saturación de grandes áreas con el olor de las feromonas sexuales. El exceso de feromonas en el medio ambiente evita que los machos detecten la feromona secretada por las hembras y, consecuentemente, pierden la capacidad de encontrarla y aparearse. Ejemplos exitosos incluyen el control del gusano rosado de la India *Pectinophora gossypiella* Saunders (Lepidoptera: Gelechiidae) en algodón (Campion *et. al*., 1987) y el control de la polilla de la papa *Tecia solanivora* (Lepidoptera: Gelechiidae) en almacenamiento (Raman, 1988).

Feromonas de agregación

Las feromonas de agregación estimulan a las especies a congregarse alrededor de las fuentes y recursos alimenticios, sitios de oviposición, de refugio, de colonización y de agregación de enjambres. Algunas brocas de la corteza (Scolytinae) usan feromonas de agregación para atraer otros individuos de la misma especie a árboles adecuados para colonizar. Estas feromonas son liberadas del intestino medio, a través de los excrementos que libera la hembra fundadora una vez realiza el orificio de entrada, los cuales mezclados con varios compuestos de terpenos liberados de las heridas en la corteza del árbol hospedero atraen gran número de hembras fundadoras. Este ataque masivo es esencial para la reproducción de estos insectos, para romper las defensas del árbol que responde produciendo resinas tóxicas para disuadir a los insectos invasores. Cuando el ataque de barrenado y alimentación se da de manera simultánea en el floema, se corta el flujo de savia, lo cual mata rápidamente al árbol (Wood, 1982). Este tipo de agregación también se observa en el escarabajo japonés, *Popillia japonica* Newman (Coleoptera: Melolonthidae) y en el picudo del algodonero, *Anthonomus grandis* Boheman (Coleoptera: Curculionidae). Las capturas del picudo rayado del plátano, *Metamasius hemipterus sericeus* (Oliver) y el picudo negro de la palma africana, *Rhynchophorus palmarum* L. (Coleoptera: Curculionidae), empleando la feromona de agregación "Combolure" es un método efectivo para reducir las poblaciones de estas plagas (Hill, 1983).

Las castas de obreras de la mayoría de hormigas forrajeras dejan caminos marcados con feromonas desde el nido, para que el resto ubiquen los sitios de forrajeo. Algunas especies de hormigas arrieras o cortadoras de hojas del género *Atta* spp., dejan caminos marcados con feromonas hasta 100 metros de distancia del nido, los cuales perduran hasta un mes; igual sucede con las termitas (Birch y Haynes, 1982).

Feromonas de dispersión

A diferencia de las feromonas de agregación, las de dispersión producen el efecto opuesto. Por ejemplo, los machos de algunas especies de escarabajos de la corteza producen feromonas después de aparearse, para repeler a otros machos que intenten aparearse, y las hembras apareadas producen feromonas de repelencia cuando no desean copular con otro macho diferente. Las moscas de la fruta de los géneros *Anastrepha* y *Ceratitis,* dejan marcados con feromonas los frutos que ovipositan, con el fin de evitar que otras hembras colonicen el mismo fruto. Los parasitoides de huevos de Lepidoptera de los géneros *Trichogramma* y *Telenomus*, una vez parasitan los huevos, los marcan con feromonas para que otras avispitas no parasiten esos huevos, y así evitar que exista competencia intraespecífica (Hagen y Bishop, 1979; Birch y Haynes, 1982).

Atrayentes sexuales

Los atrayentes relacionados con la atracción sexual de los insectos son muy poderosos; pueden ser las mismas feromonas sexuales, naturales o sintéticas, o sustancias análogas (mímicas). En el laboratorio se han logrado reacciones positivas con concentraciones del orden de una millonésima de gramo de feromona por litro de aire (Shorey y Gaston, 1964). Debido a este gran poder de atracción es posible detectar con estas sustancias poblaciones muy bajas de insectos. En cierta forma, una limitación en la aplicación de los atrayentes sexuales es que no se logra atraer a las hembras, que son los individuos que depositan los huevos y contribuiría más rápidamente al control de la plaga. Las feromonas sexuales de muchas especies de insectos han sido aisladas e identificadas químicamente.

Hasta mediados de la década de los setenta, sólo se habían aislado feromonas de unas 50 especies de Lepidoptera (Tamaki, 1977). Desde entonces, el número de compuestos se ha incrementado sustancialmente y muchos de ellos se han sintetizado con fines comerciales. Varias compañías se han especializado en la producción de las sustancias activas y de sus formulaciones para usos específicos, como muestreos, capturas masivas, desorientación de apareamientos y supresión de poblaciones. Así, con el nombre comercial de *Hercon Luretape* se vende una serie de productos que atraen a la mosca mediterránea, mosca del melón, polilla de la manzana, picudo grande del algodonero, gusano rosado del algodonero, escarabajo japonés, gusano medidor de la col, polilla oriental de la fruta, gusano medidor de la soya, gusano cogollero del maíz, gusano mazorquero del maíz, bicho del cesto, gusano cortador negro, polilla gitana, enrollador omnívoro de la hoja, cucarachas, escarabajo perforador del durazno, gusano del brote del tabaco, y otras especies (Silverstein, 1981; Cisneros, 1995).

De la misma manera con los nombres de *Isomate*, *Rimilure* y *Pherocon* se ofrecen diversos atrayentes comerciales para plagas agrícolas, y con el nombre de *Storgard* se ofrecen atrayentes para insectos de productos almacenados. Algunos ejemplos de atrayentes sexuales que se consiguen en el mercado para el monitoreo y control de plagas son: *Medlure*, *Trimedlure* y *Siglure* para la mosca del Mediterráneo, *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae); Metil eugenol para la mosca oriental de la fruta, *Dacus dorsalis* Hendel (Diptera: Tephritidae); *Cue-lure* para la mosca del melón, *Dacus cucurbitae* Coquillet (Diptera: Tephritidae); *Gyplure* para la polilla gitana, *Lymantria dispar* L. (Lepidoptera: Lymantriidae); *Grandlure* para el picudo del algodonero, *Anthonomus grandis*; *Gossyplure* y *Hexalure* para el gusano rosado, *Pectinophora gossypiella*; Z-9-DDA para el cogollero del maíz, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), entre otros (Silverstein, 1981; Cisneros, 1995).

Atrayentes de alimentación

Los principales compuestos atrayentes de alimentación son producidos basados en extractos de plantas, frutas maduras, proteínas animales y fermentos de frutas en descomposición. Estas sustancias durante el proceso de fermentación y descomposición producen aminas, sulfuros, amonio y ácidos grasos que atraen a los insectos. Un ejemplo de un atrayente de alimentación es la proteína hidrolizada, usada comúnmente como atrayente para las moscas de la fruta (Boscan, 1993; Portilla *et al.*, 1994; Nuñez *et al*., 2004), entre las que se encuentran la mosca del mediterráneo, *C. capitata*, y las del género *Anastrepha*, que constituyen uno de los insectos más dañinos en los frutales. La proteína hidrolizada es usada en trampas, colocadas a una distancia adecuada entre ellas, y son muy útiles para la detección temprana de estos insectos y para la determinación de las épocas de incidencia. Igualmente, ayuda a disminuir las poblaciones de adultos en los huertos, con un trampeo suficiente y sostenido en el tiempo.

Uso de aleloquímicos

Los aleloquímicos son moléculas químicas producidas por la planta, las cuales provocan una acción determinada en ciertos sistemas biológicos. Por ejemplo, las plantas producen diferentes compuestos a través de los cuales interactúan con el entorno, actuando en la atracción de agentes polinizadores o en términos defensivos, ya sean patógenos o plagas de insectos. Entre las defensas vegetales directas, inducidas por los herbívoros, está la producción de metabolitos secundarios tóxicos o repelentes, y de moléculas volátiles como las alomonas, kairomonas y sinomonas. Las plantas responden al daño producido por los insectos liberando estos volátiles, que sirven para atraer depredadores y parasitoides que atacan y destruyen a los herbívoros. En este sentido, las kairomonas son los semioquímicos que más atención han tenido en recientes estudios, en relación con programas de manejo integrado de plagas, principalmente en la síntesis y uso de kairomonas dispuestas como atrayentes en cultivos para atraer enemigos naturales específicos a ciertas plagas, para incrementar de esta forma el control biológico natural (Eisner y Meinwald, 1995; Blanco-Metzler, 1996).

Volátiles de plantas

Muchos insectos perciben los volátiles que se liberan de las hojas de plantas y en el proceso de maduración de frutos. Estos volátiles químicos odoríficos se transportan en la atmósfera y los insectos fitófagos reaccionan

a esos estímulos químicos cuando están buscando sus plantas hospedantes. Este fenómeno se evidencia específicamente con las especies de hábitos monófagos. En el caso de las especies oligófagas, se cree que no presentan respuesta de estímulo olfativo específico o que reaccionan a compuestos químicos generales emitidos por las plantas (Hill, 1983). Los quimoreceptores del olfato están ubicados en la antena, pero en algunos Diptera y Lepidoptera diurnos estos quimoreceptores de palatabilidad están ubicados en los tarsos de las patas, los cuales usan para palpar el follaje y reconocer la planta durante la búsqueda del hospedero, para ovipositar. Sin embargo, algunas plantas, a través de intrincados procesos coevolutivos, han desarrollado repelentes químicos como estrategia para evitar el ataque de insectos fitófagos, como el caso de varios alcaloides, taninos, toxinas y otros metabolitos secundarios presentes en algunas familias de plantas. Por ejemplo, en el caso de las mariposas del género *Heliconius* que se alimentan exclusivamente de plantas de la familia Passifloraceae, como la granadilla y el maracuyá, que presentan altos contenidos de glucósidos cianogénicos, las larvas han logrado desarrollar mecanismos bioquímicos de detoxificación de estos compuestos para poderlos asimilar e incorporarlos en sus tejidos.

Otras aplicaciones del control etológico incluyen la utilización de atrayentes en trampas y cebos, en repelentes, inhibidores de alimentación y sustancias diversas que tienen efectos similares. Ejemplos de esto son la captura del picudo rayado del plátano, *M. hemipterus*, y del picudo negro del cocotero, *R. palmarum*, los cuales son atraídos a los fermentos acetilos y exudados que se producen en las heridas en la corteza de las palmas y de las musáceas, por lo tanto, una de las formas de prevención es evitar el daño mecánico en los tallos, mediante el uso de cebos atrayentes elaborados con piña fermentada y bagazo de caña de azúcar impregnada de melaza, o el uso de discos de plátano cortado, impregnados con miel de purga (Agudelo *et al*., 1999; Pardo *et al*., 2005).

Trampas contra insectos

Las trampas son dispositivos que atraen a los insectos para capturarlos o destruirlos. Comúnmente se utilizan para detectar la presencia de los insectos o para determinar su ocurrencia estacional y su abundancia, con el fin de orientar otras formas de control. Ocasionalmente, las trampas pueden utilizarse como método directo de destrucción de insectos. El uso de trampas tiene las ventajas de no dejar residuos tóxicos, de operar continuamente, de no ser afectadas por las condiciones agronómicas del cultivo y, en muchos casos, de tener un bajo costo de operación. Una limitación en el uso de las trampas es que no se conocen agentes atrayentes para muchas plagas importantes. Las trampas consisten básicamente en una fuente de atracción, que puede ser un atrayente químico o físico (la luz), y un mecanismo que captura a los insectos atraídos. Los atrayentes químicos son sustancias que hacen que el insecto oriente su desplazamiento hacia la fuente emisora. Hay dos tipos de atrayentes químicos, los relacionados con olores de alimentos y los relacionados con olores de atracción sexual entre los insectos, como se indica en la sección de feromonas. De acuerdo con el tipo de atrayente, sea físico o químico, las trampas se pueden dividir para insectos en varios tipos (Hill, 1983; Cisneros, 1995):

Trampas de luz

Durante la noche muchos insectos son atraídos hacia las fuentes luminosas y a las lámparas de luz. La región del espectro electromagnético atrayente a los insectos está en las longitudes de onda de 300 a 700 milimicrones, que corresponde a la luz natural y a las radiaciones ultra-violeta o "luz negra", esta última es más atrayente para la mayoría de los insectos. La efectividad de la fuente de luz depende: (a) del rango de la radiación electromagnética o longitud de onda, (b) de la magnitud de la radiación, (c) de la intensidad y (d) del tamaño y la forma de la fuente de luz (Glick y Perry, 1961; Cisneros, 1995). La fuente de luz puede ser un foco común de filamento de tungsteno, una lámpara de mercurio, un tubo fluorescente de luz blanca o un tubo de luz ultravioleta. De las numerosas especies de insectos que son atraídos por la luz, la mayoría son Lepidoptera nocturnos de las familias Noctuidae, Saturnidae, Arctiidae y Geometridae, y en menor grado Coleoptera de diversas familias y otros ordenes de insectos (Hill, 1983).

Trampas de detección para monitoreo o seguimiento

Sirven para determinar las fechas de vuelo, detección temprana de una especie en una zona geográfica, inicio de la infestación estacional de una plaga, dinámica poblacional y desaparición al final de la estación.

Esta información permite orientar la conveniencia y oportunidad de las aplicaciones de insecticidas u otros métodos de control. También sirven para verificar el éxito de las medidas de erradicación que puedan haberse emprendido en un cultivo en una región específica. En el caso de las trampas con luz, la fuente luminosa se acondiciona con alerones o superficies de impacto, un embudo y un recipiente para la recolección de los insectos, a este recipiente se le adiciona alcohol del 70% o agua jabonosa para evitar que los insectos escapen. En las trampas con alcohol los insectos se conservan en buen estado para facilitar su identificación taxonómica. Si solo se trata de controlar y destruirlos, los recipientes con agua jabonosa o petróleo resultan útiles. Las trampas de luz deben estar ubicadas en sitios estratégicos en medio del cultivo, para que atraiga los insectos desde cualquier punto del cultivo, y deben estar acondicionadas con una batería o planta eléctrica portátil que permita mantener las lámparas prendidas durante la noche (Glick y Perry, 1961; Hill, 1983).

Trampas con atrayentes químicos

Estas trampas se ceban con atrayentes químicos o feromonas sexuales. Las primeras son generalistas y atraen varias especies de insectos a pequeñas distancias, mientras que las de feromonas sexuales son más específicas y tienen la ventaja de atraer los insectos desde grandes distancias. Existen varios tipos de trampas con atrayentes químicos, hechas en cartón plastificado, en forma de triángulo, cebadas en su interior con un trozo de algodón humedecido con 2,5 cc del atrayente, cada 15 días, e impregnadas en las paredes interiores con un pegante para atrapar los insectos. Por ejemplo, las trampas pegantes cebadas con *Trimedlure* son efectivas para capturar adultos de la mosca del mediterráneo *C. capitata.* Las trampas tipo McPhail son útiles para capturar moscas de la fruta, de los géneros *Anastrepha* y *Ceratitis*. Éstas vienen en forma de botella, con un embudo invertido de abajo hacia arriba, que permite que las moscas entren pero no puedan salir, en su interior se ceban con proteína hidrolizada. Para una trampa McPhail, la proteína hidrolizada (10 cc) se mezcla con 20 g de bórax como preservante en un litro de agua y se adiciona la cantidad apropiada a cada trampa (Portilla *et al.,* 1994; Nuñez *et al*., 2004).

Trampas pegajosas de colores

Las trampas de colores vienen en cartones plastificados de forma cuadrada o rectangular, e impregnadas con una sustancia pegajosa, que puede ser un pegamento comercial especial, de larga duración, como el *Sticky Trap*, *Tanglefoot*, *Stickem* o simplemente aceite quemado de motor, grasa o aceite vegetal o mineral. Estas trampas pueden ser móviles y colgarse de las ramas de los árboles, o pueden estar fijas en estacas de madera (Bishop *et al*., 1979). Muchos insectos son atraídos a diversos colores, y son los colores amarillos más efectivos para atraer moscas blancas, moscas minadoras de hojas, saltahojas, cicadélidos y pulgones, mientras que el blanco atrae trips y los colores rojos atraen cucarroncitos del follaje e insectos del orden Coleoptera (Smith y Bosch, 1967).

Cebos tóxicos

En los cebos tóxicos se mezclan sustancias atrayentes con un insecticida de contacto. Está orientada a controlar una especie específica, usando un atrayente sexual selectivo, el cual atrae los machos de la especie a controlar. Estos cebos se pueden impregnar en trozos de sustratos móviles como fibras o esponjas, o adicionarlos en botellas plásticas con un orificio de entrada, dispuestos en el cultivo o sitio donde se quiere hacer el control (Smith y Bosch, 1967).

Trampas para el manejo de la broca del café

Las hembras de la broca buscan colonizar nuevos frutos una vez emergen de los frutos infestados; este comportamiento parece ser generado por la atracción que generan sustancias volátiles emitidas por las cerezas de café en su proceso de maduración (Gutiérrez *et al*., 1995; Ortiz *et al.,* 2004; Mathieu *et al.,* 1997). Varias investigaciones han concluido que la mezcla de metanol y etanol en proporción 3 a 1 ejerce una fuerte atracción a la broca (Mendoza, 1991; Herrera, 1997; Cardona, 2007). Esta mezcla liberada a una tasa diaria de 60 a 120 mg por día, es eficaz en la captura de la broca (Mendoza, 1991).

Actualmente se han diseñado trampas para la captura de adultos de broca utilizando estos alcoholes (Cárdenas, 2000). Estos dispositivos, a pesar de haber sido recomendados para monitoreo de poblaciones

en el campo, se vienen usando como estrategia de control de poblaciones de adultos que emergen de frutos del suelo y del árbol (Bustillo y Jiménez, 2003; Posada *et al*., 2003; CRI, 2002; Dufour *et al*., 2007; Alejo, 2007). Estas trampas han sido evaluadas en varios países durante los últimos años, y existe consenso acerca del atrayente que debe ser usado y el dispositivo adecuado para ser utilizado en el campo (Herrera, 1997; Gonzáles y Dufour, 2000; Dufour 2002; Dufour *et al.,* 2004; Bustillo, 2004; Borbón *et al*., 2000; Bustillo y Jiménez, 2003; Posada *et al*., 2003).

Las trampas están construidas con recipientes plásticos en series de tres unidades, y en su parte superior están cubiertas por un plato, los dos vasos superiores no tienen fondo, para que actúen a manera de embudo, y el vaso inferior funciona como depósito de agua con jabón, que rompe la tensión superficial del agua e impide que la broca vuelva a salir (Bustillo y Jiménez, 2003). Este diseño ha demostrado ser la mejor trampa para la captura de adultos de broca (Dufour, 2002). Igualmente, este dispositivo está siendo elaborado por agricultores de manera artesanal y los resultados de campo han demostrando ser similares a los obtenidos con las trampas comerciales. El difusor para el atrayente es fabricado con plástico calibre 3 y la mezcla de metanol:etanol, en proporción 3 a 1, se elabora a partir de alcoholes industriales.

Ensayos de campo realizados en El Salvador han reportado disminuciones de la infestación de la broca en el campo con el uso masivo de trampas, que oscilan entre 12 y 87% (Dufour *et al.*, 1999; Dufour, 2002). En la actualidad existe gran interés por parte de caficultores colombianos en usar estos dispositivos para el monitoreo y control de las poblaciones de broca que emergen de frutos infestados del suelo.

Resultados obtenidos con el uso de la trampas en Colombia permiten concluir que la atracción ejercida por los alcoholes promueve la formación de áreas de agregación de broca (Cenicafé, 2007), que las capturas máximas de adultos no sobrepasa el 10% de las brocas que vuelan en un radio no mayor a 5 m (Acevedo, 2006), y que a mayor porcentaje de broca en el campo mayores son las capturas en las trampas (Cardona, 2007). Estos resultados permiten recomendar estos dispositivos sólo para el monitoreo de poblaciones en cafetales en Colombia, donde la distribución de la cosecha no es concentrada. En Centro América se recomiendan para su control, debido a que la cosecha es unimodal y a que se producen vuelos de broca masivos entre los meses de abril y mayo, época en la cual las trampas pueden capturar altas poblaciones, reduciendo así sus poblaciones en cantidades importantes (Dufour, 2002; Borbón *et al*., 2000).

Igualmente, estas trampas pueden ser de utilidad para controlar la dispersión de la broca durante la recolección y el beneficio del café cereza, así como durante la renovación de cafetales infestados. Últimos hallazgos muestran que estas trampas ubicadas en los cafetales a una altura de 0,40 m, capturan el doble de los adultos, que dispositivos a 1,50 m (Cenicafé, 2007); por lo tanto, para evitar la dispersión de la broca proveniente de frutos del suelo posterior a una cosecha, se podría recomendar localizarlas a 0,40 m del suelo.

Literatura citada

ACEVEDO, F. E. 2006. Evaluación de marcadores físicos y moleculares para el estudio de la dispersión de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari). Tesis Ingeniero Agrónomo, Universidad de Caldas. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Manizales, Colombia, 67 p.

AGUDELO, R. A.; HENAO, J. F.; CONSTANTINO, L. M.; PARDO, L. C. 1999. Alternativas para el manejo integrado de plagas en chontaduro *Bactris gassipaes* H.B.K. en el litoral Pacífico vallecaucano. PRONATTA. Editorial Feriva S.A., Cali, Colombia, 42 p.

ALEJO D., L. A. 2007. Control de la broca del café en San Luís, Potosí, México: situación actual, problemática y soluciones. *In:* La broca del café en América Tropical: hallazgos y enfoques. ECOSUR, Tapachula (México), p. 83-88.

BIRCH, M. C.; HAYNES K. F. 1982. Insect pheromones. Edward Arnold Publishers. London. 60 p.

BISHOP, G. W.; DAVIS, D. W.; WATSON, T. F. 1979. Cultural practices in Pest Management p: 61-71. *In:* Biological Control and Insect Pest Management. Bulletin 1911. Agricultural Experimental Station. University of California. 102 p.

BLANCO- METZLER, H. 1996. Los semioquímicos y su papel en el manejo integrado de plagas. Memorias X Congreso Nacional Agronómico. San José, Costa Rica, p. 93-95.

BORBÓN, O.; MORA, O.; OEHLSCHLAGER, A. C.; GONZÁLEZ, L. M. 2000. Proyecto de trampas, atrayentes y repelentes para el control de la broca del fruto de cafeto, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). *In:* Memorias XIX Simposio latinoamericano de caficultora, San José, Costa Rica. ICAFE-PROMECAFE, p. 331-348.

BOSCAN, N. M. 1993. Manejo integrado de las moscas de las frutas. II Métodos de control. FONAIAP-CENIAP, No. 41. Instituto de Investigaciones Agronómicas, Maracay, 64 p.

BUSTILLO, A. E. 2004. 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.; JIMÉNEZ, M. 2003. Captura de adultos de broca del café en trampas con atrayentes. Brocarta No. 36, Cenicafé, Chinchiná, Colombia, 2 p.

CAMPION, D. G.; HALL, D. R.; PREVETT, P. P. 1987. Use of pheromones in crop and stores products pest management: Control and Monitoring. Insect Sci. Applic., 8: 737-741.

CÁRDENAS, R. 2000. Trampas y atrayentes para monitoreo de poblaciones de broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Col., Scolytidae). *In:* Memorias del XIX Simposio Latinoamericano de Caficultura. San José (Costa Rica): ICAFE-PROMECAFE, p. 369 - 379.

CARDONA, G. E. 2007. Trampas con atrayentes para la reducción de niveles de infestación de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari). Universidad de Caldas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Tesis Ingeniero Agrónomo, Manizales (Colombia), 50 p.

CENICAFÉ. Centro Nacional de Investigaciones de café. 2007. Resumen del informe anual de actividades. Chinchiná, Colombia,137 – 153.

CISNEROS, F. 1995. Control de plagas. Segunda edición. The Hofshi Foundation, Lima, Perú, 313 p.

COPPEL, H.; MERTINS, J. W. 1977. Biological insect pest suppression. Springer Verlag, New York, 314 p.

CRI. Central Coffee Research Institute. 2002. Integrated management of coffee berry borer; final report - India. CFC/ICO/02. Egham (England), CABI Commodities-CFC-ICO, 85 p.

DENT, D. 1991. Insect pest management. C.A.B. International, Oxon, U.K., 604 p.

DUFOUR, B. 2002. Validación de la trampa Brocap para el control de la broca del café. Boletín Promecafé (Guatemala) No. 93:14 - 20.

DUFOUR, B. P.; FRANCO, F.; HERNÁNDEZ, A. 2007. Evaluación del trampeo en el marco del manejo integrado de la broca del café. *In*: La broca del café en América Tropical: hallazgos y enfoques. Tapachula (México), ECOSUR, p. 89 - 99.

DUFOUR, B. P.; GONZÁLEZ, M. O.; MAURICIO, J. J.; CHAVEZ, B. A.; RAMÍREZ, R. 2004. Validation of coffee berry borer (CBB) trapping with the Brocap trap. *In:* Colloque Scientifique International sur le Café, 20. Bangalore (India), October, 11-15, 2004. París (Francia), ASIC, p. 1243 - 1247.

DUFOUR, B.; GONZÁLEZ, C, M. O.; FREROT, B. 1999. Piégeage de masse du scolyte du café *Hypothenemus hampei* (Ferr.) (Col. Scolytidae) en conditions réelles: premiers résultats. *In:* XVIII Colloque Scientifique International Sur Le Café. Helsinki, Finlandia, p. 480 - 491.

EISNER, T.; MEINWALD, J. 1995. Chemical Ecology. The chemistry of biotic interaction. Nat. Acad. Sci. Press, Washington D. C., 214 p.

GLICK, A.; PERRY, A. 1961. Light traps for detection. *In:* Response of insects to induced light. U.S.D.A, ARS, 20 (10): 30 - 42.

GONZÁLEZ, M. O.; DUFOUR, B. 2000. Diseño, desarrollo y evaluación del trampeo en el manejo integrado de la broca del café *Hypothenemus hampei (*Ferrari) en el Salvador. *In:* Memorias del XIX Simposio Latinoamericano de Caficultura. San José (Costa Rica): ICAFE-PROMECAFE, p. 381 - 396.

GUTIÉRREZ, M., A.; HERNÁNDEZ, R., S.; VIRGEN, S. A. 1995. Efectos de los diferentes extractos de café robusta *Coffea canephora* Pierre ex Froeschner sobre la captura de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae). *In:* Memorias del XVI Simposio Sobre Caficultura Latinoamericana. Tegucigalpa, Honduras: CONCAFE-IICA, 7 p.

HAGEN, K. S.; BISHOP, G. W. 1979. Use of supplemental foods and behavioral chemicals to increase the effectiveness of natural enemies. *In:* Biological control and insect pest management. Bulletin 1911. Agricultural Experiment Station. University of California, p. 49 - 60.

HERRERA, H. A. 1997. Búsqueda de sustancias atrayentes para la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari). Tesis Ingeniero Agrónomo, Universidad de Caldas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Manizales, Colombia. 57 p.

HILL, D. 1983. Agricultural insect pests of the tropics and their control. Second Edition, Cambridge University Press, p 17 - 50.

MATHIEU, F.; BRUN, L. O.; MARCHILLAUD, C.; FREROT, B. 1997. Trapping of the coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Ferr.) (Col., Scolytidae) within a mesh enclosed environment: interaction on olfactory and visual stimuli. Journal of Applied Entomology, 121: 181 - 186.

MENDOZA, J. R. 1991. Resposta da broca do café *Hypothenemus hampei* a estímulos visuais e semioquímicos. Teses Magister Scientiae, Universidade Federal de Viçosa, Brazil, 44 p.

NUÑEZ, L., GÓMEZ, R.; GUARÍN, G.; LEÓN, G. 2004. Moscas de las frutas (Diptera: Tephritidae) y parasitoides asociados con *Psidium guajava* L. y *Coffea arabica* (L.). en tres municipios de la provincia de Vélez, (Santander, Colombia). Revista Corpoica (Colombia), 5 (1): 1 - 8.

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.

PARDO, L. C.; CONSTANTINO, L. M.; AGUDELO, R.; ALARCÓN, A.; CAICEDO, B. 2005. Observaciones sobre el gualapán *Alurnus humeralis* (Coleoptera: Chrysomelidae: Hispinae) y otras limitantes entomológicas en cultivos de chontaduro en el Bajo Anchicayá. Acta Agronómica, 54 (2): 1 - 10.

PORTILLA, M.; GONZÁLEZ, G.; NÚÑEZ, L. 1994. Infestación, reconocimiento, identificación de moscas de las frutas y sus enemigos naturales en café. Rev. Colombiana de Entomología, 20 (4): 261 – 269.

POSADA, F. J.; BUSTILLO, A. E.; JIMÉNEZ, M. 2003. Seguimiento y captura de brocas usando trampas en cafetales. Brocarta No. 35, Cenicafé, Chinchiná, Colombia, 2 p.

RAMAN, K. V. 1988. Control of potato tuber moth *Phthorimaea operculella* with sex pheromones in Peru. Agriculture, Ecosystems and Environment, 21: 85-89.

SHOREY, H. H. 1976. Animal communication by pheromones. Academic Press, New York, 167 p.

SILVERSTEIN, R. M. 1981. Pheromones: background and potential for use in insect control. Science, 213: 1326 - 1332.

SMITH, R. F.; BOSCH, R. V. D. 1967. Integrated control. *In*: Pest control-biological, physical and selected chemical methods. W.W. Kilgore; R. L. Doutt, eds. Academic Press, New York, p. 295 - 340.

TAMAKI, J. P. 1977. Complexity, diversity and specificity of behavior modifying chemicals in Lepidoptera and Diptera. *In:* Insect Behavior: Theory and Application. H. H. Shorey and John J. McKelvey, Jr. eds., John Wiley and Sons, NewYork, p. 253-286.

WOOD, D. L. 1982. The role of pheromones, kairomones and allomones in the host selection and colonization behavior of bark beetles. Ann. Rev. Entomol., 27: 411 - 446

CAPÍTULO 14

Control cultural en el manejo integrado de plagas

Pablo Benavides Machado y Luis Miguel Constantino Chuaire

El control cultural involucra la manipulación del ambiente para hacerlo menos favorable a las poblaciones de insectos plaga. Esto se obtiene mediante la implementación de diferentes prácticas agronómicas preventivas, por parte de los agricultores, y sirven para reducir la probabilidad de que los insectos colonicen y dañen el cultivo.

Las diferentes prácticas agronómicas como la rotación de cultivos, la destrucción de residuos de cosecha y huéspedes alternos de las plagas, el uso de cultivos trampa, la siembra intercalada, el uso de variedades adaptadas, la labranza, el volteo del suelo, la fertilización, las cosechas y siembras oportunas, generan condiciones que impiden la colonización de las plagas o retardan y reducen significativamente la infestación del cultivo, y se generan condiciones bióticas adversas que reducen las tasas de supervivencia de individuos o poblaciones de la plaga. El propósito es mantener los porcentajes de infestación de la plaga por debajo de los umbrales de daño económico del cultivo, mediante el uso de prácticas preventivas, y disminuir las probabilidades de resurgimiento de los insectos plaga (Kogan, 1986).

El conocimiento de las interacciones planta huésped y de la dinámica poblacional de los insectos plaga son fundamentales para poder adelantar estrategias de control cultural de manera oportuna, que le permitan a los agricultores predecir los períodos críticos de incidencia de la plaga y poder tomar decisiones acertadas del tipo de control a realizar.

A continuación se dan algunos ejemplos de prácticas de control cultural que impiden, retardan o reducen los niveles de infestación de las poblaciones de insectos plaga:

Rotación de cultivos

La rotación de cultivos consiste en un esquema de siembras alternadas o plantaciones susceptibles y no susceptibles a una determinada plaga. La consecuencia de la rotación de cultivos es que se recorta el ciclo de vida del insecto, especialmente para aquellos de hábitos monófagos, que presentan largos ciclos de vida en estado larval o pupal, y que presentan diapausa o estado de latencia en la etapa de pupa en el suelo. Este es el caso de varias especies de gusanos tierreros o trozadores de los géneros *Heliothis, Spodoptera, Agrotis* y *Alabama*, en cultivos de zonas templadas donde las condiciones climáticas inducen períodos prolongados de latencia o hibernación, cuando las condiciones de temperatura son desfavorables o bajas (Bishop *et al.,* 1979).

La rotación de cultivos permite que se aprovechen mejor los fertilizantes al ser estos aprovechados por más de un cultivo, esto conlleva a reducción en los costos de producción para el agricultor. Una de las consecuencias de cultivos continuos en un mismo sitio es que agota los minerales y los oligoelementos en el suelo rápidamente e induce el crecimiento gradual de plagas y enfermedades del suelo. Este efecto es más notorio en los cultivos anuales, como en el caso específico de plagas de las raíces, como los nematodos del

género *Meloidogine, Heterodera, Dytylenchus* y *Pratylenchus*, las chisas *Phyllophaga, Cyclocephala, Plectris* y *Anomala*, larvas de trozadores y cogolleros que empupan en el suelo como *Spodoptera* y *Heliothis*; y cochinillas o palomillas de la raíz de los géneros *Dysmicoccus* y *Rhyzoecus*, entre otros (Dent, 1991).

La rotación de cultivos es más efectiva contra plagas monófagas u oligófagas con huéspedes y dispersión limitada (Dent, 1991). En el caso de especies monófagas de ciclos largos, la rotación oportuna evita que las progenies de la segunda generación puedan recolonizar o infestar el cultivo de nuevo. Este es el caso para las chisas (Coleoptera: Melolonthidae) que pueden tardarse hasta un año en desarrollarse hasta adultos. La rotación de cultivos no es efectiva contra insectos migratorios o de gran capacidad de vuelo.

Si hay rotación, la nueva generación de un insecto plaga que haya permanecido en estado de diapausa en el estado pupal en la vecindad de un cultivo huésped, se encontrará con un cultivo no huésped en la próxima estación, que lo obligará a dispersarse a otro sitio o a morir por falta de alimento.

Labranza y arado del suelo

El arado y volteo del suelo antes de la siembra, afecta directamente las poblaciones de insectos plaga. Esta labor cambia y altera las condiciones microambientales del suelo como la humedad y temperatura, y las propiedades físicas y químicas por el movimiento de nutrientes, el cambio de textura y sitios de refugio, que afectan directamente la sobrevivencia de insectos plaga que viven en el suelo. Igualmente, se crean condiciones que exponen a los insectos plaga a la acción de agentes bióticos como parasitoides o depredadores, o abióticos como la radiación solar, temperatura y humedad, que ocasionan la muerte de los diferentes estados biológicos del insecto. Este tipo de labor es especialmente útil para controlar insectos nocturnos del orden Lepidoptera, particularmente de las familias Noctuidae, Geometridae y Sphingidae, al igual que individuos del orden Diptera, los cuales empupan en el suelo. De manera similar ocurre con las larvas de muchos insectos del orden Coleoptera (chisas) de hábitos rizófagos, que permanecen consumiendo raíces de las plantas y luego empupan en el suelo. Como estos insectos permanecen a una profundidad máxima de 20 cm, el arado profundo las desentierra y las deja expuestas en la superficie. Igualmente se puede producir un efecto de mortalidad por daño mecánico durante el proceso de arado, de acuerdo a las herramientas de labranza usadas; por ejemplo, en el caso de *Dectes texanus* LeConte (Coleoptera: Cerambycidae), una plaga del girasol, cuando se ara el suelo con disco mecanizado se produce una mortalidad del 73% de las larvas que permanecen en el suelo, comparado con un 39% de mortalidad cuando se usa rastrillo superficial (Hill, 1983).

La remoción y volteo del suelo igualmente destruye las raíces de muchas arvenses que sirven de alimento a plagas del suelo, como las chisas y los nematodos, que usan plantas hospederas alternas dentro del cultivo.

Remoción oportuna de residuos de cultivos

Incluye diversas prácticas agronómicas que contribuyen a reducir o eliminar los focos de plagas en un cultivo, como por ejemplo:

- Destrucción manual de partes vegetales infestadas, que pueden servir de fuente de plagas para las plantas sanas, dentro de un cultivo específico.

- Remoción de residuos vegetales, remanentes de cultivos, árboles y troncos secos o caídos, los cuales evitan que sirvan de fuente y reproducción de insectos plaga del cultivo. El picudo negro del cocotero, *Rhynchophorus palmarum* L. (Coleoptera: Curculionidae), ataca las palmas de aceite, generalmente a través de una herida previa que causa pudrición en el tronco. Los volátiles producidos durante el proceso de descomposición y fermentación atraen al insecto, el cual continúa reproduciéndose en los troncos de palmas secas o podridas; por lo tanto, la mejor manera de cortar el ciclo reproductivo del insecto es a través de la destrucción manual o corte de zocas. Igual acontece con el picudo rayado del plátano, *Metamasius hemipterus sericeus* (Olivier) (Coleoptera: Curculionidae), y el picudo del algodón,

Anthonomus grandis Boheman. En este sentido, la eliminación de residuos de cultivos en el campo puede ser clave para el manejo de plagas específicas, que no pueden sobrevivir en otras plantas, ya que sin alimentación, se bajan rápidamente las poblaciones.

- La recolección y destrucción oportuna de frutos caídos, secos o sobremaduros, es muy eficaz para el control de muchos insectos barrenadores y perforadores que se reproducen dentro del fruto, ya sea alimentándose de la pulpa o dentro del endospermo. Por ejemplo, las moscas de la fruta, *Anastrepha* spp., las cuales barrenan y se alimentan de la pulpa de gran cantidad de frutales y continúa reproduciéndose en los frutos caídos, en donde empupa e inicia un nuevo ciclo en frutos del árbol.

Destrucción de huéspedes alternos

Algunos insectos, especialmente áfidos, palomillas, saltahojas y cucarroncitos del follaje, se desarrollan y crecen en la periferia de cultivos susceptibles, sobre las arvenses. La remoción selectiva de estos huéspedes alternos, ayuda a retardar o prevenir la colonización del cultivo por parte de estos insectos (Bishop *et al.,* 1979).

El gusano viringo, *Agrotis ipsilon* (Hufnagel) (Lepidoptera: Noctuidae), es una plaga importante del cultivo del maíz, se alimenta y ataca un gran número de plantas, especialmente malezas o arvenses, pero cuando las ha consumido pasa a las plantas de maíz, causando pérdidas significativas. Se ha demostrado que la mejor táctica de manejo de esta plaga es usar herbicidas preemergentes, al menos 14 días antes de la siembra, para reducir al mínimo los sitios de oviposición y las fuentes de alimento para los primeros ínstares larvales *de A. ipsilon* (Engelken *et al.,* 1990).

En el cultivo de algodón, la destrucción de socas, inmediatamente después de finalizada la recolección de cada lote, y la destrucción de huéspedes alternos, como el algodón silvestre *Gossypium barbadense,* constituyen prácticas preventivas que permiten reducir los sustratos del picudo del algodonero.

El complejo de las chinches del algodonero, *Lygus* sp. (Hemiptera: Miridae), generalmente se alimenta de una gran variedad de plantas herbáceas, de la familia malvacea, presentes en la periferia del cultivo; allí se reproducen en grandes cantidades antes de colonizar el algodón. Si las chinches se controlan oportunamente, cuando se encuentran en estado de ninfas sobre estos huéspedes alternos, se reduciría significativamente la infestación en el cultivo del algodón, ya que en esta etapa de desarrollo las ninfas son ápteras e incapaces de dispersarse (Fedealgodón, 1990).

Solarización

El uso de plásticos transparentes en el campo, dispuestos a lo largo de las camas o surcos en plantaciones de algunos cultivos, como fresa, algunas hortalizas y flores, resulta muy útil para matar insectos, al igual que nematodos fitopatógenos, semillas de arvenses y patógenos. El calor producido por estos plásticos así como la intensidad de la radiación solar, la falta de aireación y las condiciones de humedad, controlan el crecimiento de las poblaciones de plagas del suelo (Pullman *et al.,* 1984; Chellemi *et al.,* 1997)

Diversificación de cultivos y mantenimiento de arvenses

Los ecosistemas naturales contienen diversidad de flora y fauna. Esta condición crea la oportunidad para las complejas interacciones entre los artrópodos y sus enemigos naturales, que tienden a producir estabilidad con las plagas, incluso por debajo del nivel de daño económico. Como consecuencia, los problemas de plagas en fincas y áreas agrícolas diversificadas tienden a ser menores que en sitios con monocultivos. Esta práctica tiene mayor aplicación en fincas de pequeños productores, y una estrategia, por consiguiente, es el intercalamiento de cultivos y el manejo racional de las arvenses que ayudan a dispersar las plagas y ayudan a resguardar los enemigos naturales, proporcionándoles fuentes de néctar, refugio y alimento en forma de presas de insectos o fuentes de polen y miel de exudados y nectarios vegetales (Altieri y Whitcomb, 1979).

Muchas especies de enemigos naturales que parasitan o depredan sobre las plagas del cultivo, requieren en estado adulto de fuentes de alimento en forma de polen, néctar o artrópodos inocuos, que no están presentes en hábitats de cultivos particulares. Estos requisitos de alimentos se pueden suministrar para sostener poblaciones de enemigos naturales, y favorecer o desarrollar de manera deliberada ciertos hábitats de vegetación silvestre cerca de las siembras de los cultivos. Un ejemplo son los parasitoides *Telenomus* spp. y *Trichogramma* spp., que atacan huevos de muchas especies plagas del orden Lepidoptera y que requieren en estado adulto de fuentes de néctar, miel, polen y refugio que les ofrecen las arvenses que crecen en medio del cultivo, garantizando de esta forma su establecimiento y permanencia, como no sucede en cultivos sin arvenses, con altas frecuencias de aplicaciones de herbicidas e insecticidas (Altieri y Whitcomb, 1979).

Una opción más conveniente para el manejo ecológico de las arvenses es el uso de leguminosas de cobertura como el fríjol de espada, *Cannavalia ensiformes*, terciopelo *Mucuna pruriens* y *Crotalaria* sp., entre otros, los cuales además fijan nitrógeno, conservan la humedad y controlan o repelen plagas con los exudados de la raíz (Aguiar y Das, 2001).

Cultivos trampa

El uso de cultivos trampa sembrados en la periferia del cultivo o entre los surcos ayuda a concentrar o repeler los insectos plaga. Estudios realizados en Panamá han determinado la eficiencia de la *Crotalaria juncea* intercalada con yuca como una alternativa para disminuir los daños causados a las raíces por la chinche de la viruela, *Cyrtomenus bergi* Froeschner (Hemiptera: Cydnidae) (Aguilar 2003). Numerosas especies de plantas poseen cualidades insecticidas, es decir, que pueden afectar el desarrollo de los insectos y otros organismos o también pueden actuar como repelentes. *Crotalaria juncea* es conocida por poseer cualidades insecticidas y nematicidas. Otro ejemplo es el caso de la higuerilla, *Ricinus comunis*, el ajonjolí, *Sesamum indicum*, la canavalia, *Canavalia ensiformis*, y la batata, *Ipomoea batata*, que son plantas tóxicas para el hongo simbionte *Attamyces bromatificus* que cultiva la hormiga arriera, *Atta cephalotes.* El cultivo de estas plantas resulta efectivo para disminuir las hormigas cuando éstas cortan las hojas y las introducen a los nidos, matando y contaminando el hongo que les sirve de alimento (Madrigal y Yepes, 1997).

En el cultivo del algodón, para el monitoreo y manejo del picudo del algodonero, *A. grandis,* se recomienda dejar islas de socas y trampas con feromonas tan pronto termine la cosecha, las cuales deben recibir aspersiones de insecticida a los ocho días de destruida la soca. La soca debe cortarse y quemarse a los cuatro días, para evitar la propagación y los refugios del picudo. Este tratamiento se refuerza con trampas con feromonas, que deberán renovarse cada siete días, por unos 30 días después de eliminadas las socas. Igualmente la siembra temprana de cultivos trampa y el uso de trampas con feromonas 30 a 60 días antes de la siembra comercial, en pequeñas áreas de algodón, de cuatro surcos y una longitud entre 40 y 400 metros, localizadas en la periferia del lote, sirven como medio de detección y control de las poblaciones iniciales de picudos. En el momento de la aparición de los botones florales en el cultivo comercial, se deben retirar las trampas con feromonas y eliminar el cultivo trampa (Falcon y Smith, 1974).

Momento oportuno de siembra y cosecha

La siembra oportuna de algunos cultivos y la cosecha temprana reducen la incidencia de muchas plagas ya que las plantas o frutas quedan menos tiempo expuestas a las plagas. Alteraciones en las fechas de siembra y de cosecha, frecuentemente pueden resultar en que las plantas escapen a la infestación de las plagas, si se tiene en cuenta la dinámica poblacional cíclica que presentan muchas especies de insectos plaga. Para esto es conveniente conocer las fechas de aparición de las plagas (fechas de vuelo y estacionalidad), que pueden ser monitoreadas con trampas atrayentes o de feromonas, para adelantarse y minimizar de esta forma la infestación en la etapa vulnerable de la siembra o cosecha del cultivo. Por lo tanto, el conocimiento de la fenología del cultivo y la dinámica poblacional de la plaga requieren acciones de control oportunas, simultáneamente con la siembra del cultivo y durante todo el período de floración (Romero, 2004).

En el cultivo de algodón en regiones donde hay presencia del picudo del algodonero, se debe dar cumplimiento a las fechas límites para la siembra. Estas se deben hacer en una zona en un período no mayor a 30 días,

además de muestreos quincenales en épocas en que esté ausente el cultivo y semanales durante el período de cultivo, por medio de trampas tipo "scout" o estacas cebadas con feromona sexual e impregnadas con una sustancia adherente, con el fin de disminuir su incidencia hacia finales del ciclo. En Colombia, el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) mediante resoluciones por ley, fija las fechas correspondientes a la siembra y cosecha del algodón en las diferentes regiones del país, con el fin de establecer acciones para la prevención, manejo y erradicación zonal o regional de plagas y poder ejercer control sobre el cultivo, y así evitar que las plagas, como el picudo, se mantengan durante todo el año[1]. De esta manera, cuando se siembra algodón en el Norte del país, no se siembra en las zonas del Centro y Sur, y viceversa.

Fertilización y crecimiento óptimo

Una planta saludable y vigorosa es menos vulnerable o puede tolerar mejor el ataque de insectos plaga, y el vigor de las plantas depende en gran medida de la fertilidad del suelo. Igualmente, condiciones climáticas adecuadas, con buena oferta de agua y temperatura, son factores que determinan el crecimiento óptimo de las plantas. Cuando alguno de estos factores no es adecuado, la planta sufre y debilita sus mecanismos de defensa, lo cual la hace más susceptible al ataque de las plagas (Hill, 1983).

Tratamiento de calor o frío

El tratamiento de calor o frío se aplica para los granos almacenados. Los sistemas de secado de granos almacenados en silo con aire natural a baja temperatura, o aire calentado hasta 7°C por encima de la temperatura ambiente, ayudan a evitar y controlar gran cantidad de plagas y hongos. Estos sistemas de secado deben contar con buenos sistemas de ventilación de aire, siendo de preferencia los sistemas con piso plano totalmente perforado.

El control cultural y la broca del café en Colombia

El control cultural es considerado el pilar fundamental del manejo integrado de la broca del café en Colombia (Bustillo *et al.,*1998). Varias investigaciones han demostrado su utilidad en el control de la broca, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae), las cuales comprenden la recolección oportuna de frutos maduros, para evitar la caída de éstos y cortar el ciclo biológico de la broca (Benavides *et al.,* 2002), la realización del "repase" o recolección de frutos maduros, sobremaduros y secos posterior a la cosecha (Benavides *et al.,* 2002; Baker, 1999), el uso de marquesinas para el secado solar del café de menor calidad, denominado "flotes y pasillas" (Vélez *et al.,* 2002), y la remoción de los frutos de café y el uso de árboles trampa durante la renovación de cafetales infestados (Castaño *et al.,* 2005).

Con el fin de determinar la participación de cada componente del manejo integrado de la broca del café, se realizó una investigación en donde cuatro tratamientos que contenían control cultural fueron comparados con dos tratamientos que consistieron en cosechar café de manera tradicional y utilizar el control químico como única estrategia de control de la broca en el campo (Benavides *et al.,* 2002). En esta investigación se evaluaron estrategias biológicas, químicas y culturales, para el control de este insecto. El control cultural se asumió como la recolección oportuna de cerezas de café maduras y la realización de dos repases en el año al finalizar la cosecha principal en el mes de noviembre, y al finalizar la cosecha de "mitaca" en el mes de junio, en la zona central cafetera colombiana. El control biológico consideró la aspersión de *Beauveria bassiana* y el control químico se realizó con aplicaciones de insecticidas de categoría III como pirimifos-metil, clorpirifos y fenitrotion, en el momento en que la infestación en el campo fue superior al 2% y en que más del 50% de los adultos de broca estaban en posición de entrada en los frutos (Bustillo *et al.,* 1998). Estos tres componentes y algunas combinaciones de éstos, se evaluaron en cinco fincas cafeteras (bloques), del municipio de Pereira, bajo un diseño de bloques completos aleatorios. En cada finca se tuvo como unidad

[1] Instituto Colombiano Agropecuario, ICA. 2002. Informe de gerencia. Bogotá, Colombia

de trabajo un lote de 1.500 árboles, donde se evaluaron las variables promedio de infestación por árbol - mes, tasa diaria de infestación en la fase de crecimiento y el promedio de la infestación en café pergamino. Igualmente, se obtuvo el ingreso total y el margen de contribución económica. El porcentaje de infestación por broca en el campo en los tratamientos que contenían control cultural no sobrepasó el 5% durante la cosecha principal, mientras que aquellos que utilizaron insecticidas químicos o no tuvieron ningún tipo de control, la infestación durante la cosecha principal estuvo alrededor de 15 y 25%, respectivamente.

Los resultados obtenidos en esta investigación permitieron concluir que el control cultural fue el componente más importante en el manejo integrado de la broca, y que incluso realizado como estrategia única de control, mantuvo las poblaciones por debajo del nivel de daño económico durante la cosecha principal. Se obtuvo además, una mayor producción de café, mayores ingresos y márgenes de contribución económica, debido a que no se dejaron caer los frutos. Estos resultados parecen controvertir los reportes de Baker (1999) cuando indica que el repase como práctica de control cultural es difícil de ejecutar y parece no aportar en el control de la broca; sin embargo, está de acuerdo en que mejor que realizar el repase, se debe cosechar el café maduro de manera eficiente para mantener los niveles de broca bajo control. Dado que la recolección del café es una práctica compleja, en la cual la eficiencia de la labor depende de factores como el clima, la experiencia de la mano de obra, la oferta de frutos, la edad del cafetal y la pendiente donde se encuentra el cultivo, entre otros, la recomendación debe estar dada tanto para la recolección oportuna, como la realización del repase.

El uso de la solarización está siendo recomendado para evitar la dispersión de la broca durante el secado de café de baja calidad (Vélez *et al.,* 2002), denominado "flotes y pasillas"; que son el café que flota durante el transporte de los volúmenes despulpados antes de ser fermentado (Moreno *et al.* 2001). Este café contiene las mayores poblaciones de broca que potencialmente pueden regresar al cafetal durante la recolección y el beneficio del café (Moreno *et al.,* 2001; Castro *et al.,* 1998). Vélez *et al.* (2002) recomiendan secar este café en marquesinas construidas en madera, cubiertas por plástico y cerradas en los extremos con muselina. Esta muselina permite la aireación normal dentro de la marquesina y secado del café, pero evita el escape de la broca hacia el cafetal. Este dispositivo ha demostrado aumentar la temperatura hasta 30°C durante 5 horas, entre las 11 de la mañana y las 4 de la tarde, tiempo suficiente para ocasionar la muerte de la broca en los frutos antes de que escapen. Se estimó una supervivencia de broca de tan sólo 0,01% cuando se utiliza este secador parabólico.

La FNC de Colombia ha recomendado la renovación de las plantaciones por medio del zoqueo, para mantener un promedio de producción alto y rentable por unidad de superficie (Cenicafé, 1992) y para contribuir al control de la broca (Benavides y Arévalo, 2002). Esta actividad consiste en cortar el tallo principal de la planta de café, a 30 cm del suelo, con el fin de permitir la emisión de brotes ortotrópicos que reemplazarán al tallo cortado. Finalmente, estas nuevas plantas alcanzarán, al menos, la productividad de un cafetal nuevo (Mestre y Arboleda, 1999; Uribe, 1977). El zoqueo debe realizarse posterior a la cuarta o quinta cosecha y se recomienda realizarlo en una quinta parte de la plantación total de café, para mantener un promedio de la producción anual estable en la finca. El momento oportuno para realizar el zoqueo es posterior a la cosecha principal, ya que el árbol tiene menos flores y frutos, y coincide con la época seca que limita el desarrollo de enfermedades. El zoqueo requiere de la eliminación total de las ramas, aún aquellas con remanente de frutos. Se recomienda dejar estas ramas bien distribuidas en el suelo, para que aporten materia orgánica, impidan el crecimiento de arvenses por algún tiempo, y protejan el suelo de la erosión (Mestre y Arboleda, 1999). Lastimosamente estas prácticas de cultivo benefician el desarrollo, reproducción y dispersión de la broca del café en el campo (Castaño *et al.,* 2005, 1998; Moreno *et al.,* 2001).

En estudios recientes en Colombia, se evaluó la cantidad de adultos de broca que quedaron en los frutos del suelo después de la eliminación del cafetal, su desarrollo biológico en los frutos infestados, la emergencia de adultos y el impacto de estos vuelos de broca en los porcentajes de infestación de los cafetales vecinos (Castaño *et al.,* 2005). Se encontró que aunque los frutos verdes caídos al suelo presentaron menor porcentaje de infestación y menor número de estados biológicos del insecto, éstos suministraron el mayor número de brocas. De los cafetales evaluados, que presentaron una infestación inicial en el campo entre 20 y 25%, se estimó una emergencia entre 2.500.000 y 3.600.000 adultos de broca por hectárea, que volaron provenientes de frutos infestados del suelo. Estos fueron capturados en un 80%, durante los primeros 60

días posteriores a la eliminación de las ramas del árbol con frutos de café. La broca continuó su desarrollo biológico en los frutos hasta 100 días después, tiempo en el cual el 60% de los frutos infestados evaluados no presentaban estados biológicos vivos de broca en su interior. Se observó un notorio incremento de los porcentajes de infestación por broca hasta una distancia de 30 metros del cafetal zoqueado, sin embargo, los primeros cuatro surcos de café aledaños al lote zoqueado fueron los más afectados. Los resultados de este experimento permitieron recomendar, como medida de control cultural, la eliminación total de los frutos antes de renovar el cafetal para evitar la reproducción y dispersión del insecto en el campo.

En otro estudio Mejía *et al.* (2006) demostraron que la recolección de los frutos, previo al zoqueo de cafetales infestados, disminuyó la cantidad potencial de broca, pero demostró ser de difícil ejecución, de baja eficiencia y poco eficaz, cuando se realiza de manera manual. Sin embargo, los niveles de infestación en el campo sí fueron menores en comparación con lotes de café, donde no se realizó la cosecha de frutos. Se evaluó preliminarmente un dispositivo raspador selectivo de frutos de café, diseñado en Cenicafé y denominado "Raselca", el cual no mejoró el rendimiento de la recolección, pero tiene potencial para ser usado con algunas modificaciones. Resultados recientes de investigación permitieron conocer que el uso de guantes de cuero de cerdo durante la eliminación total de los frutos, facilita la labor y permite eliminar mayor cantidad de broca en el cafetal.

Otra labor de control cultural, recomendada en el cultivo del café para el control de la broca, incluye los árboles trampa durante el zoqueo de cafetales infestados (Bustillo *et al.,* 1998; Cenicafé, 1994). Los árboles trampa son plantas que se dejan en el cafetal con todos sus frutos, de los cuales se cosechan periódicamente todos los frutos infestados por broca (Cenicafé, 1994). Se recomienda dejar estos árboles en la periferia del lote por renovar, aledaños a otros cafetales a manera de barrera. Deberán permanecer en el cafetal alrededor de 60 días posterior al zoqueo del lote, tiempo después del cual se le deben recolectar todos sus frutos a manera de cosecha sanitaria.

Otras maneras de control cultural de la broca del café comprende el uso de las fechas de floración, con el fin de hacer seguimiento para predecir y planear la aplicación oportuna de insecticidas de contacto para el control del insecto (Bustillo *et al*., 1998). Igualmente, se puede considerar como control cultural el secado de café en silos con aire caliente, a temperaturas de 55°C. Esta temperatura sería suficiente para matar la broca en granos infestados que llegan al beneficio (Moreno, 2001).

Literatura citada

AGUIAR, A.; DAS, C. F. 2001. Efecto de especies usadas como abono verde en el enriquecimiento de la fertilidad del suelo y en el manejo de plagas. Tesis (M. Sc.) CATIE, Turrialba (Costa Rica), 93 p.

AGUILAR, J. A. 2003. Estrategias para el manejo integrado del chinche subterráneo *Cyrtomenus bergi* Froeschner. Programa de Investigación en raíces y tubérculos. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). 2 p.

ALTIERI, M. A.; WHITCOMB, W. H. 1979. The potential use of weeds in the manipulation of beneficial insects. Hort. Science, 14 (1): 12-17.

BAKER, P. S. 1999. The coffee berry borer in Colombia. Final report of the DFID-Cenicafé-CABI Bioscience IPM for coffee project (CNTR 93/1536A). Chinchiná (Colombia), Cenicafé-CABI publish. 146 p.

BENAVIDES, P.; ARÉVALO, H. 2002. Manejo integrado: una estrategia para el control de la broca del café en Colombia. Revista Cenicafé (Colombia), 53 (1): 39-48.

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 (Colombia) 28 (2): 161-165.

BISHOP, G. W.; DAVIS, D. W.; WATSON, T. F. 1979. Cultural practices in Pest Management.. *In:* Biological Control and Insect Pest Management. Bulletin 1911. Agricultural Experimental Station. University of California. 102 p.

BUSTILLO, A. E., CÁRDENAS, R.; VILLALBA, D. A., BENAVIDES, P.; OROZCO J.; POSADA, F. J. 1998. Manejo integrado de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) en Colombia. Cenicafé, Chinchiná Editorial Feriva S. A., Cali, Colombia. 134 p.

CASTAÑO, A.; BENAVIDES, P.; BAKER, P. 2005. Dispersión de *Hypothenemus hampei* en cafetales zoqueados. Revista Cenicafé (Colombia), 56 (2): 142-150.

CASTRO, L.; BENAVIDES, P.; BUSTILLO, A. E. 1998. Dispersión y mortalidad de *Hypothenemus hampei*, durante la recolección y beneficio del café. Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica) No. 50:19-28. 1998.

CENICAFÉ. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. 1992. La renovación de los cafetales por zoca. Cenicafé, Avances Técnicos No. 174, Chinchiná, Colombia, 8 p.

CENICAFÉ. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. 1994. Cómo renovar cafetales que presenten infestaciones de la broca del café. Brocarta, No. 21, Chinchiná, Colombia, 2 p.

CHELLEMI, D. O.; OLSON, S. M.; MITCHELL, D. J.; SECKER, I.; McSORLEY, R. 1997. Adaptation of soil solarization to the integrated management of soilborne pests of tomato under humid conditions. Phytopathology, 87: (3): 250 – 258.

DENT, D. 1991. Insect pest management. C.A.B. International, Oxon, OX10 SDE, U.K., 604 p.

ENGELKEN, L. K.; SHOWERS, W. B.; TAYLOR, S. E. 1990. Weed management to minimize black cutworm (Lepidoptera:Noctuidae) damage in no-till corn. J. Econ. Entomol., 83: 1058-1063.

FALCON, L. A.; SMITH, R. F. 1974. Manual de control integrado de plagas del algodonero. FAO, Roma, AGPP: Misc.8. 87 p.

FEDERALGODÓN. FEDERACIÓN NACIONAL DE ALGODONEROS. 1990. Bases técnicas para el cultivo del algodón en Colombia. División técnica Federalgodon. Editora Guadalupe Ltda., Bogotá, Colombia. 714 p.

HILL, D. 1983. Agricultural insect pests of the tropics and their control. 2nd edition, Cambridge University Press. p. 17-50.

KOGAN, M. 1986. Ecological theory and integrated management practice, Kogan, M. (Ed). Wiley-Interscience, New York, 362 p.

MADRIGAL, A.; YEPES, F. 1997. Las hormigas cortadoras de hojas (Hymenoptera: Formicidae). Cuadernos divulgativos en Entomología. No.3. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. 47 p.

MEJÍA, C. G.; BUSTILLO, A. E.; DUQUE, H.; MONTOYA, E. C.; BENAVIDES, P. 2007. Análisis biológico y económico del manejo integrado de la broca en la renovación de cafetales. Revista Cenicafé (Colombia), 58 (2): 99- 110.

MESTRE, A.; ARBOLEDA, C. 1999. Aumente la densidad de población de los cafetales y la productividad, sin costos adicionales. Cenicafé, Avances Técnicos No. 263, Chinchiná, Colombia, 4 p.

MORENO, D. P.; 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 Cenicafé (Colombia), 52 (2): 111-116.

PULLMAN, G. S.; DE VAY, J. E., ELMORE, C. L.; HART, W. H. 1984. Soil solarization. A nonchemical method for controlling diseases and pests. Leaflet 21377. Cooperative Extension, University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, 15 p.

ROMERO, F. 2004. Manejo integrado de plagas. Bases y conceptos. Universidad Autónoma de Chapingo, México. 103 p.

URIBE, A. 1977. Zoqueo de cafetales. Cenicafé, Avances Técnicos No. 66 Chinchiná, Colombia, 4 p.

CAPÍTULO 15

Uso de genes para incrementar la resistencia de plantas a insectos herbívoros

Carmenza Esther Góngora Botero y José Ricardo Acuña Zornosa

Históricamente el control de insectos en cultivos comerciales se ha basado predominantemente en el uso de insecticidas. Sin embargo, debido a la falta de actividad de algunos de ellos, al desarrollo de la resistencia de los insectos y, a que en años recientes, el uso de insecticidas se ha regulado y limitado cada vez más, debido a los peligros potenciales que éstos pueden causar a la salud humana y al medio ambiente, los investigadores se han visto en la necesidad de buscar otras alternativas para el control de los insectos, más específicos al insecto plaga y ambientalmente benignos. Una de estas alternativas ha sido el desarrollo de plantas resistentes, que manifiesten genes de resistencia que se encuentran en la misma especie, pero en plantas no cultivadas o en especies relacionadas genéticamente, ésto es lo que se conoce como mejoramiento genético tradicional. Sin embargo, esta alternativa es limitada, debido al poco número de fuentes de resistencia que se encuentran en las plantas. No obstante, la tecnología de la ingeniería genética ha permitido la introducción de genes de cualquier especie en cualquier planta, a estas plantas se les conoce como plantas transgénicas o modificadas genéticamente, y de esta manera ha sido posible obtener resistencia a insectos en las principales especies cultivadas en el mundo (Fujimoto *et al.,* 1993; Perlak *et al.,* 1990; Thomas *et al.,* 1994). En los últimos 10 años, se han liberado comercialmente plantas transgénicas protegidas contra insectos, para el caso de cultivos de maíz, algodón, hortalizas y papa (Peferoen, 1997).

Las primeras plantas transgénicas registradas en la literatura se produjeron en la década de 1980 a 1990. Primero, estas plantas se transformaron con genes de bacterias que conferían resistencia a antibióticos tipo kanamicina (Bevan *et al.,* 1983; Fraley *et al.,* 1983; Herrera-Estrella *et al.,* 1983). En la década de los noventa la adopción de esta tecnología permitió uno de los mayores cambios con respecto al desarrollo de cultivares resistentes a artrópodos e insectos. Las transformaciones, utilizando el sistema de *Agrobacterium* y los equipos de biolística, fueron usadas para transferir genes de bacterias, plantas y artrópodos, dentro de los genomas de varios tipos de plantas para crear plantas resistentes al ataque de insectos (Smith, 2005).

El uso de plantas transgénicas para el control de insectos tiene varias ventajas en comparación con los métodos de mejoramiento genético tradicional, entre éstas se pueden citar: 1) La tecnología transgénica permite la transferencia de información genética de una especie a otra, de esta manera una característica que evolucionó para el beneficio de una especie puede ser directamente utilizada por otra especie. Estas dos especies podrían estar tan lejanamente relacionadas, que esta característica nunca podría ser transferida por mecanismos naturales (por ejemplo, el movimiento de proteínas insecticidas bacterianas en las plantas); 2) los caracteres de resistencia a insectos en plantas son determinados a menudo por genes múltiples, posiblemente localizados en diversos cromosomas, esto hace difícil la transferencia de estos rasgos de un cultivo a otro; 3) en la introducción directa de un gen de resistencia en germoplasmas comerciales, no se observa ninguna transferencia de rasgos indeseables junto con los rasgos deseados. Se introduce una característica específica sin arriesgar las características alimenticias del cultivo (Duck y Evola, 1997).

Sin embargo, la creación de plantas transgénicas resistentes a insectos, tiene desafíos técnicos considerables: el primer paso consiste en la identificación y la caracterización de los factores de la resistencia y de los genes

que los codifican. El factor de resistencia debe satisfacer tres características: a) la planta transformada debe producir los factores transgénicos, en niveles lo suficientemente altos para afectar el insecto plaga; b) el factor no debe interferir con el funcionamiento agronómico normal de la planta; y c) el factor de resistencia debe afectar en lo posible al insecto plaga sin causar daño a otros organismos. El segundo paso en la producción de las plantas transgénicas, es el desarrollo de sistemas de regeneración y transformación, específicamente en genotipos en los que se produzca la inserción del DNA y una estable heredabilidad de éste. Los procedimientos para desarrollar eventos de transformación en variedades o cultivares élites aceptados y usados por los agricultores, dependen del método de propagación y las bases genéticas de la especie cultivada.

Las plantas transformadas que se identifiquen con las nuevas características introducidas deben ser propagadas vegetativamente y analizadas genotípica y fenotípicamente en varios medios ambientales, por varios años, para asegurar que la línea transgénica es igual a la línea no modificada genéticamente, excepto por el gen de interés (Duck y Evola, 1997).

Se deben desarrollar métodos de muestreo en el campo que permitan demostrar claramente la resistencia de las plantas transgénicas. También es importante establecer estrategias de manejo para evitar el desarrollo de resistencia; además, cada país debe establecer regulaciones ambientales y de riesgos para el uso de estas plantas en una forma segura.

Estos desarrollos también contemplan llevar registros minuciosos para permitir la comercialización de los productos y considerar todos los aspectos relacionados con la propiedad intelectual. Finalmente, para que la planta transgénica sea exitosa debe cumplir con las expectativas de los cultivadores, comercializadores, los supermercados, los consumidores y todas las regulaciones gubernamentales de cada país, al igual que las internacionales, si estos productos se van a exportar.

Factores de resistencia proteicos en plantas transgénicas

La importancia de entender el modo de acción de los factores de resistencia proteicos es crítica para determinar si la proteína será efectiva en la planta transgénica. Por ejemplo, las proteínas que son activas solamente en altas concentraciones no se pueden expresar en plantas transgénicas, en niveles suficientemente altos para afectar los insectos. Por otra parte, si la proteína se expresa en niveles muy altos ésta puede causar fitotoxicidad a la planta.

Un número limitado de productos naturales se han caracterizado e identificado como agentes defensivos eficaces contra insectos herbívoros. Esos factores de resistencia naturales incluyen:

- Las proteínas que alteran componentes básicos en la dieta de los insectos, privándolos de alimentos o generando compuestos tóxicos, sin embargo no actúan directamente sobre el intestino del insecto como sitio de acción primario. En este grupo están las polifenoloxidasas, las cuales modifican las proteínas en la dieta de los insectos (Felton *et al.,* 1992), y la invertasa y la hexosiltransferasa, que modifican los azúcares (Purcell *et al.,* 1994).

- Las proteínas que privan a los insectos de nutrientes necesarios para su crecimiento y desarrollo. Pertenecen a este grupo: Lectinas, inhibidores de proteinasas e inhibidores de α-amilasas. Las lectinas se unen directamente a los nutrientes y los secuestran, mientras que los inhibidores de proteinasas y los inhibidores de α-amilasas interfieren con las enzimas digestivas de los insectos, y por lo tanto, hacen la digestión menos eficiente.

- Las proteínas que atacan la integridad del epitelio del intestino de los insectos. Hasta el momento se han identificado en este grupo las endotoxinas del *Bacillus thuringiensis*, colesterol oxidasas (Purcell *et al.,* 1993; Shen *et al*., 1997), lípido acil hidrolasas (Strickland *et al.,* 1995) y las enzimas quitinolíticas o quitinasas, que actúan en un ambiente alcalino (Broadway *et al.,* 1998; Góngora *et al.,* 2001).

En esta revisión nos enfocaremos en la discusión de estos grupos, su efecto sobre los insectos, el éxito de esta planta en el control de insectos y posibles riesgos.

A nivel experimental las proteínas que se han utilizado para producir plantas transgénicas resistentes a insectos incluyen: los inhibidores de proteinasas, lectinas, inhibidores de α-amilasas, las endotoxinas del *Bacillus thuringiensis* y las enzimas quitinolíticas. Sin embargo, las únicas plantas liberadas con propósitos comerciales, son las que contienen los genes *Cry* de *Bacillus thuringiensis* (James, 2004).

Genes *Cry* de *Bacillus thuringiensis* como fuente de resistencia contra insectos

En general, *B. thuringiensis* y los cristales de δ endotoxina tienen una larga historia de uso como una estrategia de control biológico de insectos (Schenpf *et al.,* 1998), éstos han sido usados en aplicaciones tópicas en muchos cultivos desde la época de 1960 (Menn y Hall, 1999). El uso de Bt, históricamente ha demostrado ser específico y seguro y ha sido empleado asperjándolo sobre plantas y semillas en almacenamiento, de tal forma que los insectos plaga al consumir las hojas o perforar los granos almacenados mueren.

Durante la esporulación, la bacteria *B. thuringiensis* produce una serie de proteínas insecticidas que se ensamblan en un cristal paraesporal, las proteínas individuales dentro del cristal están codificadas por genes plasmídicos y cromosomales denominados genes *Cry.* Hoy en día se conocen cientos de genes identificados y existe una nomenclatura estándar para su descripción, basada en las similitudes de sus secuencias de DNA (Llewellyn y Higgins, 2002).

Los genes *Cry* que codifican las proteínas Cry, presentan un modo de acción complejo con varios componentes. Para que la proteína tenga una función insecticida, ésta debe ser ingerida por el insecto y debe alcanzar el intestino, donde debido al alto pH de éste, se solubiliza y cliva proteolíticamente, de tal forma que se libera la parte activa de la proteína, la cual es resistente a degradaciones adicionales que puedan ser producidas por proteasas del intestino (Lilley *et al.,* 1980; English y Slatin, 1992). La proteína activa se une a receptores específicos, localizados en las células epiteliales del intestino medio de los insectos susceptibles, y se inserta dentro de las membranas y forma poros ion específico (English y Slatin, 1992). Las células se inflaman debido al paso de iones y agua dentro de ellas, ocasionando lisis celular, que finalmente conllevan a la muerte de los insectos (Höfte y Whiteley, 1989).

Los tejidos del tracto digestivo de los insectos que no son plagas, mamíferos, pájaros y peces no contienen los receptores que puedan unirse a las proteínas Cry (Noteborn y Kuiser, 1994; Sacchi *et al.*, 1986; Van Mellaert *et al.*, 1988). Por lo tanto, estas proteínas no tienen efectos tóxicos en insectos que no son plagas y sólo se consideran tóxicas contra insectos de lo órdenes Lepidoptera, Diptera y algunos Coleoptera (Siegel 2001, Betz *et al.* 2000; Hofmann *et al.* 1988).

En los primeros experimentos con los genes de las proteínas de cristal Bt, los genes fueron clonados en un vector T-DNA e introducidos en tabaco y tomate, usando *Agrobaterium tumefaciens* (Adang *et al.,* 1988; Barton *et al.,* 1987; Fischhoff *et al.,* 1987; Vaeck *et al.,* 1987). Los intentos iniciales de expresión de los genes *Cry* no fueron muy exitosos, y esto en parte se atribuyó al origen bacteriano de ellos, a su alto contenido de bases AT en el ADN, que resultó en bajos niveles de expresión de la proteína en plantas. Sin embargo, la resíntesis de los genes *Cry*, optimizando la secuencia de nucleótidos, al igual que el incremento del contenido de GC en el ADN del gen, la utilización exclusiva de la porción del gen que codifica para la toxina activa y la remoción de señales de poliadenilación crípticas en las plantas, mejoraron la preferencia de codones y permitieron incrementar los niveles de expresión en plantas (Perlak *et al.,* 1991).

La primera generación de plantas Bt producidas, poseía un gen Bt simple y sintético que correspondió a una de estas cinco endotoxinas Bt, Cry1Ab, Cry1Ac, Cry3a, Cry9C o Cry1F. Las proteínas estaban bajo el control de un promotor constitutivo (Perlak *et al.,* 1990). Los mejores resultados con estas plantas correspondieron al desarrollo de plantas con más de un gen *Cry,* agrupando de esta forma múltiples genes de resistencia en una planta o cultivar, ampliando de esta manera el espectro de acción contra más de un insecto. A estas

plantas se les conoce como la segunda generación de plantas Bt, y se espera que tengan un mayor impacto sobre la producción agrícola (Koul y Dhaliwal, 2004).

En el caso particular del algodón transgénico, Bollgard® de Monsanto, el cual produce la proteína Cry1Ac y que ha sido adoptado desde 1996, éste es resistente a varios lepidópteros como el gusano del tabaco (*Heliothis virescens*), el gusano rosado del algodón (*Pectinophora gossypiella*) y el gusano bellotero del algodón (*Helicoverpa zea*) (Carpenter y Gianessi, 2001). Los agricultores que usan algodón Bollgard® aplican significativamente menos insecticidas y muestran mayores producciones (Fernández-Cornejo y McBride, 2000). Este algodón se ha cultivado en más de 32 millones de acres, desde que fue introducido a Estados Unidos en 1996 (James, 2002). Hasta el momento no ha mostrado efectos negativos en el ambiente o en otros organismos (Hamilton *et al.,* 2002; Monsanto, 2002).

La introducción de algodón Bollgard II, que produce tanto la proteína Cry1Ac como la proteína Cry2Ab2, se espera que tenga mayores beneficios para los agricultores, ya que además de controlar los gusanos del algodón y el tabaco, controla algunas plagas secundarias de lepidópteros como la rosquilla verde (*Spodoptera exigua)* y el gusano cogollero del maíz (*Spodoptera frugiperda*). La combinación de la proteína Cry2Ab con Cry1Ac se espera que provea una herramienta adicional para retardar el desarrollo de la resistencia, debido a que los dos tipos de proteínas tienen un modo se acción diferente (Crickmore *et al.,* 1998).

Los genes *Cry* de longitud completa, truncados o modificados, han sido expresados en un gran número de plantas desde árboles (álamo, alerce y eucalipto), cereales (trigo, maíz y arroz), leguminosas (garbanzo, soya y maní), vegetales (papa, tomate, auyama, brócoli y batata) y frutas (manzana y fresa). Sin embargo, los temas de propiedad intelectual han restringido la comercialización de muchos de estos productos (Llewellyn y Higgins, 2002).

Hoy en día, el maíz Bt y el algodón Bt son los únicos cultivos resistentes a insectos que se comercializan. La papa transgénica Bt, expresando Cry3Aa para el control de *Leptinotarsa decemlineata*, se comercializó entre 1996 y 2001, pero finalmente fue retirada del mercado debido a la falta de aceptación por parte de los consumidores y a la introducción de un nuevo insecticida en el cultivo, capaz de controlar coleópteros al igual que áfidos (Shelton *et al.,* 2002). El maíz Bt, expresando Cry1Ab, se desarrolló inicialmente para controlar *Ostrinia nubilalis*; sin embargo, mostró ser efectivo contra *Spodoptera littoralis* y *Helicoverpa zea* (Pilcher *et al.,* 1997; Gonzales-Nunez *et al.,* 2000; Dutton *et al.,* 2005). El maíz Bt que expresa la toxina Cry3Bb, que es específica contra coleópteros, va dirigida al control de *Diabrotica* spp., y en el 2003 recibió aprobación para ser usado comercialmente en Estados Unidos y en Canadá (Ward *et al.* 2005; AGBIOS, 2006).

Algodón Bt

El algodón fue uno de los primeros cultivos en desarrollarse como cultivo transgénico, empleando Bt, y hoy en día es uno de los más cultivados comercialmente en varios países, incluyendo Colombia. En el caso particular de Colombia existen varias actividades en curso con algodón Bollgard® y Bollgard II ®, que incluyen ensayos de bioseguridad, plantaciones precomerciales y liberaciones comerciales (Moreno Villamil, 2007).

Las variedades de algodón Bt, están protegidas contra las plagas más importantes del algodón, lepidópteros de los géneros *Helicoverpa*, *Earias* y *Pectinophora*, que destruyen botones y flores o atacan a las cápsulas, antes de que éstas terminen la producción de fibra. Algunas de estas plagas son difíciles de combatir, ya que desde que emergen del huevo hasta que penetra en el órgano fructífero transcurren sólo horas, y una vez adentro los insecticidas actuales no son capaces de ser eficaces (Alvarado *et al.*, 1997 citado por Singenta). La pérdida de las primeras cápsulas o las galerías durante su desarrollo reducen sustancialmente la cantidad y calidad de la fibra. Los agricultores que adoptan variedades de algodón Bt han logrado un control de eficaz de las tres especies mencionadas arriba, con una reducción considerable de aplicaciones de insecticidas.

En el 2000, el área de cultivo de las variedades Bt de algodón era de 3,2 millones de hectáreas, en Estados Unidos, China, México, Australia, Argentina y Sur África[1]

China es el país con mayor producción de algodón, paralelamente es un gran consumidor de agroquímicos. En un estudio sobre el efecto de la biotecnología en el uso de agroquímicos en el cultivo del algodón en China, se demostró una reducción en su empleo, de 55 a 16 kg de producto formulado por hectárea, y una disminución en el número de aplicaciones de 20 a 7 (Pray *et al.,* 2002). En India, con 9 millones de hectáreas en algodón, se acaba de aprobar la comercialización del algodón Bt, con la cual se esperan unos resultados similares a los de la China. En el 2004, las plantas de algodón Bt ya habían crecido a 7,4 millones de hectáreas en el mundo, debido a los beneficios económicos y medioambientales. Reportes de la China también indican una disminución en intoxicaciones por plaguicidas en estos agroecosistemas (Shelton, 2005 reportado por http://www.checkbiotech.org/blocks/ dsp_document.cfm?doc_id=11175) y la disminución en el uso de insecticidas alrededor del 50% en Argentina (Qaim y De Janvry, 2005).

Los cultivos con variedades de algodón Bt han mostrado mayores producciones, menor uso de pesticidas y mayor retorno neto que los cultivos convencionales, en todos los países en desarrollo, donde se han hecho estos estudios (FAO, 2004; Raney, 2006). Aunque todavía es demasiado temprano para emitir conclusiones finales, los datos han indicado además del rápido nivel de adopción, que los agricultores se han beneficiado del algodón Bt (FAO, 2004).

Consideraciones con respecto al uso de cultivos transformados con Bt

En general, las consideraciones a tener en cuenta con respecto al uso de cultivos transformados con Bt son las mismas para cualquier otro cultivo con resistencia a insectos, y son:

1. Desarrollo de la resistencia de los insectos al cultivo modificado
2. Efectos indeseados del cultivo modificado en organismos que no son plagas
3. Flujo de genes y cruzabilidad entre el cultivo modificado genéticamente y las variedades cultivadas y silvestres
4. Seguridad alimentaría del cultivo, dependiendo del uso que se le dará a éste

Para cada uno de estos aspectos es necesario hacer un estudio de caso, considerando el cultivo, la zona y el uso que se le dará al producto.

Manejo de la resistencia de insectos cuando se usan cultivos transgénicos

Este tema ha sido bastante explorado, en lo que corresponde a cultivos con la toxina Bt. Uno de los riesgos al usar estas plantas es el desarrollo de resistencia por parte de los insectos, de la misma forma en que se desarrolla resistencia a los insecticidas.

Una exposición permanente de las plantas genéticamente transformadas, como en el caso de las plantas con Bt, puede acelerar la selección de insectos resistentes que tengan la mutación que les confiere resistencia a esta planta (Alvares –Buylla, 2005).

La resistencia a la proteína Bt se ha observado tanto en poblaciones de insectos provenientes de laboratorio como del campo. En el laboratorio, se han seleccionado insectos resistentes de varias especies que atacan cultivos con Bt, como es el caso de *Helicoverpa virescens* (Gould *et al.,* 1992), *Heliothis armigera* (Akhurst *et al.,* 2000) y *P. gossypiella* (Liu *et al.,* 2001). Estas poblaciones han servido como modelos para manejar el

[1] http://www.syngentaseeds.es/biotecnologia/sostenibilidad.htm

desarrollo de la resistencia en el campo. Se ha observado en el campo, resistencia en *Plodia interpunctella*, plaga de granos almacenados, y en *Plutella xylostella* en hortalizas (Tabashnik *et al.*, 2003).

Para prevenir el desarrollo de esta resistencia, se han propuesto varias estrategias de manejo de resistencia, éstas son discutidas por Benedict y Ring (2004) e incluyen:

1. Mezclas donde dos o más toxinas insecticidas se combinan en el mismo campo de siembra, mezclando variedades que producen diferentes toxinas, o plantas que tienen diferentes combinaciones de genes en la misma planta (piramidización de genes).

2. Rotación, en donde diferentes toxinas se usan en rotación, un año se siembra un cultivar con un tipo de toxina y al siguiente, otro con una toxina diferente.

3. Mosaico, en éste una variedad se siembra en un área determinada y variedades que expresan otra toxina se siembran en áreas adyacentes a la anterior.

4. Refugios. Se siembran las plantas no resistentes y se espera que sobre estas plantas se desarrollen insectos susceptibles, que a su debido tiempo, se apareen con individuos que tengan alelos de resistencia, que provengan de los cultivares resistentes. Se espera que la población de insectos se mantenga susceptible sobre el tiempo, a través de la continua dilución de los alelos de resistencia.

5. Estrategia de las altas dosis. Es el uso de cultivares que producen una dosis de toxina o proteína de resistencia, muchas veces más alta que la que se necesita para ocasionar la muerte de los insectos susceptibles en la población.

La estrategia utilizada hoy en día, es una estrategia combinada que incluye manipulación de los genes y promotores que permiten alta expresión de la proteína Bt en la planta y mezclas con plantas no modificadas genéticamente en el campo. Esto implica el uso de plantas que expresan altas dosis de la proteína Bt, combinado con refugios que están dados por plantas no transgénicas, las cuales se sitúan cerca a las plantaciones comerciales y en donde permanecen las poblaciones de insectos que contienen las características genéticas o los alelos susceptibles a Bt. Estas estrategias de alta dosis y refugio a jugado un papel muy importante para prevenir el desarrollo de la resistencia en estos cultivares. Esto asegura que cualquier insecto homocigoto resistente, que pueda ser seleccionado en el cultivo de Bt, podrá cruzarse con individuos completamente susceptibles a la toxina, que deben encontrarse cohabitando en los refugios. Esto implica que los refugios deben estar suficientemente próximos al cultivo transgénico, para asegurar un apareamiento aleatorio entre los individuos resistentes y susceptibles, de acuerdo a la distancia de dispersión de los insectos adultos de la población.

Un panel de científicos consultores de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), concluyó en 1998 que un cultivo Bt se considera de dosis alta, si se demuestra que la cantidad de toxina Bt que contiene es 25 veces la necesaria para eliminar el 99% de los insectos susceptibles (EPA, 1998).

La estrategia combinada está basada en tres premisas (Agrobio, 2007): 1) que los genes de resistencia deben ser parcial o completamente recesivos, es decir que los individuos heterocigotos deben tener una supervivencia muy baja en el cultivo transgénico, similar a los individuos susceptibles homocigotos. La tasa de supervivencia de los insectos heterocigotos debe ser menor al 5%, con respecto a los individuos completamente resistentes; 2) los genes que confieren la resistencia deben ser poco frecuentes en la población (Gould *et al.,* 1997); 3) el refugio con plantas resistentes debe producir suficientes individuos susceptibles homocigotos, que exceda el número de individuos resistentes también homocigotos, de forma que la siguiente generación esté conformada por individuos heterocigotos u homocigotos sensibles.

Otra de las estrategias para retardar el desarrollo de la resistencia es el desarrollo de plantas con múltiples genes de resistencia, ya que la mayoría de expertos (Gould 1998, Roush y Shelton, 1997) consideran que ésta es la medida más efectiva para la mitigación de resistencia, ya que al insecto plaga le será más difícil adaptarse al mismo tiempo, a diferentes mecanismos de control.

Hoy en día, los programas efectivos de manejo de la resistencia son una parte vital de las compañías productoras de estos cultivos y deben ser instituidos con base en conocimientos científicos, por lo tanto, es necesario conocer el modo de acción de las plantas, el organismo plaga y el ambiente en el que se introduce el cultivo. En el caso de Monsanto, la compañía productora de la semilla, ésta provee el soporte técnico para el desarrollo y la implementación de planes efectivos y prácticos de manejo del cultivo y de la resistencia, en todos los mercados donde el cultivo se introduce. Cada plan incluye los siguientes elementos:

- Susceptibilidad del organismo plaga y monitoreo de cambios en esta susceptibilidad.

- Se asegura la adecuada cantidad de insectos susceptibles para aparearse con insectos resistentes, a través de prácticas apropiadas de implementación de refugios y uso de hospederos alternativos, naturales o cultivados.

- Planes de mitigación.

- Educación a los agricultores en los conceptos de programas efectivos de manejo de la resistencia e implementación de estas prácticas. Estos planes de manejo varían de acuerdo con la distribución geográfica del cultivo, el tipo de insecto plaga y otros cultivos en la zona, y son revisados regularmente con información renovada de acuerdo con los resultados de investigación.

- En Estados Unidos, la ARS (Agricultural Research Service) y la USDA (United States Department of Agriculture), con el fin de retardar el desarrollo de la resistencia al algodón Bt han propuesto la adopción por parte de los agricultores de una de las siguientes tres estrategias: 1) sembrar un máximo de 80% de algodón Bt junto con un 20% de algodón sin Bt, con aplicaciones de insecticidas al algodón sin Bt, con excepción de insecticidas foliares, a base de Bt; 2) sembrar un máximo de 95% de algodón Bt junto con un 5% de algodón sin Bt, pero sin aspersión de insecticidas; 3) sembrar un máximo de 95% de algodón Bt con un 5% de algodón sin Bt, plantando el algodón no transgénico en los mismos campos del transgénico y con la aplicación de insecticida en el 95% del cultivo, siempre y cuando no se asperjen insecticidas foliares a base de Bt (USDA-ARS, 2007).

Efecto de plantas transgénicas resistentes a insectos, en organismos que no son plagas

Otro de los aspectos relacionados con las plantas transgénicas resistentes a insectos se refiere al efecto que éstas puedan tener en otros organismos diferentes al organismo plaga. Los riesgos ambientales implican efectos en los organismos que no son plagas (Scriber 2001), que se manifiestan en la toxicidad de las proteínas introducidas en el cultivo, una vez son ingeridas por insectos benéficos u otros animales, y también por los efectos ecológicos causados en la cadena alimentaria del ecosistema del cultivo (Bennett *et al.,* 1997).

La EPA, en Estados Unidos, es la entidad encargada de determinar los posibles riesgos ambientales y de salud que una planta modificada genéticamente pueda causar, y bajo ningún motivo deben existir dudas con respecto a su seguridad. Antes de la aceptación y comercialización del cultivo transgénico, éste debe ser registrado ante la EPA. La EPA tiene una serie de requerimientos relacionados con el grupo de datos que se requieren para evaluar la seguridad de los organismos modificados genéticamente (Marvier, 2002). La seguridad con respecto al daño ambiental de cada cultivo se determina individualmente, ya que la cantidad y el tipo de proteína transgénica expresada varía.

En el caso de Colombia, tres agencias gubernamentales se encargan de la evaluación de riesgos de organismos vivos modificados genéticamente (OVM), junto con sus correspondientes comités consejeros de bioseguridad (CTN-Bios). El Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) y su CTN-Bios, se encargan de la evaluación de OVM con aplicación en la agricultura, la ganadería, la pesca, las plantaciones forestales y la agroindustria (CTN_BioAgro). El Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (Invima) y el CTN-Bio, se encargan de la evaluación de OVM con aplicaciones en humanos (CTN-BioSalud), y El Ministerio

del Medio Ambiente y Desarrollo Rural y el CTN-BioAmbiente se encargan de la evaluación de OVM con aplicación directa en el ambiente (Tinjaca Espinel, 2007). Los CTN-Bios tienen como función revisar y evaluar los documentos concernientes a la evaluación de riesgos, presentada por los solicitantes o el ICA siguiendo la ley 720 del 2002, que contiene los requerimientos para evitar, prevenir, mitigar corregir o compensar los posibles riesgos.

Como parte de esa serie de regulaciones antes de la comercialización de un cultivo, tanto en Estados Unidos como en Colombia, es necesario determinar los efectos potenciales en los organismos que no son plaga. Esto conlleva a evaluaciones en el laboratorio, que se realizan con varios insectos que no son plagas, exponiéndolos a las diferentes concentraciones de la proteína pura y determinando cuál es la concentración máxima que podrán encontrar en el campo. Las especies de insectos a evaluar se escogen con base en la región donde se sembrará el cultivo modificado, e incluyen predadores, parasitoides y polinizadores que están asociados con el cultivo, además de organismos del suelo y acuáticos. Estas especies corrresponden a diferentes taxas y se evalúan diferentes rutas de exposición, al igual que el efecto del consumo directo del tejido que expresa la toxina, consumo de polen o ingestión de materiales de la planta que se incorpora n en el suelo. Además, se realizan experimentos con aves, invertebrados acuáticos e invertebrados del suelo, diferentes a insectos (Head y Dively, 2004).

La gran mayoría de los experimentos se han hecho evaluando cultivos Bt con la proteína Cry. La variante Cry1 presente en maíz y algodón es activa contra lepidópteros y no se ha observado algún impacto adverso en especies que no son lepidópteras (Head y Dively, 2004). Debido a que la toxina se expresa únicamente dentro del tejido de las plantas, en insectos que no son fitófagos no se ha observado ningún efecto. Tampoco se han evidenciado efectos negativos en la estructura ecológica o la abundancia de especies, como es el caso de poblaciones de coleópteros en cultivos de maíz Bt (Lozzia, 1999). Las únicas especies directamente afectadas con disminución en su abundancia son las especies plaga.

El efecto en enemigos naturales y predadores generalistas también ha sido estudiado, debido a su papel en el control biológico (Symondson *et al.*, 2002). Hasta el momento no se han observado efectos negativos en estas poblaciones (Betz *et al.,* 2000 y EPA, 2001). Sin embargo, sí se han reportado efectos adversos indirectos en poblaciones de parasitoides específicos, los cuales se alimentan exclusivamente de la plaga. Estos efectos consisten en la reducción de sus poblaciones (Bernal *et al.,* 2002; Bourguet *et al.,* 2002). Este mismo efecto se observaría frente a cualquier medida que se tome para controlar el insecto plaga, es decir el uso de medidas de control cultural o aplicación de insecticidas, debido a que éstas reducen la población plaga, lo que repercute en la población de parasitoides.

Por último, Sisterson *et al.* (2007) realizaron un estudio para ver el efecto del algodón Bt en la reducción del uso de insecticidas y la abundancia de predadores generalistas, con la implicación de que si en los cultivos con Bt se observa una reducción en el uso de insecticidas, este hecho debía favorecer el establecimiento de algunos artrópodos que no son plagas. Al analizar 21 plantaciones comerciales encontraron que en los cultivos no modificados se realizaban dos veces más aplicaciones de insecticidas comparados con los cultivos Bt; así mismo, la abundancia de dos depredadores *Chrysoperla carnea* Stephens (Neuroptera: Chrysopidae) y *Orius tristicolor* (Heteroptera: Anthocoridae), se asociaban negativamente con el número de aplicaciones de insecticidas. Ahora bien, sin el efecto de los insecticidas no existirían diferencias con respecto a la abundancia de los predadores en cultivos Bt, al compararlos con los no modificados.

Con respecto a los efectos en otros insectos que no están directamente relacionados con el cultivo, hay mucha discusión debido al artículo de Losey *et al.* (1999), en el que demuestran la toxicidad del polen de maíz Bt, expresando la toxina Cry en la mariposa monarca (*Danaus plexippus*), en Estados Unidos. Aunque el artículo no reportaba un hallazgo científico nuevo, causó bastante polémica y permitió a varios autores realizar trabajos concernientes a dilucidar el efecto real de transgénicos en insectos y organismos que no son plagas. Por ejemplo, se encontró que en la mayoría de los cultivos comerciales transgénicos que expresan el Bt, existe una muy baja expresión de la toxina en el polen, los estudios tanto de laboratorio como en el campo mostraron que no existían efectos tóxicos en el polen que pudieran encontrarse en el campo. También encontraron que no existe sobreposición entre los períodos de la emisión de polen y los períodos de actividad de las larvas de la mariposa, y hay un limitado sobrelapamiento entre la distribución de los

cultivos de maíz Bt y el de asclepias (*Asclepia syriaca*), único alimento de las mariposas (Sears *et al.,* 2001; Zangerl *et al.,* 2001; Hellmich *et al.,* 2001; Pleasants *et al.,* 2001; Stanley-Horn *et al.,* 2001, Oberhauser *et al.,* 2001). Todos estos estudios permitieron concluir que no existían efectos negativos de los cultivos Bt en la población de mariposas monarca, ya que el polen no es tóxico a las mariposas, en las concentraciones que las larvas pueden encontrarlo bajo condiciones reales de campo (Bravo *et al.,* 2005).

Seguridad alimentaria de cultivos Bt

Con respecto a la seguridad alimentaria, existe un registro histórico del uso seguro de la proteína Cry en productos microbianos elaborados con base en Bt (EPA, 1998; IPCS, 1999). La EPA y la Organización Mundial de la Salud (WHO) han concluido que la exposición en la dieta a la proteína Cry en cultivos de especies alimenticias no presentan inconvenientes. Aunque el uso de *Bacilus thuringiensis* puede resultar en una dieta que contenga esporas en un producto agrícola primario, se espera que el consumo de este producto no cause peligro a la población, ya que con Bt nunca se han presentado reportes de efectos adversos en la salud humana por consumo de alimentos o bebidas que contienen la toxina Bt (IPCS, 1999).

Además de esta consideración, las compañías encargadas de comercializar estos cultivos han hecho los análisis relacionados con la seguridad alimentaria de estas plantas, y es así como, en el caso del Algodón Bt, se han desarrollado estudios de digestibilidad de las proteínas Cry2Ab2 y GUS en fluidos intestinales y gástricos, se ha evaluado la toxicidad aguda de las proteínas Cry2Ab2 y GUS en ratones, se ha determinado la similaridad de la secuencia proteica de Cry2Ab2 y GUS y se ha comparado con toxinas proteicas conocidas, se ha evaluado el potencial alergénico de estas proteínas, se ha evaluado el efecto de la exposición en humanos a estas proteínas y se ha hecho el análisis de la composición de estas plantas y el análisis nutricional, así como los análisis de toxicidad de las semillas de algodón. En ninguno de estos estudios se ha observado un efecto negativo de la toxina en la inocuidad del cultivo[2].

Flujo de genes y cruzabilidad entre el cultivo modificado genéticamente y las variedades cultivadas y silvestres

El flujo horizontal de genes se refiere a la transferencia de genes, habitualmente a través del polen, de especies cultivadas a sus parientes silvestres y viceversa. Esto puede suceder ya sea con plantas convencionales o con plantas modificadas genéticamente[3].

El problema de la cruzabilidad entre el material transgénico y las variedades cultivadas o silvestres, radica en que la transferencia de los genes de resistencia de la planta transgénica pueda concederle una ventaja a la planta silvestre, haciendo que ésta pueda convertirse en una maleza, o en su defecto pueda causar el deterioro de la variabilidad genética de las especies silvestres.

Una de las principales controversias sobre el tema, está relacionada con el maíz transgénico Bt, en México. El maíz se originó en el sur de México, cuando los primeros agricultores seleccionaron variantes de la planta silvestre *Teosintle*, que generaban más semillas y las producían en una forma más fácil de cosechar. Los agricultores continuaron seleccionando las primeras plantas de maíz para obtener adaptación a distintas condiciones ambientales, así como una mejor apariencia y más usos como alimento. Este proceso fue ayudado por la tendencia natural de las plantas de maíz a efectuar la polinización cruzada con otras plantas de maíz, con lo cual se entremezclan los genes y se produce una mayor variación, a partir de la cual se pueden seleccionar las plantas más convenientes. La diversidad genética natural del maíz en su zona de origen, combinada con la diversidad geográfica y étnica del sur de México, ha dado como resultado que los agricultores hayan desarrollado muchas "razas criollas", que son variedades autóctonas de maíz adaptadas

[2] El ADN transgénico en las razas criollas mexicanas de maíz http://cls.casa.colostate.edu/CultivosTransgenicos/ sp_maízepopupA.html.
[3] Monsanto, Safety Assessment of Bollgard II®Cotton Event 15985.

a zonas específicas. En consecuencia, se considera que el sur de México es un centro mundial de diversidad genética del maíz, un recurso en potencia para los fitomejoradores de maíz de todo el mundo[4].

A finales del año 2000, investigadores de la Unión Zapoteco-Chinanteca- (UZACHI) y de Berkeley, iniciaron un programa para detectar marcadores moleculares de transgenes en maíz nativo de la Sierra de Juárez, Oaxaca. Se encontró evidencia de la presencia de material transgénico en las variedades criollas y se ha discutido mucho acerca de los posibles efectos adversos de esta contaminación, que incluyen: la pérdida y el deterioro de los recursos genéticos, la homogeneización de cultivos, la transferencia de genes a parientes silvestres y la creación de nuevas arvenses (Ortiz, 2002). Para cada cultivo en cada zona o país, se requiere un estudio de caso que permita determinar la pertinencia o no de plantar la variedad transgénica.

Genes de inhibidores de amilasas para el control de insectos

Los inhibidores de α-amilasas son proteínas de defensa de las plantas que se acumulan en la fase media del desarrollo de la semilla, en el momento en que las proteínas de reserva se almacenan en los cuerpos proteicos o vacuolas proteicas. Las leguminosas almacenan estas proteínas en vacuolas especializadas, formadas durante la maduración de la semilla (Chrispeels, 1997). Dichas estructuras se forman durante la maduración de la semilla. Estas proteínas inhiben la actividad de gran variedad de α-amilasas presentes en los mamíferos e insectos, pero no la de las que se encuentran en las plantas, por lo que han sido consideradas como proteínas de defensa más que como proteínas del metabolismo de las plantas (Chrispeels, 1997).

Los inhibidores de α-amilasas se han encontrado en microorganismos, plantas y animales. Se ha determinado para un gran número de estos inhibidores, su secuencia de aminoácidos, su estructura, su mecanismo de acción y los genes que las codifican (Billeter *et al*., 1989; Vertesy y Tripier, 1985).

En las plantas, los inhibidores de α-amilasas son abundantes en cereales, leguminosas y otras semillas (Richardson, 1991). Generalmente, estos inhibidores tienen bajo peso molecular y algunos inhiben la actividad de α-amilasas tanto en insectos como en mamíferos, mientras que otros son más específicos (Gatehouse,1999). En los cereales, estos inhibidores están presentes principalmente en trigo (*Triticum aestivum*) (Franco *et al.,* 2000), cebada (*Hordeum vulgareum*) (Abe *et al.*, 1993), sorgo (*Sorghum bicolor*) (Bloch y Richardson, 1991), centeno (*Secale cereale*) (Iulek *et al.,* 2000) y arroz (*Oryza sativa*) (Yamagata *et al.,* 1998), pero también están presentes en leguminosas como guandúl (*Cajanus cajan*) (Giri y Cachole, 1998), caupí (*Vigna unguiculata*) (Melo *et al.,* 1999) y fríjol (*Phaseolus vulgaris*) (Grossi *et al.,* 1997).

El efecto de estos inhibidores sobre las α-amilasas de diferentes orígenes fue bien ilustrado por el trabajo de Ishimoto y Kitamura, en 1989, citados por Chrispeels (1997), quienes midieron la inhibición de éstas en el intestino de larvas del gorgojo de fríjol y de caupí, y encontraron menor inhibición de las amilasas en el gorgojo de fríjol que en el gorgojo de caupí, las cuales fueron altamente inhibidas. La formación del complejo inhibidor de α-amilasa con la amilasa tiene un pH óptimo de 5,5. Es por esta razón que la α-amilasa inhibe en el medio ácido del intestino de coleópteros, pero no en el alcalino de lepidópteros (Chrispeels, 1997).

La primera secuencia de cDNA clonada para un inhibidor de amilasas fue identificada en *Phaseolus vulgaris* y se le denominó "lectina del fríjol", por su gran similitud con la fito-hemaglutinina, típica de esta especie (Hoffman *et al.,* 1982). Actualmente esta proteína se denomina α-AI (Moreno y Chrispeels, 1989) y ha sido encontrada en accesiones silvestres de fríjol, como en especies emparentadas a éste como *P. acutifolius, P. coccineus* y *P. polyanthus* (Pueyo *et al.,* 1993). La incubación de un extracto de inhibidores amilásicos, obtenido de semillas de fríjol, con α-amilasas extraídas de páncreas porcino y tractos digestivos de las larvas de *Zabrotes subfasciatus* y *Callosobruchus chinensis,* dos especies de gorgojo que atacan a *P. vulgaris* y *Vigna sinensis*, respectivamente, mostraron que la inhibición de la actividad amilásica es diferencial. La α-amilasa menos inhibida fue la de *Z. subfasciatus*, que es la peor plaga del fríjol. Mientras que la α-amilasa de *Callosobruchus chinensis* fue inhibida en un 100% por el inhibidor α-AI del fríjol, y este gorgojo no ataca las semillas de fríjol (Ishimoto y Kitamura, 1989). Estos experimentos llevaron a la conclusión de que el α-AI del fríjol era el principal factor de resistencia de esta leguminosa al gorgojo de *Vigna sinensis.*

[4] http://www.greenfacts.org/es/omg/2-cultivos-modificados-geneticamente/5-flujo-genes.htm.

La determinación de la especificidad de la inhibición es la etapa más importante en el descubrimiento de un inhibidor que pueda ser útil para la obtención de plantas transgénicas resistentes a insectos. En algunos casos, los inhibidores de amilasas actúan solamente contra α-amilasas de mamíferos o, por el contrario, solo contra α-amilasas de insectos. Este último caso, es el preferido para brindar una defensa altamente específica contra la plaga. De acuerdo con la clasificación propuesta por Richardson (1991), los inhibidores de α-amilasas se pueden agrupar por estructura terciaria, en seis clases: tipo lectina, tipo knotina, tipo cereal, tipo Kunitz, tipo purotionina y tipo taumatina (Tabla 15.1).

Tabla 15.1. Clasificación de los inhibidores de ∞-amilasas de acuerdo a su estructura y su actividad contra ∞-amilasas de mamíferos e insectos.

Clase	Origen	Tamaño (aminoácidos)	Actividad inhibitoria		
			Contra amilasas de insectos	Contra amilasas de mamíferos	Contra proteasas
Tipo Kunitz	Cebada, trigo, arroz	176-180	+	+	+
Tipo cereal	Cebada, trigo, mijo	124-160	+	+	+
Tipo lectina	Leguminosas	240-250	+	+	-
Tipo taumatina	Maíz	173-235	+	_	+
Tipo Knottin	Amaranto	32	+	_	_
Tipo γ- purotionina	Sorgo	47-48	+	_	_
Procariotico	Actinomicetes	75-120	+	+	_

Estas consideraciones junto con los datos bioquímicos, permiten determinar que algunos de estos inhibidores son candidatos más promisorios que otros. Por ejemplo, el inhibidor bifuncional α-amilasa/subtilisina aislado de los cereales, tiene una afinidad bioquímica por las enzimas vegetales, derivado de su papel en la regulación del metabolismo del almidón, y por lo tanto, no sería un candidato muy opcionado. Los inhibidores de α-amilasas, selectivos para las enzimas de insectos pero inactivos para las de mamíferos, provienen de cereales (Franco *et al.,* 2000), como es el caso del inhibidor de *Amaranthus hypocondriacus* (Chagolla-López *et al.* 1994) y el de maíz zeamatin (Schimoler-O'Rourke *et al.,* 2001).

Es también importante tener cuenta que las condiciones *in vivo* pueden modular la especificidad de la actividad amilásica. Por ejemplo, el pH ácido necesario para la inhibición de las amilasas es óptimo en los coleópteros, cuyos tractos digestivos son ácidos, que en los lepidópteros, donde el contenido del tracto intestinal es básico (La-Jolo *et al.,* 1991). La degradación de los inhibidores de α-amilasas por las proteinasas digestivas del insecto podrían explicar la baja eficiencia de algunos inhibidores contra insectos plagas (Ishimoto y Chrispeels, 1996).

Plantas transgénicas expresando genes de inhibidores de amilasas

La primera demostración práctica que involucra a los inhibidores de amilasas utilizó la proteína ∝-AI1, que inhibe específicamente las amilasas del gorgojo de la arveja, el gorgojo de la judía y el gorgojo del haba, que son plagas en Europa. En plantas de arveja modificadas genéticamente, se logró una resistencia completa contra estos gorgojos, para niveles de expresión del inhibidor de amilasas entre 0,8 y 1,0%, con una mortalidad larval completa de los primeros o segundos ínstares (Shade *et al.*, 1994; Schroeder *et al*., 1995). Estas observaciones también se realizaron en el campo (Morton *et al.*, 2000). De manera similar, las plantas de haba que expresaban el inhibidor de amilasas ∝-AI1, fueron totalmente resistentes al gorgojo del haba (Ishimoto *et al*., 1996). El inhibidor de amilasa ∝-AI2, es menos eficaz en inhibir la α-amilasa del gorgojo de la arveja, por lo que este inhibidor fue parcialmente eficaz en proteger en el campo, a plantas transgénicas de arveja contra el gorgojo de la arveja (Morton *et al*., 2000). Sin embargo, las pruebas de alimentación realizadas con dietas artificiales que contenían los extractos proteicos de esta arveja transgénica expresando el inhibidor ∝-AI2, demostraron una eficacia completa contra el gorgojo

Z. subfasciatus (Grossi de Sá, O. L. Franco, F. R. Melo y C. P.Magalhaes, resultados inéditos). En una etapa temprana del desarrollo, los inhibidores de amilasas del trigo también demostraron funcionar activamente contra enzimas hidrolíticas del tracto digestivo de las larvas de varias especies de gorgojos de semilla y prometen ser moléculas candidatas para el control de plagas (Kashlan y Richardson,1981; Okuda *et al.*, 1997; García-Maroto *et al.,* 1991).

Los inhibidores de amilasas contra la broca del café

Experimentos realizados en Cenicafé, han demostrado que los inhibidores de las ∝-amilasas provenientes de dos variedades de fríjol (*P. vulgaris*, variedades greensleves y radical), son proteínas que bloquean la actividad de las amilasas digestivas de *Hypothenemus hampei*, y son los genes de estas proteínas candidatos promisorios para ser introducidos al café por transformación genética, para conferir a las plantas resistencia a la broca (Figura 15.1) (Valencia *et al.,* 2000).

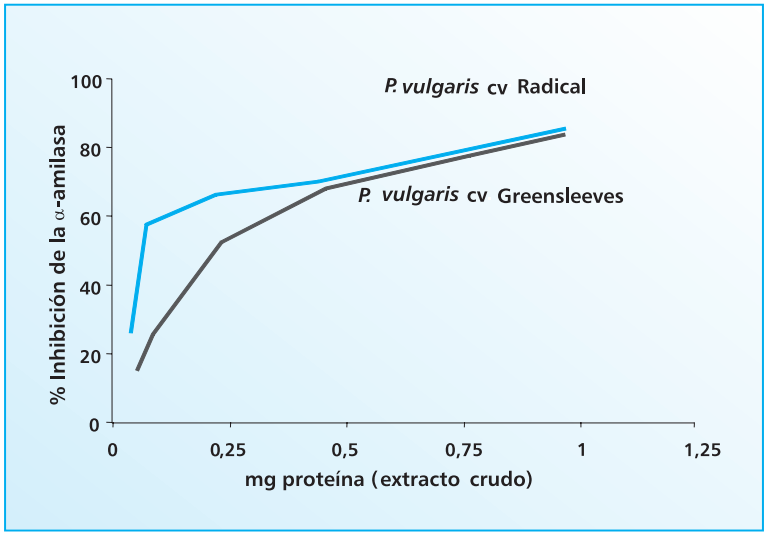


Figura 15.1. Inhibición *in vitro* de extractos proteicos crudos de dos variedades de *Phaseolus vulgaris*, con inhibidores de α-amilasa, sobre la actividad enzimática de la α-amilasa de la broca del café (Tomado de Valencia *et al*., 2000)

Bioensayos realizados en el laboratorio con dietas artificiales que contenían alrededor de 5% del inhibidor de amilasa del fríjol, produjeron una mortalidad de 60% en larvas de la broca (Cenicafé, 2003). El gen del inhibidor de ∝-amilasa se aisló a partir del genoma del fríjol (*P. vulgaris*, var. radical) y fue transferido por transgénesis a plantas de *Nicotiana benthamiana*, donde se expresó bajo el control de dos promotores de expresión genética. El gen se introdujo en un vector de transformación, bajo el control de expresión de un promotor específico del endospermo del café, y está disponible para su uso en experimentos de transformación genética del café (Cenicafé, 2004).

Recientemente, se aisló el gen del inhibidor de amilasas de *Phaseolus coccineus*, y se introdujo en plantas de tabaco (*N. tabacum* var. Xanthi). El inhibidor de amilasas aislado de las plantas transgénicas de tabaco produjo una inhibición de 65% de las amilasas de la broca del café (Pereira *et al*., 2006).

Consideraciones con respecto al uso de inhibidores de ∝ amilasas

Una de los cuestionamientos con respecto al uso de α-amilasas, es la habilidad que muestran algunos insectos de degradarlos. Otro aspecto, es el hecho de que estas proteínas pueden también inhibir α-amilasas del tracto digestivo de mamíferos e interfirir con los procesos nutricionales (Pusztai *et al.,* 1991). La presencia de estas proteínas es la razón principal del porque las semillas de leguminosas son cocinadas o tostadas antes de consumirlas. Una vez denaturadas las proteínas, éstas pierden su capacidad antinutricional (Layer *et al.,* 1985). Sin embargo, para evitar problemas de percepción pública es necesario encontrar α amilasas que inhiban los insectos blanco, sin tener efecto en amilasas de mamíferos (Chrispeels, 1997).

Genes de lectinas para el control de insectos

Las lectinas son proteínas de origen no inmune, que se unen a carbohidratos y que tienen la capacidad de aglutinar las células y unirse a los glicanos de las glicoproteínas, glicolípidos o polisacáridos (Goldstein *et al.,* 1980). Las lectinas han sido aisladas de varios tejidos de plantas, y son las semillas las fuentes más ricas de estas lectinas. La familia de las leguminosas son las plantas que presentan los más altos contenidos de lectinas. Las lectinas están involucradas en los mecanismos de defensa de las plantas, en el reconocimiento celular y en las funciones enzimáticas catabólicas en las plantas (Czapla, 1997).

El modo de acción de las lectinas y su efecto tóxico sobre los insectos no está completamente dilucidado (Czapla, 1997). Este se relaciona con la unión específica de las lectinas a glicoconjugados localizados en el intestino medio de los insectos; existen diferentes interacciones que pueden estar ocurriendo: 1) Unión de la lectina a la matriz de quitina de la membrana peritrófica; 2) Unión a los glicoconjugados en la membrana peritrófica; 3) Unión a los glicoconjugados expuestos en la superficie de las células epiteliales del intestino medio; 4) Unión a los glicosilados de las enzimas digestivas; y 5) Unión a las proteínas glicosiladas presentes en las plantas huésped. Otros trabajos han permitido determinar que el efecto se puede deber a la acción combinada de varios de estos mecanismos; en el caso de larvas de la mosca *Lucilia cuprina* (Wied.) (Diptera: Calliphoridae) que crecían en presencia de lectina del germén del trigo, se observaron efectos en el crecimiento y alta mortalidad de la población, causada por unión de la lectina a la membrana peritrófica, ocasionando una reducción de la permeabilidad de ésta. Además, se redujo la ingestión de alimento y las lectinas también se unieron a la membrana peritrófica del intestino medio de las larvas y de las células epiteliales, aunque no se observó el daño de éstas (Eisemann *et al.,* 1994).

Diferentes lectinas han sido evaluadas en dietas artificiales contra insectos y han mostrado actividad contra diferentes insectos considerados plagas agrícolas. Algunos de los genes que codifican estas lectinas se han clonado. En las primeras plantas de tabaco transformadas con una lectina de arveja, se observó una reducción en el peso y el desarrollo del gusano del tabaco, *Heliothis virescens* (Hepher *et al.,* 1989). Plantas de tabaco transformadas con una lectina de *Galanthus nivalis* (GNA) causaron una disminución de la sobrevivencia del pulgón verde, *Myzus persicae* (Hilder. *et al.,* 1995). Cuando la misma lectina se transfirió a papa, las plantas causaron un retardo en el desarrollo de larvas de la polilla del tomate (*Lacanobia oleacea*) (Fitches *et al.,* 1997; Gatehouse *et al.,* 1997). Las mismas plantas de papa se evaluaron contra *M. persicae*, y en este caso afectaron la fecundidad y la sobrevivencia de este insecto (Gatehouse *et al.,* 1996). De igual forma, cuando se transformaron plantas de arroz con esta GNA, se observaron efectos sobre el saltamontes del arroz (*Nilaparvata lugens*; BPH), consistentes en la disminución de la supervivencia, la fecundidad y el retardo en el desarrollo, y es el GNA el primer gen en mostrar un efecto contra un insecto chupador (Rao *et al.,* 1998). En 1998 y 1999, plantas de caña de azúcar transformadas con la misma lectina GNA, se evaluaron por su resistencia contra *Eoreuma loftini* y *Diatrea saccharalis*, estas plantas mostraron menores porcentajes de entrenudos afectados, comparados con plantas no transformadas (Legaspi *et al.,* 2004).

Lectinas provenientes de trigo (*Triticum sativum*), conocidas como aglutininas del germen de trigo o WGA, por sus siglas en inglés, también se han utilizado para transformar plantas. Estas lectinas fueron introducidas primero en callos de maíz dulce negro mexicano (BMS). Estas líneas de callos al ser fuente de alimento, causaron una reducción en el crecimiento de las larvas del taladrador del maíz, *Ostrinia nubilalis* (Cavalieri *et al.,* 1995). En las plantas transgénicas regeneradas a partir de estos callos, se observó menor daño en las hojas causado por este insecto y reducción en el número de larvas presentes en las plantas (Czapla y Lang, 1990).

Las mayores inquietudes con respecto al uso de lectinas se relacionan con sus propiedades antinutricionales, cuando se ingieren como fuente alimenticia de animales superiores, incluyendo humanos y sus posibles impactos en insectos que no son plagas (Belzunces *et al.,* 1994).

Las lectinas provenientes de fríjol (PHA) y soya tienen efectos tóxicos nutricionales para la gran mayoría de animales, así como las lectinas WGA, han mostrado un efecto detrimental en ratas cuando son ingeridas (Pusztai *et al.,* 1993; Santiago *et al.,* 1993). Para que los factores de resistencia sean efectivos en las plantas, éstos deben expresarse en relativamente altas cantidades y los efectos antinutritivos de las lectinas pueden

llegar a ser asunto de seguridad alimentaria, ya sea que se expresen en semillas o en otras partes de la planta.

Genes de inhibidores de proteinasas para el control de insectos

Las proteinasas son enzimas proteolíticas que están típicamente clasificadas en cuatro grupos: serine proteinasas, cistein proteinasas, aspartil proteinasas y metalo proteinasas (Reeck *et al.,* 1997). Varios tipos de proteinasas digestivas de los insectos, encargadas de los procesos de nutrición, hacen parte de este grupo de proteínas y se encuentran presentes en el intestino medio de éstos (Terra y Ferreira, 1994). En el intestino medio con pH alcalino, de los insectos lepidópteros, se han encontrado proteinasas tipo tripsina, chimotripsinas y elastasas, que hacen parte de las serin proteinasas (Rymerson y Bodnaryk, 1995). Los coleópteros, con pH en el intestino desde ácido hasta muy alcalino, presentan proteinasas tipo cisteínas (Murdock *et al.,* 1987). Los inhibidores de proteinasas (IPs) son proteínas que reducen la actividad proteolítica de estas enzimas digestivas.

Los IPs interactúan con su proteasa blanco uniéndose al sitio activo catalítico de la proteasa, lo que resulta en un complejo inhibidor de proteasa estable e incapaz de mostrar actividad enzimática (Norton, 1991). Además, éstas son proteínas naturales presentes en las plantas, que tienen el potencial de protegerlas contra los insectos herbívoros. Los IPs reducen la actividad enzimática proteolítica en condiciones *in vitro*, de un gran número de especies de insectos. Cuando estos inhibidores de proteinasas son incorporados en dietas artificiales de algunas especies de insectos, luego de la ingestión de estos inhibidores, su crecimiento se ve reducido significativamente (Broadway, 1986).

Los primeros trabajos con inhibidores de proteinasas para producir plantas transgénicas resistentes a insectos fueron desarrollados por Hilder *et al.* (1987), quienes transformaron tabaco con un gen que codifica un inhibidor de tripsina de la familia de proteínas Bowman-Birk de caupí, la expresión de esta proteína causó efectos negativos en *H. virescens*. Las mismas plantas causaron incrementos de mortalidad en el gusano del maíz, *Heliothis zea*. Johnson *et al*. (1989) transformaron tabaco con un gen de un inhibidor de proteinasa I/II, presente tanto en papa como en tomate, y observaron una reducción en la tasa de crecimiento de *Manduca sexta*.

Transformaciones de tomate con un gen de prosistemina antisense, el cual favorece la expresión de los inhibidores de proteinasas, mostraron que las IPs están involucradas en los mecanismos de defensa contra insectos. Las plantas transgénicas que mostraron expresión del gen, ocasionaron efectos negativos sobre el crecimiento de *M. sexta*, mientras que en plantas transformadas que no expresaban las proteínas permitieron el crecimiento normal de los insectos (Orozco-Cárdenas *et al.,* 1993). También se reporta la transformación de tabaco con un inhibidor serine proteinasa aislado de repollo, estas plantas transformadas mostraron efectos sobre el crecimiento y desarrollo de *Heliothis virescens* (Pulliam *et al.,* 2001). Además, plantas de tabaco transformadas con un inhibidor de papa tipo II, que inhibe la chimotripsina afectaron la tasa de crecimiento de larvas de *Chrysodeixis eriosma*, sin embargo, estas mismas plantas no tuvieron efectos sobre *Spodoptera litura* ni sobre sobre *Thysanoplusia orichalcea* (McManus *et al.,* 1994). Este trabajo muestra la importancia del conocimiento del sitio de acción de los factores de resistencia sobre los insectos plaga. Los factores de resistencia actuarán de diferentes formas dependiendo de las características fisiológicas de los insectos.

A finales de los noventa, plantas diferentes a tabaco fueron transformadas con IPs, es así como se registra la transformación de alfalfa (Thomas *et al.,* 1994), alamos (Klopfensteins *et al.,* 1997), arroz (Duan *et al.,* 1996) y *Arabidopsis* (Santos *et al.,* 1997). Todas estas plantas mostraron diferentes grados de resistencia contra insectos. Además, un IP aislado del insecto *M. sexta* se empleó para transformar tabaco (Thomas *et al.,* 1995 a) y algodón (Thomas *et al.,* 1995 b) y reducir la fecundidad de la mosca blanca, *Bemisia tabaci*. Reeck *et al.* (1997) resumieron la investigación en plantas transgénicas expresando IPs, y concluyeron que un IP individual no puede ser utilizado universalmente como un inhibidor de crecimiento de insectos, o factor de resistencia. La estrategia debe ser seleccionar con base en pruebas *in vitro* y bioensayos, para cada insecto que sea plaga, el tipo de IP que puede inhibir sus funciones digestivas.

Finalmente, la habilidad en algunas especies de insectos para adaptarse fisiológicamente a la presencia de inhibidores de proteinasas incorporados en sus dietas (Broadway, 1995), indica que los IPs pueden solamente imponer un factor de estrés en los insectos. En este caso, los IP deben ser utilizados en combinación con los productos de otros transgenes que tengan un diferente mecanismo de acción sobre los insectos, para de esta forma obtener un control exitoso sobre los insectos. A conclusiones similares llegaron Fan y Wu (2005) en un artículo de revisión del tema, en el que indican que ya que el intestino medio de los insectos tiene cerca de 1.020 proteasas diferentes (Bown *et al.,* 1997), las cuales son reguladas diferencialmente, y debido a que no todas ellas pueden ser inhibidas por IPs de las plantas (Broadway, 1997), para alcanzar una estrategia efectiva del control de plagas es importante lograr la expresión orquestada de diferentes inhibidores en una forma organizada.

Genes de quitinasas para el control de insectos

La quitina es un polímero linear insoluble formado por unidades de *N*-acetil-ß-D glucosamida, es un componente estructural presente en la cutícula de artrópodos y en el caparazón de moluscos, en la pared celular de hongos, algunas algas y en algunos estados de nematodos (Brydon *et al.,* 1989; Elango *et al.,* 1982). La quitina es el principal componente de la cutícula de los insectos, la cual forma parte del exoesqueleto del insecto y al menos, parcialmente, cubre sus órganos internos, incluyendo el tracto digestivo, el cual está dividido en tres partes: intestino anterior, medio y posterior. En el intestino anterior y el intestino posterior, la quitina se encuentra en una capa cuticular continua, mientras que en el intestino medio, está presente en las membranas peritróficas; estas membranas se componen de una malla de microfibrillas de quitina donde está embebida una matriz de glicoproteínas, proteoglicanos y proteínas (Peters, 1992). A diferencia de la cutícula que recubre el intestino anterior y posterior, la membrana peritrófica se secreta continuamente, a partir de todas las células epiteliales del intestino medio (membrana tipo 1) o a partir de un anillo especializado de células localizado en la parte anterior del intestino medio (membrana tipo 2). Las funciones de la membrana peritrófica son: proteger a las células epiteliales de la abrasión causada por partículas del alimento, prevenir la entrada de microorganismos patógenos que se hayan ingerido, y ultrafiltrar ciertos aleloquímicos (Abedi y Brown, 1961; Brandt *et al.,* 1978; Sudha y Muthu, 1988; Sieber *et al.,* 1991; Barbehenn y Martin, 1992). Además, se cree que la membrana peritrófica forma compartimientos en el intestino medio para que las enzimas digestivas sean más eficientes en la digestión (Terra y Ferreira, 1981; Eguchi *et al.,* 1982; Miller y Lehane, 1990; Zhu *et al.,* 1991; Peters, 1992).

Las enzimas quitinolíticas o quitinasas catalizan la hidrólisis de la quitina en el enlace C1-C4 entre dos unidades de *N*-acetilglucosamina (Bielka *et al.,* 1984; Sahai y Manocha, 1993). Hay tres tipos de enzimas quitinolíticas: (I) *N*-acetil-ß-d-glucosaminidasa (EC 3.2.1.30), la cual cliva unidades monoméricas de la región terminal de la quitina; (II) 1,4-ß-d-quitobiosidasa (EC 3.2.1.14), también conocida como exoquitinasa (Sahai y Manocha, 1993), la cual cliva unidades diméricas de la región terminal de la quitina; y (III) endoquitinasas (EC 3.2.1.14) (Bielka *et al.,* 1984), las cuales clivan al azar la molécula de quitina internamente (Sahai y Manocha, 1993). Los tres tipos de enzimas quitinolíticas son sintetizados por los organismos que contienen quitina, tales como insectos, crustáceos, levaduras y hongos (Chen, 1987), así como por organismos que no contienen quitina, tales como bacterias, plantas superiores, peces y humanos (Benmouna *et al.,* 1986; Grisley y Boyle 1990; Collinge *et al.* 1993; Hollak *et al.* 1994).

Las enzimas quitinolíticas son esenciales en artrópodos (Chen, 1987), hongos (Flach *et al.,* 1992; Gooday, 1986; Sahai y Manocha, 1993) y nematodos (Gooday *et al.,* 1988), ya que éstas regulan la presencia de la quitina durante el crecimiento, el desarrollo y la diferenciación de estos organismos. En artrópodos, las enzimas quitinolíticas están implicadas en los procesos de metamorfosis y digestión. Durante la metamorfosis, los insectos degradan y resintetizan nueva cutícula. Este proceso es mediado por la presencia de estas enzimas en el líquido que se acumula en el espacio entre la cutícula y la epidermis. Los productos de la hidrólisis se reciclan para la síntesis de la nueva cutícula. En hongos, las enzimas quitinolíticas ayudan a degradar y a movilizar la materia orgánica e interfieren con el crecimiento de otros hongos. En levaduras, estas enzimas son importantes para la separación de las células (Kuranda y Robbins, 1991).

En el caso de las enzimas quitinolíticas aisladas de organismos que no contienen quitina, las enzimas quitinolíticas están implicadas en la adquisición de nutrientes (Benmouna *et al.,* 1986; Grisley, 1993, Grisley

y Boyle, 1990; Overbye *et al.,* 1993), y en los seres humanos, estas enzimas se encuentran en los macrófagos, y pueden desempeñar un papel defensivo contra hongos y nematodos (Hollak *et al.,* 1994).

En plantas, las enzimas quitinolíticas también juegan un papel defensivo, actuando como agentes de defensa contra hongos patogénicos según se puede corroborar por: 1) La inducción coordinada de estas enzimas en la respuesta a la invasión de los patógenos (Roby y Esquerre-Tugaye, 1987); 2) El hecho de que estas enzimas sean potentes inhibidores de la germinación de esporas y del crecimiento *in vitro* de micelio de hongos fitopatógenos y que puedan hidrolizar las paredes celulares de los hongos (Broekaert *et al.,* 1988; Mauch *et al.,* 1988; Roberts y Selitrennikoff, 1988; Schlumbaum *et al.,* 1986); 3) Los niveles más altos de actividad quitinolítica se observan en los cultivares resistentes, comparados con los cultivares susceptibles (Hughes y Dickerson, 1991; Vogelsang y Barz, 1990); y 4) Numerosos genes que codifican quitinasas, aislados de plantas y microorganismos, han sido clonados e introducidos en plantas, dando como resultado un incremento en la resistencia de estas plantas a hongos patógenos (Schickler y Chet, 1997).

La cutícula es el sitio de acción de las enzimas quitinolíticas. Las enzimas quitinolíticas y proteolíticas, producidas por hongos entomopatógenos tales como *Metarhizum anisopliae* y *Beauveria bassiana*, están implicadas en el proceso de la penetración de la cutícula del exoesqueleto de los insectos (Tanada y Kaya, 1993). Se ha demostrado que la efectividad de los entomopatógenos se puede incrementar por la suplementación con enzimas quitinolíticas exógenas, provenientes de bacterias u hongos (El-Sayed *et al.,* 1989; Gunner *et al.,* 1985; Sampsom y Gooday, 1998). El nematodo *Bruglia malayi* también utiliza una quitinasa para romper la membrana peritrófica y así ganar la entrada al interior de su mosquito hospedero (Huber *et al.,* 1991). Quitinasas de *Streptomyces griseus* adicionadas a la sangre, fuente de alimento del mosquito *Anopheles freeborni,* pueden evitar la formación de la membrana peritrófica en éste (Shahabuddin y Kaslow, 1993; Shahabuddin *et al.,* 1993). Además, una endoquitinasa de la bacteria *Serratia marcescens*, producida como proteína recombinante en *Escherichia coli*, causó la perforación de la membrana peritrófica de larvas de *Spodoptera littoralis*, en condiciones *in vitro* (Regev *et al.,* 1996).

La degradación de la quitina del intestino anterior y/o posterior puede influir en la adquisición del alimento, la retención del agua y/o la excreción. Además, la membrana peritrófica funciona como una barrera mecánica y física. Por lo tanto, la degradación de la membrana o la interferencia en su formación, disminuirá la protección del epitelio del intestino medio contra la abrasión por las partículas del alimento (Sudha y Muthu, 1988), protección contra la invasión por los patógenos (Brandt *et al.,* 1978; Sieber *et al.,* 1991), y/o protección contra los compuestos tóxicos potenciales (como taninos o DDT) (Abedi y Brown, 1961; Barbehenn y Martin; 1992), y finalmente, influirá en la permeabilidad selectiva de la membrana peritrófica y afectará el proceso de la digestión (Eguchi *et al.,* 1982; Molinero y Lehane, 1990; Peters, 1992; Peters y Wiese, 1986; Zhu *et al.,* 1991). En general, la destrucción de la membrana peritrófica afectará la supervivencia de los insectos.

Sin embargo, el papel de las enzimas quitinolíticas en la resistencia de la planta contra insectos es poco entendida (Broadway *et al.,* 1998; Kramer *et al.,* 1997b). Los insectos herbívoros ingieren regularmente enzimas quitinolíticas presentes en los tejidos de las plantas; así las zonas anterior, posterior y media del tracto digestivo se exponen a estas enzimas después de la disrupción de la célula de la planta. No hay indicación de que las enzimas quitinolíticas presentes en plantas tengan un efecto *in situ* perjudicial contra el herbívoro. Kramer *et al.* (1997b) afirman que aunque los granos de cereal tienen niveles sustanciales de quitinasas (10-100 μg/g), los granos almacenados son susceptibles al ataque de los insectos, lo que sugiere que los insectos que sobreviven en productos almacenados han desarrollado la capacidad de superar los efectos de estas quitinasas. El mismo grupo encontró que plantas de arroz transgénico que expresaban altos niveles de quitinasas (0,05% proteínas totales) no mostraban ningún efecto deletereo en el crecimiento del gusano cogollero del maíz, *S. frugiperda* (Kramer *et al*., 1997b).

Es posible que las enzimas quitinolíticas de la planta no puedan tener actividad biológica contra insectos herbívoros, debido a los requerimientos de pH ácido de estas enzimas para ser activas (Broadway *et al.,* 1998). Los insectos herbívoros, en general, tienen intestinos alcalinos (Berenbaum, 1980; Gringorten *et al.,* 1993; Mishra y Sen-Sarma, 1987), o muestran un rango de pH diferente a lo largo de sus intestinos y, por lo tanto, las enzimas quitinolíticas de las plantas no tienen probablemente actividad dentro del intestino de

éstos. La gran mayoría de quitinasas de hongos y bacterias también muestran actividad enzimática óptima en un ambiente ácido. Las quitinasas bacterianas que actúan en ambientes ácidos, fueron inefectivas en ensayos en los cuales los insectos fueron alimentados con dietas artificiales que contenían estas enzimas. *Nilaparva lugens* no mostró ningún efecto al ingerir quitinasas de la bacteria *Streptomyces griseus* (Powell *et al.,* 1993). Las quitinasas de *Serratia* a niveles de 1-2%, en la dieta del escarabajo *Orizaephilus mercatmeor*, no tuvieron ningún efecto sobre el insecto (Kramer *et al.,* 1997b). Los estudios realizados por Gatehouse *et al.* (1996, 1997), mostraron que una enzima quitinolítica aislada de la haba (BCH) expresada en plantas de papa, no afecta el áfido *Myzus persicae* ni el lepidóptero *Lacanobia oleracea*.

Sin embargo, algunos parásitos y bacterias secretan enzimas quitinolíticas que funcionan en un ambiente alcalino. Broadway *et al.* (1995) aislaron una cepa de la bacteria *Streptomyces albidoflavus*, la cual secreta las enzimas endoquitinasa y quitobiosidasa, que son activas en un amplio rango de pH (4-10). Con el propósito de demostrar que estas enzimas podían ser activas y causar efectos adversos en el tracto digestivo de los insectos, incorporaron en dietas artificiales una mezcla de estas enzimas que contenían tres endoquitinasas, dos quitobiosidasas y una glucosaminidasa, en las que la actividad óptima de las tres enzimas ocurrió a pH 4-6, pero en el 55-74% de las quitobiosidasas y endoquitinasas la actividad se detectó a pH 8-10. La ingestión de esta mezcla de enzimas quitinolíticas en dietas artificiales, sobre el falso medidor, *Trichoplusia ni,* redujo su crecimiento y desarrollo. Cuando se evaluaron en dietas artificiales sobre la broca del café, *Hypothenemus hampei*, el pulgón verde de la papa, *Myzus persicae*, y la mosca blanca, *Bemisia argentifolii,* causaron una reducción en el porcentaje de supervivencia de estos insectos. Por otra parte, los insectos también poseen enzimas quitinolíticas que funcionan en un ambiente alcalino (Koga *et al.,* 1989, 1992). Las características químicas, físicas y cinéticas de estas enzimas se han determinado y muestran actividad en rangos de pH de 4-8 (Kramer y Muthukrishnan, 1997a), aunque exhiben actividad máxima a pH 6 (Koga *et al.,* 1983). Estas enzimas tienen efectos biológicos negativos en los insectos (Ding *et al.,* 1998).

Plantas transgénicas expresando enzimas quitinolíticas

Góngora (1999) y Góngora *et al.* (2001) clonaron dos enzimas de *Streptomyces albidoflavus* (una endoquitinasa y una quitobiosidasa) y transformaron plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum*) con estos genes, con el propósito de determinar si las enzimas quitinolíticas con actividad a pH alcalino, aisladas de *S. albidoflavus*, podían actuar como factores de resistencia en plantas transgénicas e interactuar con la quitina del intestino de los insectos. Estas plantas fueron evaluadas por su efecto sobre el crecimiento y el desarrollo larval del *Trichoplusia ni*. Las plantas transgénicas de tomate, expresando estas enzimas, mostraron incremento en su resistencia a las larvas de *T. ni*, reduciendo consistentemente la tasa de crecimiento del insecto. Además, se observó un incremento en la mortalidad en dos de tres pruebas, en las que los insectos se alimentaron de hojas de plantas transgénicas. Los resultados de este estudio fueron similares a los encontrados en los trabajos previos sobre las dietas artificiales que contenían las enzimas. Además, el efecto de las plantas transgénicas no solamente se observó en insectos de primer ínstar, sino que también estas plantas causaron mortalidad y disminuyeron el peso de los insectos cuando la exposición comenzó durante el tercer ínstar. Los resultados de este estudio soportan la hipótesis de que la ingestión de enzimas quitinolíticas de *S. albidoflavus* altera la quitina de la membrana peritrófica, ya que se determinó que los poros de las membranas peritróficas de los insectos que consumían plantas transgénicas tenían el diámetro un 50% mayor que los poros en los insectos que se alimentaban de plantas no transgénicas, con el respectivo incremento de la permeabilidad de la membrana. Un aumento en el tamaño de los poros en la membrana peritrófica puede hacer de ésta una barrera menos eficaz, aumentando la susceptibilidad de insectos a los patógenos y a los compuestos tóxicos (Brandt *et al*., 1978; Sieber *et al.,* 1991) y disminuyendo la eficacia del proceso digestivo.

De igual forma, una quitinasa del gusano cachón del tabaco, *Manduca sexta,* aislada del líquido de metamorfosis se clonó y usó para la transformación de plantas de tabaco (Ding *et al.,* 1998). En este caso, las plantas transgénicas mostraron resistencia al gusano del algodón, *H. virescens,* constatado por la reducción del crecimiento larval y en el daño en las plantas. Sin embargo, no se observó ningún efecto sobre *M. sexta*. Aunque los autores concluyeron que la concentración de enzimas quitinolíticas era posiblemente demasiado baja para afectar a *M. sexta*, es posible que este insecto tenga un mecanismo para regular sus propias enzimas quitinolíticas. Cuando las plantas transgénicas estuvieron cubiertas con concentraciones

subletales del *B. thuringiensis*, en ambas especies de insectos (*H. virescens y M. sexta*), se observó una reducción en el peso larval y en el daño foliar en las plantas transgénicas. Las plantas que expresen quitinasas de insectos pueden tener potencial agronómico para el control de éstos, y el uso de las quitinasas de insectos, solas o en conjunto con otros genes o controladores biológicos, puede realzar el efecto de los biocontroladores. Sin embargo, los insectos también tienen mecanismos para regular y/o para inhibir la actividad de sus propias enzimas. Genes que codifiquen quitinasas que sean activas en un amplio rango de pH deben ser estudiadas en mayor detalle. Estas proteínas tienen el potencial para ser factores de resistencia en plantas contra insectos, ya que causan alteraciones de la permeabilidad de la membrana peritrófica en los insectos herbívoros, ocasionando su muerte y ayudando en su control, además pueden potenciar el efecto de controladores biológicos. Los organismos vertebrados, por no poseer quitina, no tienen un sitio sobre el cual puedan actuar las quitinasas, por lo tanto, éstas se consideran seguras con respecto a la salud humana.

Café transgénico resistente a insectos

La producción de variedades de café resistentes a plagas es el objetivo de varios programas de mejoramiento genético del café. Las principales plagas que atacan el cultivo del café son la broca del café, *H. hampei*, y el minador de la hoja, *Leucoptera coffeellum*. Los genes que codifican las proteínas CryIa(c), CryIB y CryIE de *B. thuringiensis* (Bt), han demostrado su toxicidad hacia el minador de la hoja, por lo que estos genes heterólogos podrían servir como fuente de resistencia a esta plaga (Guerreiro-Filho *et al.,* 1998). En plantas transgénicas de *Coffea canephora* se introdujo el gen *cry1Ac* y se logró demostrar la presencia de plantas cultivadas en el invernadero y en los campos experimentales de Guyana Francesa, altamente resistentes al minador de la hoja. Las plantas transformadas incorporaron el promotor constitutivo pEF1α, de *Arabidopsis thaliana*, para modular la expresión del gen nativo *cry1Ac* de *B. thurigiensis* (8 clones) y una versión sintética del gen Cry1Ac (53 clones) (Leroy *et al.,* 2000). La evaluación agronómica de este estudio se realizó a partir de 54 eventos diferentes de transformación y durante cuatro años de cultivo de las plantas en el campo. El 70% de las plantas transgénicas mostraron ser resistentes, con características agronómicas iguales a las plantas testigo (Perthuis *et al.,* 2005). Desafortunadamente, el ensayo de campo fue sujeto de vandalismo y el experimento tuvo que ser suspendido (Montagnon, 2005).

Para el caso del control de la broca, el gen de un inhibidor de α-amilasas aislado de *Phaseolus vulgaris* ha sido considerado como candidato para ser introducido al genoma del café. Los bioensayos *in vitro* con este inhibidor han demostrado que esta proteína puede inhibir el crecimiento y el desarrollo de la broca (Barbosa *et al.,* 2004). Con este gen heterólogo se han transformado genéticamente plantas de *Coffea arabica*, pero aún no se han evaluado en condiciones de campo. De igual forma, el gen del inhibidor de α-amilasas aislado de *Phaseolus coccineus,* una vez transferido al genoma del tabaco por transformación genética mediada por *Agrobacterium tumefaciens*, codifica en la semilla una proteína que inhibe el 65% las α-amilasas digestivas de la broca, con lo que se confirmó el uso potencial de estos genes para el control genético de la broca del café (Pereira *et al.,* 2006).

Consideraciones finales

Una de las razones detrás del uso de plantas modificadas genéticamente para el control de los insectos es la falta de efectividad de otras medidas de control, tal es el caso de los insecticidas utilizados para el manejo de plagas limitantes en la producción de los cultivos. Además del daño al medio ambiente y a la salud que pueden causar estos insecticidas. Los cultivos transgénicos comercializados actualmente han mostrado ser efectivos en el control de las plagas, para las cuales se han desarrollado, y han mostrado ser seguros.

La información disponible ha permitido evaluar los impactos ambientales de los cultivos modificados, también ha demostrado que estos cultivos han producido beneficios ambientales y ecológicos comparados con otras tecnologías, a las cuales éstos han remplazado. Es un hecho que el cultivo de plantas modificadas con Bt ha ocasionado una disminución considerable en el uso de plaguicidas, lo cual conlleva a una menor contaminación ambiental, ahorros en energía, mayor producción y por ende, un favorecimiento de la sostenibilidad y la conservación.

Muchas de las críticas frente a los cultivos modificados se deben más a dudas acerca de la naturaleza cambiante de la agricultura que a temores relacionados con los cultivos (Beringer, 2000).

Aunque se sabe que los insectos también pueden desarrollar resistencia a las plantas transgénicas, el conocimiento de su modo de acción sobre los insectos, los monitoreos cercanos y continuos, y la toma de medidas para evitar el desarrollo de la resistencia, han permitido que estos cultivos sean efectivos contra sus insectos plagas. Una de las inquietudes con el uso de plantas transgénicas es el problema del flujo de genes y el entrecruzamiento entre las plantas modificadas y los cultivos silvestres o no modificados, y los posibles efectos de este flujo de genes en la flora local. Es importante anotar que éste es un hecho que se ha presentado en la naturaleza y se ha venido dando por siglos, mucho antes de la aparición de los cultivos transgénicos. El punto fundamental en este aspecto es tener un conocimiento acerca del cultivo, de tal forma que las áreas donde se está sembrando no pueden ser un centro de diversidad o exista la probabilidad de cruzamiento con las especies silvestres. Todo esto dependerá de si la resistencia a insectos confiere o no una ventaja al cultivo silvestre y si esa ventaja permitirá que las plantas no modificadas se conviertan en una arvense o una planta que pueda tener efectos negativos en el ambiente.

Aunque el público tiene preocupaciones reales y legítimas acerca del uso de estos cultivos, siguiendo las regulaciones gubernamentales y el método científico, por esta vía y utilizando proteínas diferentes a Bt y que tienen potencial para el control de insectos, se podrán desarrollar nuevos cultivos resistentes a insectos que resolverán los problemas de los agricultores y que presentarán menos riesgos para las comunidades y el medio ambiente.

Literatura citada

ABE, J. I.; SIDENIUS, U.; SVENSSON, B. 1993. Arginine is essential for the a-amylase inhibitory activity of the a-amylase/subtilisin inhibitor (BASI) from barley seeds. Biochem. J., 293: 151-155.

ABEDI, Z. H.; BROWN, A. W. A. 1961. Peritrophic membrane as a vehicle for DDT and DDE excretion in *Aedes aegypti* larvae. Ann. Entomol. Soc. Am., 54: 539-542.

ADANG, M. J.; DEBOER, D.; ENDRES, J.; FIROOZABADY, E.; KLEIN, J.; MERLO, A.; MERLO, D.; MURRAY, E. 1988. Manipulation of *Bacillus thuringiensis* genes for pest control. *In:* D. W. Roberts, R.; Granados, R., eds., Biotechnology, biological pesticides, and novel plant-pest resistance for insect pest management. Cornell University, Ithaca, *175 p.*

AGBIOS. 2006. *(*http://www.agbios.com/cstudies.php?ESA&ev=MON810&chapter =*IRM&lang=ES)*

AKHURST, R. J.; JAMES, W.; BIRD, L. J.; BEARD, C. 2000. Resistance to the Cry1Ac δ-Endotoxin of *Bacillus thuringiensis* in the Cotton Bollworm, *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). Journal of Economic Entomology, 96 (4): 1290–1299.

ÁLVAREZ-BUYLLA ROCES, E. 2005. Aspectos ecológicos, biológicos y de agrobiodiversidad de los impactos del maíz transgénico en alimentos transgénicos. UNAM-Siglo Veintiuno Editores, México.

ALVARADO, M.; ARANDA, E.; DURÁN, J. M.; JIMENÉZ, J. L.; MATEOS, J.; TORRENT, P. 1997. TRIANA algodón. Programa informático para el manejo integrado. Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía.

BARBEHENN, R. V.; MARTIN, M. M. 1992. The protective role of the peritrophic membrane in the tannin-tolerant larvae of *Orgyia leucostigma* (Lepidoptera). J. Insect Physiol., 38: 973-980.

BARBOSA, A.; PEREIRA, R.; BARROS, E.; DA SILVA, M; FIGUEIRA, E.; OLIVEIRA, O.; CHRISPEELS, M. J.; VALENCIA, A.; GROSSI de SA, M. F. 2004. Inhibidores de alpha_amylase e suas aplicacoes no control da broca_do_cafe (*Hypothenemus hampei*): *In*: Anais do Workshop Internacional de Manejo da Broca-do-café, 2004, Londrina-Paraná, p. 273-282.

BERINGER, J. 2000. Releasing genetically modified organisms: will any harm outweigh any advantage?. J. Appl. Ecol., 37: 207–214.

BARTON, K. A.; WHITELY, H. R.; YANG, N. S. 1987. *Bacillus thuringiensis* delta-endotoxin expressed in transgenic *Nicotiana tabacum* provides resistance to lepidopteran insects. Plant Physiol., 85: 1103-1109.

BELZUNCES, L. P.; LENFANT, C. D. I.; PASQUALE, S.; COLIN, M. E. 1994. *In vivo* and *in vitro* effects of wheat germ agglutinin and bowman-birk soybean trypsin inhibitor, two potential transgene products, on midgut esterase and protease activities from *Apis mellifera*. Comparative biochemistry and physiology. Part B. Biochemistry & molecular biology, 109 (1): 63-69.

BENEDICT, J. H.; RING, D. R. 2004. Transgenic crops expressing Bt proteins: Current status, challenges and outlook. *In*: Koul O., Dhaliwal G. S., eds. Transgenic Crop Protection: Concepts and strategies. Oxford University Press and IBH Publishing Co, New Delhi, p. 15-84.

BENNETT, J.; COHEN, M. B.; KATIYAR, S. K.; GHAREYAZIE, B.; KUSH, G. S. 1997. Enhancing insect resistance in rice through biotechnology. *In:* Carozzi, N.; Koziel, M; Taylor y Francis, eds. Advances in insect control. The role of transgenic plants, p. 75-93.

BENMOUNA, H.; JASPAR-VERSALI, M. F.; TOUSSAINT, C.; JEUNIAUX, C. 1986. A comparative study of chitinase activity in digestive tract of *Serranum cabrilla* and *Serranus scriba.* Biochem. System. Ecol., 14: 435-437.

BERENBAUM, M. 1980. Adaptive significance of midgut pH in larval Lepidoptera. Amer. Natural. 115, 138-146.

BERNAL J. S.; GRISET, J. G, GILLOGLY, P. O. 2002. Impacts of developing on Bt maize-intoxicated hosts on fitness parameters of a stem borer parasitoid. Journal of Entomological Science, 37: 27-40.

BETZ, F. S.; HAMMOND, B. G.; FUCHS, R. L. 2000. Safety and Advantages of *Bacillus thuringiensis*- protected plants to control insect pests. Regulatory Toxicology and Pharmacology, 32: 156-173.

BEVAN, M. W.; FLAVELL, R. B.; CHILTON, M. 1983. A chimaeric antibiotic resistance gene as a selectable marker for plant cell transformation. Nature, 304: 184 – 187.

BIELKA, H.; DIXON, H. B. F.; KARLSON, P.; LIEBECQ, C.; SHARON, N.; VAN LENTEN, E. J.; VELICK, S. F.; VLIEGENTHART, J. F. G.; WEBB, E. C.; CORNISH-BROWN, A.; LOENING, K.; MOSS, G. P.; REEDIJK, J. 1984. Enzyme nomenclature. Ed. E. C. Webb. Academic Press, New York, 646 p.

BILLETER, M.; KLINE, A. D.; BRAUN, W.; HUBER, R.; WUTHRICH, K. 1989. Comparison of the high-resolution structures of the α-amylase inhibitor tendamistat determined by nuclear magnetic resonance in solution and by X-ray diffrection in single crystals. J. Mol. Biol., 206: 677-687.

BLOCH JR, C.; RICHARDSON, M. 1991. A new family of small (5 kD) protein inhibitors of insect a-amylase from seeds of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) have sequence homologies with wheat d-purothionins. FEBS Lett., 279: 101-104.

BOURGUET, D.; CHAUFAUX, J.; MICOUD, A.; DELOS, M.; NAIBO, B.; BOMBARDE, F.; MARQUE, G.; EYCHENNE, N.; PAGLIARI, C. 2002. *Ostrinia nubilalis* parasitism and the field abundance of non-target insects in transgenic *Bacillus thuringiensis* corn (*Zea mays*). Environ. Biosafety Res., 1: 49-60.

BOWN, D. P.; WILKINSON, H. S.; GATEHOUSE, J. A. 1997. Differentially regulated inhibitor-sensitive and insensitive protease genes from the phytophagous insect pest, *Helicoverpa armigera*, are members of complex multigene families. Insect Biochemistry and Molecular Biology, 27 (7): 625-638.

BRANDT, C. R.; ADANG, M. J.; SPENCE, K. D. 1978. The peritrophic membrane: Ultrastructural analysis and function as a mechanical barrier to microbial infection in *Orgyia pseudotsugata.* J. Invertebr. Pathol., 32: 12-24.

BRAVO, A.; SOBERON, M.; GILL, S. S. 2005. *Bacillus thuringiensis*: Mechanisms and use. *In:* Comprehensive molecular insect science. Vol. 6, Editors: Lawrence I. Gilbert. Kostas Iatrou. Sarjeet S. Gill. Elsevier Pergamon, p. 175-205.

BROADWAY, R. M.; DUFFEY, S. 1986. Plant proteinase inhibitors: mechanism of actionand effect on the growth and digestive physiology of larval *Heliothis zea* and *Spodoptera exigua*. J. Insect Physiol., 32: 827-833.

BROADWAY, R. M. 1995 Are insects resistant to plant proteinase inhibitors? Journal of Insect Physiology, 41: 107-116.

BROADWAY, R. M. 1997. Dietary regulation of serine proteinase that are resistant to serine proteinase inhibitors. J.Insect Physiol., 41: 855-874.

BROADWAY, R. M.; WILLIAMS, D. L.; KAIN, W. C.; HARMAN, G. E.; LORITO, M.; LABEDA, D. P. 1995. Partial characterization of chitinolytic enzymes from *Streptomyces albidoflavus*. J. Appl. Microbiol., 20: 271-276.

BROADWAY, M. R.; GONGORA, C.; KAIN, C. K.; SANDERSON, P. J.; MONROY, A. J.; BENNET, C. K.; WARNER, B. J.; HOFFMANN, P. M. 1998. Novel chitinolytic enzymes with biological activity against herviborous insects. J. Chem Ecol., 24: 985-998.

BROEKAERT, W. F.; VAN PARIJS, J.; ALLEN, A. K.; PEUMANS, W. J. 1988. Comparison of some molecular, enzymatic and antifungal properties of chitinases from thorn-apple, tobacco and wheat. Physiol. Molecu. Plant Pathol., 33: 319-331.

BRYDON, L.; GOODAY, G. W.; CHAPPELL, L. H.; KING, T. P. 1989. Chitin in egg shells of *Onchocerca gibsoni* and *Onchocerca volvulus*. Molec. Biochem. Parasitol., 25: 267-272.

CARPENTER, J. E.; GIANESSI, L. P. 2001. Agricultural biotechnology: updated benefit estimates.. National Center for Food and Agricultural Policy, Washington,D. C., p 1-56.

CAVALIERI, T.; CZAPLA, J.; HOWARD, G.; RAO, G. 1995. Larvicidal lectins and plant insect resistance based thereon. US Patent N 5407545.

CENICAFÉ. 2003. Búsqueda de nuevos genes de resistencia a la broca del café. Resumen del innforme anual de actividades. Cenicafé, Chinchiná, Colombia, noviembre de 2003, p. 91-92.

CENICAFÉ. 2004. Obtención de plantas transgénicas de tabaco (*Nicotiana benthamiana* expresando un gen del inhibidor de amilasas de *Phaseolus vulgaris*, var. radical. Resumen del informe anual de actividades. Cenicafé, Chinchiná, Colombia, noviembre 2004, p. 97-98.

CHAGOLLA-LÓPEZ, A.; BLANCO-LABRA, A.; PATTHY, A.; SÁNCHEZ, R.; PONGOR, S. 1994 A novel a-amylase inhibitor from Amaranth (*Amaranthus hypocondriacus*) seeds. J. Biol. Chem., 269: 23675-23680.

CHEN, A. C. 1987. Chitin metabolism. Arch. Insect Biochem. Physiol., 6: 267-277.

CHRISPEELS, M. J. 1997. Transfer of bruchid resistance from the common bean to other starchy grain legumes by genetic engineering with the α-amylase inhibitor gene. *In:* Advances in insect control: The role of transgenic plants. Carozzi N.; Koziel, M., eds., London, Taylor & Francis Publishers, p 139-156.

COLLINGE, D. B.; KRAGH, K. M.; MIKKELSEN, J. D.; NIELSEN, K. K.; RASMUSSEN, U.; VAD, K. 1993. Plant Chitinases. Plant Journal, 3: 31-40.

CRICKMORE, N.; ZEIGLER, D. R.; FEITELSON, J.; SCHNEPF, E.; VAN RIE, J.; LERECLUS D.; BAUM J.; DEAN, D. H.. 1998. Revision of the nomenclature for the *Bacillus thuringiensis* pesticidal crystal proteins. Microbiol. Mol. Biol. Rev., 62: 807-813.

CZAPLA, T. H. 1997. Plant lectins as insect control proteins in transgenic plants. *In:* Carozzi, N.; Koziel, M., eds. Advances in insect control. London: Taylor & Francis Publishers, chap. 8, p.123-138.

CZAPLA, T. H.; LANG, B. A. 1990. Effect of plant lectins on the larval development of european corn borer (Lepidoptera: Pyralidae) and southern corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae. J. Econ. Entomol., 83 (6): 2480-2485.

DING, X.; GOPALAKRISHNAN, B.; JHONSON, L. B.; WHITE, F. F.; WANG, X.; MORGAN, T. D.; KRAMER, K. J.; MUTHUKRISHNAN, S. 1998. Insect resistance of transgenic tobacco expressing an insect chitinase gene. Transgenic Research, 7: 77-84.

DUAN, X.; LI, X; XUE, Q.; ABO-EI-SAAD, M.; XU, D.; WU, R. 1996. Transgenic rice plants harboring an introduced potato proteinase inhibitor II gene are insect resistant. Nature Biotechnology, 14: 494-498.

DUCK, N.; EVOLA, S. 1997. Use of transgenes to increase host plant resistance to insects: opportunities and challenges. In Advances in insect control: The role of transgenic plants. Carozzi N.; Koziel, M., eds., London, Taylor & Francis Publishers, p. 1-18.

DUTTON, A.; ROMEIS, J.; BIGLER, F. 2005. Effects of Bt maíze expressing Cry1Ab and Bt spray on *Spodoptera littoralis*. Entomologia Experimentalis et Applicata, 114 (3): 161–169.

EGUCHI, M.; IWAMOTO, A.; YAMAUCHI, K. 1982. Interrelation of proteases from the midgut lumen, epithelia and peritrophic membrane of the silkworm, *Bombyx mori* L. Comp. Biochem. Physiol., 72A: 359-363.

EISEMANN, C. H. DONALDSON, R. A.; PEARSON, R. D.; CADOGAN, L. C.; VUOCOLO, T.; TELLAM, R. L. 1994. Larvicidal activity of lectins on *Lucilia cuprina*: mechanism of action. Entomologia Experimentalis et applicata, 72 (1): 1570-7458.

ELANGO, N., CORREA, J.; CABIB, E. 1982. Secretory character of yeast chitinase. J. Biol. Chem., 257: 1398-1400.

EL-SAYED, G. N.; COUDRON, T. A.; IGNOFFO, C. M.; RIBA, G. 1989. Chitinolytic activity and virulence associated with native and mutant isolates of an entomopathogenic fungus, *Nomuraea rileyi.* J. Invert. Pathol., 54: 394-403.

ENGLISH, L.; SLATIN, S. L. 1992. Mode of action of delta-endotoxins from *Bacillus thuringiensis:* A comparison with other bacterial toxins. J. Biochem. Molec. Biol., 22 (1): 1-7.

EPA Environmental Protection Agency. 1998. FIFRA Scientific Advisory Panel, Subpanel on *Bacillus thuringiensis* (Bt) plant-pesticides and resistance management, February 9 - 10, 1998 (OPP Docket No. 00231).

EPA. 2001. Registration action document for *Bacillus thuringiensis* plant-incorporated protectants. U.S. EPA, http: // www.epa.gov/pesticides/biopesticides/.

FAN, S. G.; WU, G. J. 2005. Characteristics of plant proteinase inhibitors and their applications in combating phytophagous insects phytophagous insects. Botanical Bulletin of Academia Sinica, 46: 273-292.

FAO. 2004. The state of food and agriculture 2003-2004. Agricultural meeting the needs of the poor? Section B. The evidence so far. Food and Agriculture Organization of the United National, Rome, http://www.fao.org/docrep.

FELTON, G. W.; DONATO, K. K.; BROADWAY, R. M.; DUFFEY, S. S. 1992. Impact of oxidized plant phenolics on the nutritional quality of dietary protein to a noctuid herbivore, *Spodoptera exigua.* J. Insect Physiol., 38: 277-285.

FERNÁNDEZ-CORNEJO, J.; McBRIDE, W. D. 2000. Genetically engineered crops for pest management in U.S. agriculture: Farm-level effects. U.S. Department of Agriculture. Agricultural Economic Report No. 786, p 1-16.

FISCHHOFF, D. A.; BOWDISH, K. S.; PERLAK, F. J.; MARRONE, P. G.; MCCORMICK, S. M.; NIEDERMEYER, J. G.; DEAN, D. A.; KUSANO-KRETZMER, K.; MAYER, E. J.; ROCHESTER, D. E.; ROGERS, S. G.; FRALEY, R. T. 1987. Insect tolerant transgenic tomato plants. Biotechnology, 5: 807-813.

FITCHES, E.; GATEHOUSE, A. M. R.; GATEHOUSE, J. A. 1997. Effects of snowdrop lectin (GNA) delivered via artificial diet and transgenic plants on the development of tomato moth (*Lacanobia oleracea*) larvae in the laboratory and glasshouse trial. Journal of Insect Physiology, 43: 727-739.

FLACH, J.; PILET, P. E.; JOLLES, P. 1992. What's new in chitinase research? Experientia, 48: 701-716.

FRALEY, R. T.; ROGERS, S. G.; HORSCH, R. B.; SANDERS, P. R.; FLICK, J. S.; ADAMS, S. P.; BITTNER, M. L.; BRAND, L. A.; FINK, C. L.; FRY, J. S.; GALLUPPI, G. R.; GOLDBERG, S. B.; HOFFMANN, N. L.; WOO, S. C. 1983. Expression of bacterial genes in plant cells. PNAS, 80 (15): 4803-4807.

FRANCO, O. L.; RIGDEN, D. J.; MELO, F. R.; BLOCH JR., C.; SILVA, C. P.; GROSSI DE SAÂ , M. F. 2000. Activity of wheat a-amylase inhibitors towards bruchid a-amylases and structural explana-tion of observed specificities. Eur. J. Biochem., 267 (8): 1466-1473.

FUJIMOTO, H. K.; YAMAMOTO, I. M.; KYOZUKA, J.; SHIMAMOTO, K. 1993. Insect resistance rice generated by introduction of a modified ∂-endotoxin gene of *Bacillus thuringiensis*. Biotechnology, 11: 1151-1155.

GARCÍA-MAROTO, F.; CARBONERO, P.; GARCÍA-OLMEDO, F. 1991. Site-directed mutagenesis and expression in *Escherichia coli* of WMAI-1, a wheat monomeric inhibitor of insect □-amylase. Plan Mol. Biol., 17: 1005-1011.

GATEHOUSE, A. M.; DAVISON, G. M.; NEWELL, C. A.; MERRYWEATHER, A.; HAMILTON, J. D.; BURGESS, E. P.; GILBERT, R. J.; GATEHOUSE, J. A. 1997. Transgenic potato plants with enhanced resistance to the tomato moth, *Lacanobia oleracea*: growth room trials. Molecular Breeding, 3: 49-63.

GATEHOUSE, A. M.; DOWN, R. E.; POWELL, K. S.; SAUVION, N.; RAHBE, Y.; NEWELL, A.; MERRYWEATHER, A.; HAMILTON, W. D.; GATEHOUSE, J. A. 1996. Transgenic potato plants with enhance resistance to the peach-potato aphid *Myzus persicae*. Entomol. Exp. Appli., 79: 295-307.

GATEHOUSE, A. M. 1999. Biotechnological applications of plant genes in the production of insect resistant crops. *In* S.L. Clement and S.S. Quisenberry (eds.), Global Plant Genetic Resources for Insect Resistant Crops, London, CRC Press, p. 263-280.

GIRI, A. P.; KACHOLE, M. V. 1998. Amylase inhibitors of pigeonpea (*Cajanus cajan*) seeds. Phytochemistry 47: 197-202.

GOLDSTEIN, I. J., HUGHES, R, C.; MONSIGNY, M.; OSAWA, T.; SHARON, N. 1980. What should be called a lectin. Nature, 285: 66.

GÓNGORA, C. E. 1999 Chitinolytic transgenes from *Streptomyces albidoflavus* as phytochemical defences against herviborous insects, use in transgenic plants and effect in plant development. Cornell University. Doctoral Dissertation, 290 p.

GÓNGORA, C. E.; WANG, S.; BARBEHENN, R. V.; BROADWAY, R. M. 2001. Chitinolytic enzymes from *Streptomyces albidoflavus* expressed in tomato plants: effects on *Trichoplusia ni.* Entomol. Exp. Appl., 99: 193-204.

GONZÁLEZ-NÚÑEZ, M.; ORTEGO, F.; CASTAÑERA, P. 2000. Susceptibility of Spanish populations of the corn borers *Sesamia nonagrioides* (Lepidoptera: Noctuidae) and *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera: Crambidae) to a *Bacillus thuringiensis* endotoxin. Journal of Economic Entomology, 93 (2): 459–463.

GOODAY, G. W. 1986. Chitinase activities in animals, fungi and bacteria. In Chitin in nature and technology. K. Muzzarelli, C. Jeuniaux and B. W. Gooday, eds., Plenum Press New York, p. 241-261.

GOODAY, G. W.; BRYDON, L. J.; CHAPPELL, L. H. 1988. Chitinase in female *Onchocerca gibsoni* and its inhibition by allosamidin. Molec. Biochem. Parasitol., 29: 223-225.

GOULD, F. 1998. Sustainability of transgenic insecticidal cultivars: integrating pest genetics and ecology. Annual Review of Entomology, 43: 701-726.

GOULD, F.; MARTÍNEZ-RAMÍREZ, A.; ANDERSON, A.; FERR, J.; SILVA, F. J.; MOA, W. J. 1992. Broad-spectrum resistance to *Bacillus thuringiensis* toxins in *Heliothis virescens.* Proc. Natl. Acad. Sci., USA, 89: 7986-7990.

GOULD F. A.; ANDERSON, A.; JONES, D.; SUMERFORD, D. G.; HECKEL, J.; LÓPEZ, S.; MICINSKI, R.; LASTER, L. M.. 1997. Initial frequency of alleles for resistance to *Bacillus thuringiensis* toxins in field populations of *Heliothis virescens*. Proc. Natl. Acad. Sci., USA, 94: 3519-3523.

GRINGORTEN, J. L.; CRAWFORD, D. N.; HARVEY, W. R. 1993. High pH in the ectoperitrophic space of the larval lepidopteran midgut. J. Exp. Biol., 183: 353-359.

GRISLEY, M. S. 1993. Separation and partial characterization of salivary enzymes expressed during prey handling in the octopus *Eledone cirrhosa*. Comp. Biochem. Physiol. 105B, 183-192.

GRISLEY, M. S.; BOYLE, P. R. 1990. Chitinase, a new enzyme in octopus saliva. Comp. Biochem. Physiol., 95B: 311-316.

GROSSI DE SÁ, M. F.; MIRKOV, T. E.; ISHIMOTO, M.; COLUCCI, G.; BATEMAN, K. S. , CHRISPEELS, M. J. 1997 Molecular characterization of a bean a-amylase inhibitor that inhibits the a-amylase of the Mexican bean weevil *Zabrotes subfasciatus*. Planta, 203: 295-303.

GUERREIRO FILHO, O.; DENOLF, P.; PEFEROEN, M.; ESKES, A. B.; FRUTOS, R. 1998. Susceptibility of the coffee leaf miner (*Perileucoptera* spp.) to *Bacillus thurigiensis* Delta-Endotoxins:a model for transgenic perennial crops resistant to endocarpic insects. Current Microbiol., 36: 175-179.

GUNNER, H. B.; ZIMET, M.; BERGER, S. 1985. Chitinase producing Bt strains. Proceeding of Symposium: Microbial control of spruce budworm and gypsy moths. U.S. Forest Service. Windsor Locks, CT., p. 103 –108.

HAMILTON, K. A.; GOODMAN, R. E.; FUCHS, R. L. 2002. Safety assessment of insect protected cotton. *In:* J. A. Thomas and R. L. Fuchs, (eds): Biotechnology and safety assessment. Academic Press, London, U.K., p. 435-465.

HEAD, G.; DIVELY, G. 2004 Impact of transgenig Bt crops on non-traget animal species *In:* Koul O.; Dhaliwal G. S., eds. Transgenic crop protection: Concepts and strategies. Oxford University Press and IBH Publishing Co, New Delhi, p. 307-324.

HELLMICH, R.L.; SIEGFRIED, B.D.; SEARS, M.K.; STANLEY-HORN, D.E.; DANIELS, M.J. MATTILA, H.R.; SPENCER, T.; BIDNE, K.G.; LEWIS, L.C. 2001. Monarch larvae sensitivity to *Bacillus thuringiensis* purified proteins and pollen. PNAS, 98: 11925-11930.

HEPHER, A.; EDWARDS, G.; GATEHOUSE, J. 1989. Improvements relating to transgenic plants. European Patent Applicattion N89201899.5.

HERRERA-ESTRELLA, L.; DEPICKER .A.; VAN MONTAGU, M.; SCHELL, J. 1983. Expression of chimaeric genes transferred into plant cells using a Ti-plasmid-derived vector. Nature, 303: 209 – 213.

HILDER, V. A.; GATEHOUSE, A. M. R.; SHEERMAN, S. E.; BARKER, R. F.; BOULTER, D. 1987. A novel mechanism of insect resistance engineered into tobacco. Nature, 330: 160 – 163.

HILDER, V. A.; POWELL, K. S.; GATEHOUSE, A. M. R.; GATEHOUSE, J. A.; GATEHOUSE, L. N.; SHI, Y.; HAMILTON, W. D. O.; MERRYWEATHER, A.; NEWELL, C. A.; TIMANS, J. C.; PEUMANS, W. J.; VAN DAMME, E.; BOULTER, D. 1995. Expression of snowdrop lectin in transgenic tobacco plants results in added protection against aphids. Transgenic Research, 4 (1): 18-25.

HOFFMAN, L.; MA, Y.; BARKER, R. F. 1982. Molecular cloning of *Phaseolus vulgaris* lectin mRNA and use of cDNA as a probe to estimate lectin transcripts levels in various tissues. Nucleic Acid Research, 10: 7819-7828.

HOFMANN, C.; VANDERBRUGGEN, H.; HÖFTE, H.; VAN RIE, J.; JANSENS, S.; VAN MELLAERT, H. 1988. Specificity of *B. thuringiensis* delta-endotoxins is correlated with the presence of high-affinity binding sites in the brush border membrane of target insect midguts, Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 85: 7844-7848.

HÖFTE, H.; WHITELEY, H. R. 1989. Insecticidal crystal proteins of *Bacillus thuringiensis*. Microbiol. Rev., 53: 242-55.

HOLLAK, C. E.; VAN, W., S.; VAN OERS, M. H.; AERT, J. M. 1994. Marked elevation of plasma chitotriosidase activity. J. Clin. Invest., 93: 1288-1292.

HUBER, M.; CABIB, E.; MILLER, L. H. 1991. Malaria parasite chitinase and penetration of the mosquito peritrophic membrane. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 88: 2807-2810.

HUGHES, R. K.; DICKERSON, A. G. 1991. Modulation of elicitor-induced chitinase and b-1, 3-glucanase activity by hormones in *Phaseolus vulgaris*. Plant Cell Physiol., 32: 853-861.

IPCS. 1999. International programme on chemical safety - Environmental Health Criteria 217: Microbial Pest Control Agent *Bacillus thuringiensis*. World Health Organization, Geneva, Switzerland, p. 1-82.

ISHIMOTO, M.; CHRISPEELS, M. J. 1996. Protective mechanism of the mexican bean weevil against high levels of a-amylase inhibitor in the common bean. Plant Physiol., 111: 393-401.

ISHIMOTO, M.; KITAMURA, K. 1989. Growth inhibitory effects of an α-mylase inhibitor from kidney bean, *Phaseolus vulgaris* (L.) on three species of bruchids (Coleoptera: Bruchidae). Appl. Entomol. Zool., 24: 281-286.

ISHIMOTO, M.; SATO, T.; CHRISPEELS, M. J.; KITAMURA, K. 1996. Bruchid resistance of transgenic azuki bean expressing seed α-amylase inhibitor of common bean. Entomol. Exp. Appl., 79: 309-315.

IULEK, J., FRANCO, O. L., SILVA, M.; SLIVINSKI, C. T.; BLOCH JR, C.; RIGDEN, D. J.; GROSSI DE SA , M. F. 2000. Purification, biochemical characterisation and partial primary structure of a new a-amylase inhibitor from *Secale cereale* (Rye). Inter. J. Biochem.Cell Physiol., 32: 1195-1204.

JAMES, C. 2002. Global review of commercialized transgenic crops: 2001 feature: Bt cotton. ISAAA Briefs No. 26. ISAAA, Ithaca, N. Y., 184 p.

JAMES, C. 2004. Preview: Global status of commercialized transgenic crops: 2004. ISAAA Briefs. No. 32. ISAAA, Ithaca, N. Y., 2 p.

JOHNSON, R.; NARVAEZ, J.; AN, G.; RYAN, C. 1989. Expression of proteinase inhibitors I and II in transgenic tobacco plants: Effects on natural defense against *Manduca sexta* larvae. Proc. National Academy of Sciences, USA, 86 (24): 9871-9875.

KASHLAN, N.; RICHARDSON, M. 1981. The complete amino acid sequence of a major wheat protein inhibitor of a-amylase. Phytochemistry, 20: 1781-1784.

KLOPFENSTEINS, N. B, ALLEN K. K.; AVILA F. J. 1997. Proteinase inhibitor II gene in transgenic poplar: chemical and biological assays. Biomass and Bioenergy, 12: 299-311.

KOGA, D.; FUJIMOTO, H.; FUNAKOSHI, T.; UTSUMI, T.; IDE, A. 1989. Appearance of chitinolytic enzymes in integument of *Bombyx mori* during the larval-pupal transformation. Evidence for zymogenic forms. Insect Biochem., 19: 123-128.

KOGA, D.; HIRATA, T.; SUESHIGE, N.; TANAKA, S.; IDE, A. 1992. Induction patterns of chitinases in yam callus by inoculation with autoclaved *Fusarium oxysporum*, ethylene, and chitin and chitosan oligosaccharides. Biosci. Biotech. Biochem., 56: 280-285.

KOGA, D.; JILKA, J.; KRAMER, K. J. 1983. Insect endochitinases: glycoproteins from moulting fluid, integument and pupal haemolymph of *Manduca sexta* L. Insect Biochem., 13: 295-305.

KOUL, O.; DHALIWAL, G. S. 2004. Transgenic Crop Protection: An introduction. *In:* Koul O., Dhaliwal G. S., eds. Transgenic crop protection: Concepts and strategies. Oxford University Press and IBH Publishing Co, New Delhi, p. 1-20.

KRAMER, K. J.; MUTHUKRISHNAN, S. 1997a. Insect chitinases: molecular biology and potential use as biopesticides. Insect Biochem Mol. Biol., 27: 887-900.

KRAMER, K. J.; MUTHUKRISHNAN, S.; JOHNSON, L.; WHITE, F. 1997b. Chitinase for insect control. *In:* Advances in insect control: the role of transgenic plants. N. Carozzi and M. Koziel, eds. London: Taylor & Francis Publish. Co., p. 185-193.

KURANDA, M. J.; ROBBINS, P. W. 1991. Chitinase is required for cell separation during growth of *Saccharomyces cerevisiae*. J. Biol. Chem., 266: 19758-19767.

LA-JOLO, F. M.; FINARDI-FILHO, F.; MENEZES, E. W. 1991 Amylase inhibitors in *Phaseolus vulgaris* bean. Food Technol., 8: 119-121.

LAYER, P.; CARLSON, G. L.; DIMANGO, E. P. 1985. Partial purified white bean amylase inhibitor reduces digestión *in vitro* and inactivates intraduodenal amylases in humans. Gastroenterology, 88: 1895-1902.

LEGASPI, J. C.; LEGASPI Jr., B. C.; SÉTAMOU, M. 2004. Insect resistant transgenic crops expressing plant lectins. *In*: Koul O., Dhaliwal G. S., eds. Transgenic crop protection: Concepts and strategies. Oxford University Press and IBH Publishing Co, New Delhi, p. 85-116.

LEROY, T.; HENRY, A. M.; ROYER, M.; ALTOSAAR, I.; FRUTOS, R.; DURIS, D.; PHILIPPE, R. 2000. Genetically modified coffee plants expressing the *Bacillus thuringiensis* cry1Ac gene for resistance to leaf miner. Plant Cell Report, 19: 382-389.

LLEWELLYN, D. J.; HIGGINS, T. J. V. 2002. Transgenic crops plants with increases tolerance to insect pest. *In*: Plant Biotechnology and transgenic Plants. Edited by Kirsi-Marja-Oksman, Caldentey, Wolfgang H. Barz, p. 571 – 596.

LILLEY, M.; RUFFELL, R. N.; SOMERVILLE, H. J. 1980. Purification of the insecticidal toxin in crystals of *Bacillus thuringiensis*. J. of General Microbiol., 118: 1-11.

LIU Y. B.; TABASHNIK, B. E.; DENNEHY, T. J.; PATIL, A. L.; SIMS, M. A.; MEYER, S K.; CARRIÈRE Y. 2001 Effects of Bt cotton and cry1Ac toxin on survival and development of pink bollworm (Lepidoptera: Gelechiidae). Journal of Economic Entomology, 94 (5): 1237-1242.

LOSEY, J. E.; RAYOR, L. S.; CARTER, M. E. 1999. Transgenic pollen harms monarch larvae. Nature, 399: 214.

LOZZIA, G. C. 1999. Biodiversity and structure of ground beetle assemblages (Coleoptera: Carabidae) in Bt corn and its effects on non-target insects. Boll. Zool. Agrar. Bachicoltura, 31: 37–58.

MCMANUS, M. T.; WHITE, D. W. R.; MCGREGOR, P. G. 1994. Accumulation of a chymotrypsin inhibitor in transgenic tobacco can affect the growth of insect pests. Transgenic Research, 3 (1): 50-58.

MARVIER, M. 2002. Improving risk assessment for nontarget safety of transgenic crops. Ecological Applications, 12 (4): 1119–1120.

MAUCH, F.; MAUCH-MANI, B.; BOLLER, T. 1988. Antifungal hydrolases in pea tissue. II. Inhibition of fungal growth by combinations of chitinase and b-1, 3-glucanases. Plant Physiol., 88: 936-942.

MISHRA, S. C.; SEN-SARMA, P. K. 1987. pH trends in the gut of xylophagous insects and their adaptive significance. Mater. Organ., 22: 311-319.

MELO, F. R.; SALES, M. P.; SILVA, L. S.; FRANCO, O. L.; BLOCH, C. Jr.; ARY, M. B. 1999. Alpha-amylase from cowpea seeds. Prot. Pept. Lett., 6: 387-392.

MENN, J. J.; HALL, F. R. 1999. Biopesticides: Present status and future prospects. *In*: Biopesticides: Use and deliver. F. R Hall; J. J Menn, eds. Humanan Press, Totowa, N. J., p. 301-320.

MILLER, N.; LEHANE, M. J. 1990. *In vitro* perfusion studies on the peritrophic membrane of the tsetse fly *Glossina morsitans morsitans* (Diptera:Glossinidae). Journal of Insect Physiology, 36: 813-818.

MONSANTO. 2007. Safety Assessment of Bollgard II® Cotton Event 15985 (http://www.monsanto.com /pdf/products/bollgard_II_es.pdf) consulatdo October 2007.

MONSANTO, 2002. Bollgard cotton product safety summary. http://www.monsanto.com/monsanto/layout/our_pledge/pss_Bollgardcotton.asp. Consultado Octubre del 2007

MONTAGNON, C. 2005. Genetically mofified coffees – the experience of CIRAD. Presentation. *In*: ICO Seminar on Genetically Modified Coffee Workhop. http://www.ico.org/event_pdfs/gm/gm.htm (acceso en nov 2005).

MORENO, J.; CHRISPEELS, M. J. 1989. A lectin gene encodes the α-amylase inhibitor of the common bean. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 86: 7885-7889.

MORENO VILLAMIL, R. 2007. Síntesis y revisión de las estrategias para la prevención, manejo, evaluación y monitoreo del desarrollo de resistencia en plagas blanco de cultivo transgénico. Tomo II 43- 84. *In*: Hodson de Jaramillo, E. y Carrizosa P., MS(comp). Desarrollo de capacidades para evaluación y gestión de riesgos y monitoreo de organismos genéticamente modificados (OGM). Álexander von Humboldt. Bogotá, D. C. Colombia, 306 p.

MORTON, R. L.; SCHROEDER, H. E.; BATEMAN,K. S.; CHRISPEELS, M. J.; ARMSTRONG, E.; HIGGINS, T. J. V. 2000. Bean alpha-amylaseinhibitor I, in transgenic peas (*Pisum sativum*) provides complete protection from pea weevil (*Bruchus pisorum*) under field conditions. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 97 (8): 3820-3825.

MURDOCK, L. L.; BROOKHART, G.; DUNN, P. E ; FOARD, D. E; KELLEY, S.; KITCH, L.; SHADER, E.; SHUKLE, R. H.; WOLFSON, J. L.;1987. Cysteine digestive proteinases in Coleoptera. Comparative biochemistry and physiology. B. 87 (44): 783-787.

NORTON, G. 1991. Proteinase Inhibitors. *In* J. P. F. D'Mello, C.M. Duffus; J.H. Duffus, eds. Toxic substances in crop plants. The Royal Society of Chemistry, p. 68-106.

NOTEBORN, H. P.; KUIPER, H. A. 1994. Safety Assessment strategies for genetically modified plant products: A case study of *Bacillus thuringiensis*-toxin tomato. Proceedings of the Third International Symposium on the Biosafety Results of Field Tests of Genetically Modified Plants and Microorganisms. Editors: Jones, D. D . Publisher: University of California, Oakland, p. 199-207.

OBERHAUSER, K. S.; PRYSBY, M. D.; MATTILA, H. R.; STANLEY-HORN, D, E., SEARS, M. K.; DIVEL,Y. G.; OLSON, E.; PLEASANTS, J. M.; LAM, W. K. F.; HELLMICH, R. L. 2001. Temporal and spatial overlap between monarch larvae and corn pollen. PNAS, 98: 11913-11918.

OKUDA, M.; SATOH, T.; SAKURAI, N.; SHIBUYA, K.; KAJI, H.; SAMEJIMA, T. 1997. Overexpression in E. coli of chemically synthesized gene for active 0.19 alpha-amylase inhibitor from wheat kernel. J. Biochem., 122: 918-926.

OROZCO-CÁRDENAS, M.; MCGURL, B.; RYAN, C. A. 1993. Expression of an antisense prosystemin gene in tomato plants reduces resistance toward Manduca sexta Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 90 (17): 8273-8276.

ORTIZ, S. 2002. Los Organismos genéticamente modificados y el análisis de riesgo.Nappo PARA Symposium. Puerto Vallarta, Mexico, marzo 2002. http://www.nappo.org/PRA-Symposium/PDF-Final/Ortiz.pdf

OVERBYE, L. J.; SANDKVIST, M.; BAGDASARIAN, M. 1993. Genes required for extracellular secretion of enterotoxin are clustered in Vibrio cholerae. Gene 132: 101-106.

PEFEROEN, M. 1997. Progress and prospects for field use of Bt genes in crops. Trends in Biotechnology, 15: 173–177.

PEREIRA, R. A.; BATISTA, J. A. N.; DA SILVA, M. C. M.; OLIVEIRA NETO, O. B.; FIGUEIRA, E. L. Z.; VALENCIA, A., GROSSI-DE-SA, M. 2006. An α-amylase inhibitor gene from Phaseolus coccineus encodes a protein with potential for control of coffee berry borer (Hypothenemus hampei). Phytochemistry, 67: 2009-2016.

PERLAK, F. J.; DEATON, R. W.; ARMSTRONG, T. A.; FUCHS, R. L.; SIMS, S. R.; GREENPLATE, J. T.; FISCHHOFF, D. A. 1990. Insect resistance cotton plants. Biotechnology, 8: 939-943.

PERLAK, F. J.; FUCHS, R. L.; DEAN, D. A.; MCPHERSON, S. L.; FISCHHOFF, D. A. 1991 Modification of the coding sequence enhances plant expression of insect control protein genes. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 88: 3324-3328.

PERTHUIS, B.; PRADON, J.; MONTAGNON, C.; DUFOUR, M.; LEROY, T. 2005. Stable resistance against the leaf miner Leucoptera coffeella expressed by genetically transformed Coffea canephora in a pluriannual field experiment in French Guiana. Euphytica, 144: 321-329.

PETERS, W. 1992. Peritrophic membranes. Springer-Verlag, Berlin, 238 p.

PETERS, W.; WIESE, B. 1986. Permeability of the peritrophic membranes of some Diptera to labelled dextrans. J. Insect Physiol., 32: 43-49.

PILCHER, C. D.; OBRYCKI, J. J.; RICE, M. E.; LEWIS, L. C. 1997. Preimaginal development, survival, and field abundance of insect predators on transgenic Bacillus thuringiensis corn. Environ. Entomol., 26: 446-454.

PLEASANTS, J. M.; HELLMICH, R.; DIVELY, G. P., SEARS, M. K.; STANLEY-HORN, D. E.; MATTILA H. R.; FOSTER J. E.; CLARK, T. L.; JONES, G. D. 2001. Corn pollen deposition on milkweeds in and near corn fields. PNAS, 98: 11919-11924.

POWELL, K. S.; GATEHOUSE, A. M.; HILDER, V. A.; GATEHOUSE, J. A. 1993. Antimetabolic effect of plantlectins and plant and fungal enzymes on the ninphal stages of two important rice pests, Nilaparvata lugens and Nephotettix cinciteps. Entomol. Exp. Appl., 66 (2): 119-126.

PRAY, C.; HUANG, J.; HU, R.; ROZELLE, S. 2002. Five years of Bt cotton in China - the benefits continue. The Plant Journal, 34: 423-30.

PUEYO, J. J.; HUNT, D. C.; CHRISPEELS, M. J. 1993. Activation of bean α-amylase inhibitor requires proteolytic processing of the pro-protein. Plant Physiol., 101: 1341-1348.

PULLIAM, D. A.; WILLIAMS D. L.; BROADWAY R. M.; STEWART C. N. 2001. Isolation and characterization of a serine proteinase inhibitor cDNA from cabagge and Its antibiosis in transgenic tobacco plants. Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology, 2: 19-32.

PURCELL, J.; ISAAC, B.; TRAN, M.; SAMMONS, D.; GILLESPIE, J.; GREENPLATE, J.; SOLSTEN, R.; PRINSEN, M.; PERSHING, J.; STONARD, R. 1994. Two enzymes classes active in green peach aphids bioassay. J. Econ. Entomol., 87: 15-19.

PURCELL, J. P.; GREENPLATE, J. T.; JENNINGS, M. G.; RYERSE, J. S.; PERSHING, J. C.; SIMS, S. R.; PRINSEN, M. J.; CORBIN, D. R.; TRAN, M. 1993. Cholesterol oxidase: A potent insecticidal protein active against bollweevil larvae. Biochem. Bio Res. Comm., 196: 1406-1413.

PUSZTAI, A.; WATT, W. B.; STEWARRT, J. C. 1991. A comprehensive scheme for the isolation od trypsin inhibitors and the agglutinin from soybean seeds. Journal Agric.Food Chem., 39: 862-866.

PUSZTAI, A.; EWEN, S. W. B.; GRANT, G.; BROWN, D. S.; STEWART, J. C.; PEUMANS, W. J.; VAN DAMME, E. J. M.; BARDOCZ, S. 1993. Antinutritive effects of wheat-germ agglutinin and other N-acetylglucosamine-specific lectins. British Journal of Nutrition, 70 (9): 313-321.

QAIM, M.; DE JANVRY, A. 2005. Bt cotton and pesticide use in Argentina: economic and environmental effects. Environment and Development Economics, 10: 179-200.

RANEY, T. 2006. Economic impact of transgenic crops in developing countries. Current opinion in Biotechnology, 17 (2): 174-178.

RAO, K. V.; RATHORE, K. S.; HODGES, T. K.; FU, X.; STOGER, E.; SUDHAKAR, D.; WILLIAMS, S.; CHRISTOU, P.; BHARATHI, M.; BOWN, D. P.; POWELL, K. S.; SPENCE, J.; GATEHOUSE, A. M.; GATEHOUSE, J. A. 1998 Expression of snowdrop lectin (GNA) in transgenic rice plants confers resistance to rice brown planthopper. The Plant Journal for cell and molecular biology, 15 (4): 469-477.

REECK, G. R.; KRAMER, K. J.; BAKER, J. E.; KANOTS, M. R.; FABRICK, J. A.; BEHNE, C. A. 1997. Proteinase inhibitirs and resistance of transgenic plants to insects. *In:* Carozzi, N.; Koziel, M. (Eds.). Advances in insect control. London: Taylor & Francis, chap. 8, p. 123-138.

REGEV, A.; KELLER, M.; STRIZHOV, N.; SNEH, B.; PRUDOVSKY, E.; CHET, I.; GINZBERG, I.; KONCZ, K. Z.; KONCZ, C.; SCHELL, J.; ZILBERSTEIN, A. 1996. Synergistic activity of a *Bacillus thuringiensis* delta-endotoxin and a bacterial endochitinase against *Spodoptera littoralis* larvae. Appl. Environ. Microbiol., 62: 3581-3586.

RICHARDSON, M. 1991. Seed storage proteins: The Enzyme inhibitors. *In:* L.J. Rogers (ed.), Methods in Plant Biochemistry, Vol 5, Amino acids, proteins and nucleic acids. Academic Press, New York, p. 259-305.

ROBERTS, W. K.; SELITRENNIKOFF, C. P. 1988. Plant and bacterial chitinases differ in antifungal activity. J. Gen. Micro., 134: 169-176.

ROBY, D.; ESQUERRE-TUGAYE, M. T. 1987. Induction of chitinases and of translatable mRNA for these enzymes in melon plants infected with *Colletotrichum lagenarium*. Plant Sci., 52: 175-185.

ROUSH, R. T.; SHELTON, A. M. 1997. Assessing the odds: the emergence of resistance to Bt transgenic plants. Nat. Biotechnol., 15: 816–817.

RYMERSON, R. T.; BODNARYK, R. P. 1995. Gut proteinase activity in insect pests of canola . Canadian entomologist, 127 (11): 41-48.

SAMPSON, M. N.; GOODAY, G. W. 1998. Involvement of chitinases of *Bacillus thuringiensis* during pathogenesis in insects. Microbiology, 144: 2189-2194.

SANTIAGO, J. G.; LEVY-BENSHIMOL, A.; CARMONA, A. 1993. Effect of *Phaseolus vulgaris* lectins on glucose absorption, transport, and metabolism in rat everted .Journal of nutritional biochemistry, 4 (77): 426-430.

SANTOS, M. O.; ADANG, M. J.; ALL, J. N.; BOERMA, H. R.; PARROTT, W. A. 1997. Testing transgenes for insect resistance using *Arabidopsis*. Molecular Breeding, 3 (3):183-194.

SACCHI, V. F.; PARENTI, P.; HANOZET, G. M.; GIORDANA, B.; LUTHY, P.; WOLFERSBERGER, M. G. 1986. *Bacillus thuringiensis* toxin inhibits K+ -gradient-dependent amino acid transport across the brush border membrane of *Pieris brassicae* midgut cells. Fed. European Biol. Soc. Lett., 204: 213-218.

SAHAI, A. S.; MANOCHA, M. S. 1993. Chitinases of fungi and plants: their involvement in morphogenesis and host-parasite interaction. FEMS Microbiol. Rev., 11: 317-338.

SCHENPF, E.; CRICKMORE, N.; VANRIE, J.; BAUM, J.; FEITELSON, J.; ZEIGLER, D. R.; DEAN, D. H. 1998. *Bacillus thuringiensis* and its pesticide crystal proteins. Microbio. Mol. Biol. Rev., 62: 775-806.

SCHICKLER H,; CHET I. 1997. Heterologous chitinase gene expression to improve plant defense against phytopathogenic fungi . Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology, 19 (3): 196-201.

SCHIMOLER-O'ROURKE, R.; RICHARDSON, M.; SELITRENNIKO., C. P. 2001 Zeamatin inhibits trypsin and a-amylase activities. Appl. Environ. Microbiol., 67; 2365-2366.

SCHLUMBAUM, A.; MAUCH, F.; VOGELI, U.; BOLLER, T. 1986. Plant chitinases are potent inhibitors of fungal growth. Nature, 324: 365-367.

SCHROEDER, H. E.; GOLLASH, S.; MOORE, A.; TABE, L. M.; CRAIG, S.; HARDIE, D.; CHRISPEELS, M. J.; SPENCER, D.; HIGGINS, T. J. V. 1995. Bean alpha-amylase inhibitor confers resistance to the peaweevil, *Bruchus pisorum*, in genetically engineered peas (*Pisum sativum* L.). Plant Physiol., 107, 1233-1239.

SCRIBER J. M. 2001. B*t* or not Bt: Is that the question ?. Proc Natl Acad Sci U S A. 98(22): 12328–12330.

SEARS, M. K.; HELLMICH, R. L.; STANLEY-HORN, D. E.; OBERHAUSER, K. S.; PLEASANTS, J. M.; MATTILA, H. R.; SIEGFRIED, B. D.; DIVELY, G. 2001. Impact of Bt corn pollen on monarch butterfly populations: A risk assessment. *PNAS* 98: 11937-11942.

SHADE, R. E.; SCHROEDER, H. E.; PUEYO, J. J.; TABE, L. L.; MURDOCK, T. J. V.; HIGGINS, M. J.; CHRISPEELS, M. J. 1994. Transgenic pea seeds expressing the a-amylase inhibitor of the common bean are resistant to bruchid beetles. Bio/Technol., 12: 793-796.

SHAHABUDDIN, M.; KASLOW, D. C. 1993. Transmission-blocking activity of a chitinase inhibitor and activation of malarial parasite chitinase by mosquito protease. Parasitol. Today, 9: 252-255.

SHAHABUDDIN, M.; TOYOSHIMA, T.; AIKAWA, M.; KASLOW, D. C. 1993. Transmission-blocking activity of a chitinase inhibitor and activation of malarial parasite chitinase by mosquito protease. Proc. Natl. Acad. Sci. USA., 90: 4266-4270.

SHELTON, A. M.; ZHAO, J. Z.; ROUSH, R. T. 2002. Economic, ecological, food safety, and social consequences of the deployment of Bt transgenic plants. Ann. Rev. Entomol., 47: 845-881.

SHEN, Z.; CORBIN, D. R.; GREENPLATE, J. T.; GREBENOK, R. J.; GALBRAITH, D. W.; PURCELL, J. P. 1997. Studies on the mode of action of cholesterol oxidase on insect midgut membranes. Archives of Insect Biochem. Physiol., 34: 429-442.

SIEBER, K. P.; HUBER, M.; KASLOW, D.; BANKS, S. M.; MOTOMI, T;, AIKAWA, M; MILLER, L. H. 1991. The peritrophic membrane as a barrier: its penetration by *Plasmodium gallinaceum* and the effect of a monoclonal antibody to ookinetes. Exp. Parasitol., 72: 145-156.

SIEGEL, J. P. 2001. The mammalian safety of *Bacillus thuringiensis*-based insecticides. J. Invert. Pathol., 77: 13-21.

SINGENTA. 2007. http://www.syngentaseeds.es/biotecnologia/sostenibilidad.htm. Consulta Nov 2007.

SISTERSON, M. S.; BIGGS, R. W.; MANHARDT, N. M.; CARRIÈRE, Y.; DENNEHY, T.; TABASHNIK, B. E. 2007. Effects of transgenic Bt cotton on insecticide use and abundance of two generalist predators. Entomologia Experimentalis et Applicata, 124 (3): 305-311.

SMITH, C. M. 2005. Transgenic Arthropods resistance. IN: Plant Resistance to Arthropods, Chapter 10. Molecular and conventional approaches. C. Michael Smith, ed., Springer. Netherlands, p. 303-343.

STANLEY-HORN, D. E.; DIVELY, G. P.; HELLMICH, R. L.; MATTILA, H. R.; SEARS, M. K.; ROSE, R.; JESSE, L. C. H.; LOSEY, J. E.; OBRYCKI, J. J.; LEWIS, L. 2001. Assessing the impact of Cry1Ab-expressing corn pollen on monarch butterfly larvae in field studies. PNAS, 98: 11931-11936.

STRICKLAND, J. A.; ORR, G. L.; WALSH, T. A. 1995. Inhibition, of *Diabrotica* larval growth by potatin, the lipid acyl hydrolase from potato tubers. Plant. Physiol., 109: 667-674.

SUDHA, P. M.; MUTHU, S. P. 1988. Damage to the midgut epithelium caused by food in the absence of peritrophic membrane. Curr. Science, 57: 624-625.

SYMONDSON, W. O. C.; SUNDERLAND, K. D.; GREENSTONE, M. H. 2002. Can generalist predators be effective biocontrol agents? Ann. Rev. Entomol., 47: 561-594.

TABASHNIK, B. E.; CARRIÈRE Y.; DENNEHY, T. J.; MORIN, S.; SISTERSON, M. S.; ROUSH, R. T.; SHELTON, A. M.; ZHOU, Z. J. 2003. Insect resistance to transgenic Bt crops: Lessons from the laboratory and field. J. Econ. Entomol., 96 (4): 1031-1038.

TANADA, Y.; KAYA, H. 1993. Fungal Infections. *In*: Insect pathology. Academic Press San Diego, CA., p 318-387.

TERRA, W. R.; FERREIRA, C. 1994. Insect digestive enzymes: properties, compartmentalization and function. Comparative biochemistry and physiology. Part B. Biochemistry & molecular biology, 109 (1): 1-62.

TERRA, W. R.; FERREIRA, C. 1981. The physiological role of the peritrophic membrane and trehalase: digestive enzymes in the midgut and excreta of starved larvae of *Rhynchosciara.* J. Insect Physiol., 27: 325-331.

TINJACA ESPINEL, C. P. 2007. National biosafety systems of Argentina, Canada and Colombia: A comparative analysis of their framework for implementing biosafety case study: MON810. Tomo II . 235-300. *In:* Hodson de Jaramillo, E. y Carrizosa P., MS (comp). Desarrollo de capacidades para evaluación y gestión de riesgos y monitoreo de organismos genéticamente modificados (OGM). Álexander von Humboldt. Bogotá, D.C. Colombia. 306 p.

THOMAS, J. C.; WASMANN, C.; ECHT, C.; DUNN, R.; BOHNERT, H.; MCCOY, T. 1994. Introduction and expression of an insect proteinase inhibitor in alfalfa (*Medicago sativa* L.). Plant Cell Report, 14: 31-36.

THOMAS, J. C.; ADAMS, D. G.; KEPPENNE, V. D.; WASMANN, C. C.; BROWN, J. K.; KANOST, M. R.; BOHNERT, H. J. 1995a. *Manduca sexta* encoded protease inhibitors expressed in *Nicotiana tabacum*. Plant Physiology and Biochemistry, 33 (5): 611-614.

THOMAS, J. C.; ADAMS, D. G.; KEPPENNE, V. D.; WASMANN, C. C.; BROWN, J. K.; KANOST, M. R.; BOHNERT, H. J. 1995b. Protease inhibitors of Manduca sexta expressed in transgenic cotton. Plant Cell Reports, 14 (12): 758-762.

USDA- ARS. 2007. Protecting Farmer´s investment in Bt cotton. http://www.ars.usda.gov/is/AR/archive/feb01/farm0201.htm. Consultado Nov 2007

VAECK, M.; REYNAERTS, A.; HOFTE, H.; JANSENS, S.; DE BEUCKELER, M.; DEAN, C.; ZABEAU, M.; VAN MONTAGU, M.; LEEMANS, J. 1987. Transgenic plants protected from insect attack. Nature, 238: 33-37.

VALENCIA, A.; BUSTILLO, A. E.; OSSA, G.; CHRISPEELS, M. J. 2000. α-amilases of the coffee borer (*Hypothenemus hampei*) and their inhibition by two plant amylase inhibitors. Insect Biochemistry and Molecular Biology, 30: 207-213

VAN MELLAERT, H.; VAN RIE, J.; HOFMANN, C.; REYNAERTS, A. 1988. Insecticidal crystal proteins from *Bacillus thuringiensis*: mode of action and expression in transgenic plants. *p 82-87 In:* D. W. Roberts, R.; Granados, R., eds., Biotechnology, biological pesticides, and novel plant-pest resistance for insect pest management. Cornell University, Ithaca, *175 p.*

VERTESY, L.; TRIPIER, D. 1985. Isolation and structure elucidation of an α-amilase inhibitor, AI-3688, from *Streptomyces aureofaciens*, FEBS Lett., 185: 187-190.

VOGELSANG, R.; BARZ, W. 1990. Elicitation of b-1,3-glucanase and chitinase activities in cell suspension cultures of *Ascochyta rabiei* resistant and susceptible cultivars of chickpea *(Cicer arietinum*). Z. Naturforsch, 45c: 233-239.

YAMAGATA, H.; KUNIMATSU, K.; KAMASAKA, H.; KURAMOTO, T.; IWASAKI, T. 1998. Rice bifunctional a-amylase/subtilisin inhibitor: characterization, localization, and changes in developing and germinating seeds. Biosc. Biotechnol. Biochem., 62: 978 – 985.

ZANGERL, A. R.; MCKENNA, D.; WRAIGHT, C. L.; CARROLL, M.; FICARELLO, P.; WARNER, R.; BERENBAUM, M. R. 2001. Effects of exposure to event 176 *Bacillus thuringiensis* corn pollen on monarch and black swallowtail caterpillars under field conditions. PNAS, 98: 11908-11912.

ZHU, Z.; GERN, L.; AESCHLIMANN, A. 1991. The peritrophic membrane of *Ixodes ricinus*. Parasitol. Res., 77: 635-641.

CAPÍTULO 16

Control legal de insectos plagas

Luis Miguel Constantino Chuaire y Pablo Benavides Machado

Se entiende como control legal, la aplicación de leyes o disposiciones del gobierno para impedir el ingreso de plagas o enfermedades fitosanitarias a un país, retardar su propagación o dispersión dentro de éste, establecer la posibilidad de erradicación y limitar su desarrollo, mediante la reglamentación de medidas coercitivas en los cultivos (Dent, 1991; Cisneros, 1995). El control legal se ejecuta a través de cuarentenas, permisos fitosanitarios para la movilización de material vegetal, certificados de inspección, certificados de tratamiento con productos agropecuarios permitidos como fumigantes, fungicidas, insecticidas o desinfectantes de productos agrícolas, reglamentación sobre épocas de siembra de cultivos, erradicación de plagas y reglamentación del uso y comercialización de plaguicidas (Dent, 1991; Cisneros, 1995).

En Colombia, el Ministerio de Agricultura a través del Instituto Colombiano Agropecuario- ICA, es la entidad encargada de aplicar las leyes o disposiciones gubernamentales de tipo fitosanitario para los diferentes cultivos, regulando las zonas y fechas de siembra, y también las normas para la destrucción de los residuos de cosecha, para evitar así, la permanente disponibilidad de alimento para los insectos plaga, o prohibiendo el traslado de material vegetal entre departamentos, para prevenir la propagación de plagas (Decreto 1840/94).

Los cultivos agrícolas desde su lugar de origen, siempre han coexistido en estrecha relación con insectos fitófagos y patógenos, que a su vez albergan una fauna benéfica que mantiene sus poblaciones reguladas. Cuando los cultivos empezaron a distribuirse alrededor del planeta, fuera de su lugar de origen, inicialmente se mantuvieron libres de sus plagas y enfermedades nativas, pero a lo largo de los años, se han venido haciendo muchas introducciones con semillas y materiales vegetativos contaminados o infestados con estados biológicos de insectos, con lo cual gradualmente se han introducido accidentalmente plagas y enfermedades nativas, que al no presentar sus enemigos naturales se incrementan considerablemente (Hill, 1983). Este es el caso de la broca del café, *Hypothenemus hampei,* especie originaria de África y que actualmente se encuentra distribuida en todas las zonas productoras de café del mundo (Cárdenas y Posada, 2001; Bustillo, 2006).

La importación de material vegetal vivo o partes de plantas representan el mayor riesgo de introducción de insectos plagas. Por ejemplo, la importación de germoplasma usado para la implementación de programas de mejoramiento genético en un país dado, presentan un gran riesgo de introducción de plagas exóticas (Kahn, 1982; Dent, 1991). Internacionalmente existen regulaciones y restricciones que prohiben la entrada de cierto tipo de plantas o parte de ellas, especialmente si proceden de áreas endémicas, donde existen plagas de interés cuarentenario (Dent, 1991). El material vegetal restringido debe ser supervisado a la llegada al país y a la vez se debe tratar con plaguicidas, si hay sospecha de presencia de plagas, o se pueden hacer tratamientos con vapor, con altas o bajas temperaturas o mediante irradiación hasta cierto nivel, con el fin de matar la plaga pero no la planta (Couey *et al.,* 1985; Kahn, 1982). Estas medidas, por ejemplo, han sido útiles para el control de ácaros y larvas de las moscas de la fruta, *Anastrepha suspensa* y *Dacus* sp., en frutos de mango y de papaya (Couey *et al*., 1985).

Cuando no hay forma de certificar si el material vegetal está sano y libre de plagas y enfermedades, las plantas se cultivan en invernaderos y sitios aislados, los cuales se mantienen en observación en estaciones

de cuarentena. Las estaciones de cuarentena tienen instalaciones en las cuales las plantas pueden crecer en completo aislamiento biológico, bajo estrictas condiciones fitosanitarias hasta que se asegure que las plantas están libre de plagas, usualmente en un período mayor a la duración del ciclo de vida de la plaga (Dent, 1991). También se recomienda mantener los clones de cultivos perennes en períodos de cuarentena, en un tercer país, ubicado en regiones templadas, ya que es poco probable que las plagas exóticas provenientes de una región tropical puedan sobrevivir si llegasen a escapar (Hill y Waller, 1982).

Sin embargo, todavía existe una gran cantidad de plagas de cultivos que no se han dispersado o no han sido introducidas a otros países. Esto ha conllevado a que los países tomen medidas fitosanitarias y de cuarentena en los aeropuertos, en los puertos marítimos de entrada a las ciudades y en las carreteras, para prevenir la entrada de material vegetal y de plagas. En este sentido, la cuarentena, a pesar de ser una medida de tipo legislativo, actúa como una forma de control, ya que son usadas para prevenir la dispersión de plagas importantes a lo largo de las fronteras internacionales (Dent, 1991).

Cuarentena

Los crecientes niveles de exportación y transporte internacional de material vegetativo (plantas ornamentales, flores, frutas, verduras, semillas, maderas, fibras vegetales, artesanías con material vegetal, empaques de madera, muebles, etc.) que se da entre diferentes países en el marco de las políticas de tratado de libre comercio, conlleva al riesgo creciente de introducciónes accidentales y de dispersión de insectos plaga (Singh, 1988; Zimmerman, 1990; Dent, 1991). Las especies de insectos que no pueden dispersarse a grandes distancias por métodos naturales ya que son pequeñas o no tienen suficiente capacidad de vuelo, pueden ser inadvertidamente transportadas de un país a otro o de un continente a otro ya sea en forma de adulto o en estado de larva, huevo o pupa en los embalajes o contenedores de frutas, flores, granos, semillas y en todo tipo de material vegetal o animal, por los medios de transporte fluvial o marítimo como los barcos y los transportes aéreos, o por las mismas personas cuando transportan una simple fruta en el equipaje de mano (Dent, 1991).

El riesgo que trae consigo la introducción accidental de plagas de un país a otro y que puede causar graves problemas a la agricultura, a los cultivos forestales y ornamentales y la introducción de insectos vectores de enfermedades de interés médico que pueden afectar la salud de las personas, ha llevado a que los países adopten leyes y medidas cuarentenarias, fitosanitarias y zoosanitarias para el control, la seguridad y el diagnóstico sanitario y epidemiológico animal y vegetal en los principales puertos marítimos y aeroportuarios (Zimmerman, 1990). Para tal fin las disposiciones cuarentenarias condicionan, regulan, restringen o prohíben la introducción, transporte o existencia de plantas o productos vegetales. La cuarentena puede ser externa o interna, en un área o región de protección en todo el país o un departamento (Cisneros, 1995).

Las bases legales de dichas cuarentenas se realizan en Colombia a través del Ministerio de Agricultura quien expide leyes y decretos reglamentarios que prohiben, regulan o controlan el transporte de material vegetal, el manejo de la sanidad vegetal, el manejo de la sanidad animal, el control técnico de insumos agropecuarios, así como el del material genético animal y las semillas para siembra. Todas estas actividades deben estar encaminadas a cumplir las acciones y disposiciones legales necesarias para la prevención, el control, la supervisión, la erradicación o el manejo de enfermedades, plagas, arvenses o cualquier otro organismo dañino que afecten las plantas, los animales y sus productos (Artículo 2, Decreto 1840/94). En dicho decreto se cubren todas las especies animales y vegetales y sus productos derivados, el material genético animal y las semillas para las siembras existentes en el país o que se encuentren en proceso de introducción al territorio nacional, como también los insumos agropecuarios (Art. 1, Decreto 1840/94).

Algunos ejemplos de las plagas cuarentenarias más importantes en diversos países incluyen la mosca del mediterráneo *Ceratitis capitata*, la mosca de la manzana *Rhagoletis pomonella*, el escarabajo japonés *Popillia japonica*, el picudo del algodonero *Anthonomus grandis*, la mosca mexicana de las frutas *Anastrepha ludens,* la mosca suramericana de las frutas *Anastrepha fraterculus,* la mosca oriental de las frutas, *Dacus dorsalis;* el escarabajo colorado de la papa, *Leptinotarsa decemlineata;* la polilla guatemalteca de la papa, *Tecia solanivora;* la polilla de la papa, *Phthorimaea operculella;* los trips de las palmas, *Thrips palmi;* la

cochinilla rosada del hibisco, *Maconellicoccus hirsutus,* entre muchos otros (ICA, 2005). Solo por citar algunos ejemplos, el departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) y el servicio Forestal de ese mismo país, tienen una lista de plagas potenciales de interés cuarentenario para la madera de *Eucalyptus* sp., que se importa de Suramérica, en la cual se incluyen 175 insectos y 58 patógenos (USDA, 2001). La asociación de Floricultores de Colombia incluye 122 plagas cuarentenarias exóticas, 111 plagas endémicas y 232 plagas mundiales en la floricultura (ICA, 2004).

Cuarentena externa

Cuando se trata de evitar el ingreso al país de las plagas y enfermedades peligrosas que no existen o están muy poco difundidas, la cuarentena externa puede ser absoluta o parcial. Cuando es absoluta no se permite la entrada al país de material que pueda contener el problema o parcial, si éste se puede introducir previo el cumplimiento de requisitos que se impongan que garanticen su inocuidad. (Cisneros, 1995). Como ejemplo está el caso de la cochinilla rosada del hibisco, *Maconellicoccus hirsutus* (Green) (Hemiptera: Pseudococcidae), un insecto originario de India y que de allí se ha dispersado al trópico y subtrópico del mundo. En la década de los noventa llegó al Caribe en el continente americano, posiblemente en embarques de plantas ornamentales (Cermeli *et al*., 2002). *M. hirsutus* es un insecto polífago que tiene más de 350 especies de plantas hospederas, distribuidas en 218 géneros y 70 familias botánicas, incluidos 215 cultivos como el café, algodón, cacao, aguacate, caña de azúcar, frutales, plantas ornamentales, hortalizas, especies forestales y flores (Padilla, 2000). Es considerada una especie de gran importancia económica, no sólo por el daño directo que causa a las plantas cultivadas sino también por su importancia cuarentenaria y los problemas que esto acarrea a las exportaciones y el comercio de productos agrícolas perecederos (Cermeli *et al.,* 2002; ICA, 2004). El daño es causado por la extracción de savia de las ninfas y hembras adultas y la toxicidad causada por la saliva, produciendo severas distorsiones a las hojas y deformaciones en las yemas terminales y axilares de las plantas atacadas (Cermeli *et al*., 2002). Desde su aparición en la isla de Granada en 1993, se decretó una alerta cuarentenaria en toda la región Caribe. A pesar de estas medidas, la cochinilla rosada se ha propagado en casi todas las islas del Caribe y sigue su avance a los países limítrofes del mar Caribe (Cermeli *et al.,* 2002). En Venezuela se registró por primera vez en la Isla de Margarita, en plantas de *Hibiscus* y *Annona*, en 1999. Ante esta situación se decretó en cuarentena al estado de Nueva Esparta y se diseñaron planes para la producción de dos enemigos naturales, *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant (Coleoptera: Coccinellidae) y *Anagyrus kamali* de Moursi (Hymenoptera: Encyrtidae), utilizados en varios de los países afectados en el Caribe. En el 2000, se encontró por primera vez en tierra firme en la ciudad de Cumaná, estado Sucre y en la costa oriental del lago de Maracaibo (Cermeli *et al.* 2002). Ante esta situación el 26 de julio de 2002, el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), produjo la Resolución de Emergencia No. 01682 del 15 de julio de 2002, para declarar la emergencia fitosanitaria en todo el territorio nacional, para prevenir la entrada y establecimiento de la plaga. Sin embargo, en octubre de 2006 se reportó por primera vez en Colombia en los municipios de Maicao y Albania en el departamento de La Guajira, y en los municipios de Valledupar y la Paz, en el departamento de Cesar (Matheus *et al.,* 2006).

En Colombia se tomaron acciones significativas de control legal mediante cuarentena externa para evitar la entrada de la broca del café. En el año de 1987 se adelantó una campaña para la identificación y el reconocimiento del insecto por parte de los agricultores ubicados en regiones de la frontera con Ecuador, y se capacitó a los inspectores de las aduanas en aeropuertos y límites terrestres, para la detección del insecto. Esta campaña permitió registrar por primera vez a la broca en territorio nacional en la vereda Mateplátano en el municipio de Tumaco (Nariño) (Bustillo, 1990). Esta región, limítrofe con Ecuador, tenía establecidas pequeñas plantaciones de café en sistemas de cultivo de supervivencia. Se adelantó una estrategia de erradicación de la broca, mediante la sustitución de los cafetales por cultivos como pastos, cacao, coco, borojó, fríjol y maíz (Bustillo, 1990).

En el caso de los embalajes, la Norma Internacional sobre Medidas Fitosanitarias en Colombia (NIMF 15, Resolución ICA No.1079), en coordinación con los Ministerios de Agricultura y Desarrollo Rural y de Industria, Comercio y Turismo, describe las medidas fitosanitarias para reducir el riesgo de introducción o dispersión de plagas cuarentenarias relacionadas con el embalaje de madera (incluida la madera de estiba), fabricado de madera en bruto de coníferas y no coníferas, utilizado en el comercio internacional, que pueda representar una vía para las plagas de plantas y constituir una amenaza principalmente para los árboles vivos. El uso de bromuro de metilo, según la norma NIMF-15, podrá ser usado donde se realizan los

tratamientos fitosanitarios para el control de plagas en tejidos vegetales frescos y embalajes de madera, en los puertos y pasos fronterizos, con destino al comercio internacional.

Cuarentena interna

La cuarentena interna trata de evitar la difusión, propagación e incremento de las plagas existentes en el país o introducidas, que ocupan un área territorial limitada. En la cuarentena interna las principales medidas legales consisten en prohibir la movilización de las plantas o de sus partes, de las zonas infestadas hacia las zonas libres, estableciéndose puestos de control estratégicos en las vías de transporte (Cisneros, 1995). En Colombia, le corresponde al Instituto Colombiano Agropecuario- ICA, coordinar las acciones relacionadas con las campañas de prevención, control, erradicación y manejo de plagas y enfermedades de importancia cuarentenaria o de interés económico nacional o local. Para esto se establecen las acciones que sean necesarias para la prevención, el control, la erradicación o el manejo técnico y económico de plagas y enfermedades de los vegetales, de los animales y de sus productos (Art. 4, Decreto 1840/94).

La cuarentena agropecuaria, según el Art. 5, Decreto 1840/94, comprende todas aquellas medidas encaminadas a regular, restringir o prohibir la producción o la importación de animales, vegetales y sus productos, y restringir el movimiento o existencia de los mismos, con la finalidad de prevenir la introducción, dispersión o diseminación de plagas, enfermedades, arvenses u otros organismos, que afectan o puedan afectar la sanidad animal o la sanidad vegetal del país, o de impedir el ingreso, la comercialización o la salida del país de productos con residuos tóxicos que excedan los niveles aceptados nacional o internacionalmente.

De acuerdo al Art. 6, Decreto 1840/94, en materia de cuarentena agropecuaria, el ICA tiene las siguientes atribuciones:

a) Expedir y aplicar normas y procedimientos para el control técnico de la importación, transporte, tránsito, producción, almacenamiento y exportación de vegetales, animales y sus productos.

b) Interceptar, inspeccionar, decomisar, reexportar, tratar, destruir, colocar en cuarentena y aplicar cualquier otra medida sanitaria ante la presencia o sospecha de plagas, enfermedades o cualquier otro organismo dañino de importancia cuarentenaria, o que excedan los niveles de residuos tóxicos aceptados nacional o internacionalmente, en los materiales vegetales, animales y sus productos, con destino a la exportación, en proceso de introducción al país o movimiento en el territorio nacional.

c) Ejercer el control fitosanitario y zoosanitario de los medios de transporte que lleguen o ingresen al país, por vía marítima, fluvial, aérea o terrestre, y aplicar las medidas de prevención o control que se consideren necesarias.

d) Establecer los mecanismos adecuados para la declaratoria de áreas libres, áreas de baja prevalencia o áreas vigiladas, de plagas y enfermedades.

e) Realizar la inspección de vegetales, animales y sus productos de importación y exportación cuando las circunstancias de seguridad sanitaria del país lo ameriten o constituyan requisitos de los países importadores.

f) Realizar o contratar la investigación básica o aplicada tendiente a resolver los problemas que afecten la comercialización de vegetales, animales y sus productos.

g) Declarar el establecimiento o erradicación de plagas, enfermedades u otros organismos dañinos a los vegetales, a los animales y sus productos, siguiendo parámetros internacionalmente reconocidos.

h) Declarar zonas en cuarentena, cuando circunstancias de índole fitosanitaria o zoosanitaria lo ameriten.

i) Fijar los sitios por los cuales se permitirá la importación o exportación de vegetales, animales o sus productos.

En cuanto a la vigilancia sanitaria y epidemiológica vegetal (Art. 7), corresponde al ICA realizar todas las acciones encaminadas a la detección, determinación y cuantificación de problemas sanitarios de las distintas especies animales y vegetales, en todo el país o dentro de zonas o áreas específicas del mismo, con el objeto de evaluar su importancia y adoptar medidas para su prevención, control, manejo y erradicación. En consecuencia, el ICA, ya sea directamente o preferiblemente en asocio con otras entidades o a través de organismos acreditados, deberá establecer los mecanismos que considere necesarios para:

a) Diagnosticar e identificar en el campo y en el laboratorio, los problemas fitosanitarios y zoosanitarios y de riesgos para la salud humana, que afecten la producción y el comercio nacional e internacional de vegetales, de animales y de sus productos.

b) Realizar el reconocimiento periódico de la incidencia y prevalencia, a través del tiempo y del espacio, de las principales plagas y enfermedades que afecten a la producción agrícola y pecuaria del país, determinando en esta forma su distribución geográfica y su dinámica poblacional.

c) Registrar y analizar periódicamente la información recopilada y hacer los correspondientes análisis y estudios económicos, manteniendo un sistema nacional de información fitosanitaria y zoosanitaria.

d) Supervisar, inspeccionar y certificar la condición fitosanitaria y zoosanitaria de hatos, cultivos, plantas procesadoras o empacadoras, viveros, silos, bodegas o almacenes de depósito, y otros, cuando el caso lo requiera.

e) Determinar el grado de importancia económica y social de las plagas, enfermedades, arvenses y otros organismos, con la finalidad, de planificar programas y campañas de prevención, control, erradicación o manejo, en coordinación y con la participación de los productores.

f) Mantener un sistema de vigilancia y alerta fitosanitaria y zoosanitaria que permita brindar de manera oportuna, recomendaciones a los productores, sobre técnicas para la prevención y el efectivo control y manejo de plagas, enfermedades y malezas.

Cuando se presenten emergencias sanitarias y un problema sanitario amenace severamente la salud animal o la sanidad vegetal (Art. 12), el Gobierno Nacional, por intermedio del ICA, podrá declarar el estado de emergencia sanitaria, dentro del cual se deben tomar las siguientes medidas previstas en el decreto:

a) Interceptación, reexportación, decomiso, destrucción o desnaturalización, según el caso, de material vegetal y productos de origen animal e insumos agropecuarios, ya sea en proceso de introducción al país, o en cualquier parte del territorio nacional.

b) Interceptación, decomiso y sacrificio de animales, en proceso de introducción al país, en lugares de ingreso o en cualquier parte del territorio nacional.

c) Aplicación de tratamientos para erradicar plagas, enfermedades y arvenses exóticas, en cualquier parte del territorio nacional.

d) Erradicación o destrucción parcial o total de cultivos o productos en cosecha o postcosecha, afectados por plagas o enfermedades exóticas, y aplicación de vedas en cualquier parte del territorio nacional.

e) Aplicación de tratamientos sanitarios o sacrificio de animales o incineración de animales y vegetales y sus productos, en cualquier parte del territorio nacional.

f) Prohibición del transporte de vegetales, animales y sus productos, desde o hacia zonas afectadas.

g) Medidas de cuarentena, destrucción o eliminación, transformación, desinfección de animales y sus productos, así como las medidas de vigilancia para evitar la reinfección.

Las estrategias de control legal de la broca del café en Colombia, por medio de cuarentena interna, incluyeron las medidas de confinamiento adelantadas en el municipio de Ancuyá, Nariño, una vez se registró el insecto en el mes de mayo de 1989. Dado que éste fue el primer registro realizado en una región cafetera no aislada en el país, la Federación Nacional de Cafeteros, en colaboración con el ICA, adelantó un plan para evitar la dispersión del insecto a otras áreas cafeteras de importancia. Este plan comenzó con la recolección total de los frutos de los cafetales del municipio por parte de los productores, la venta exclusiva de este café con precio subsidiado en la cabecera municipal, la esterilización de los costales donde se transportó el café (lo cual fue requisito indispensable para acceder al pago del café vendido), el establecimiento de sitios de inspección y decomiso de café proveniente de las áreas de infestación en todas las salidas del municipio hacia otras regiones cafeteras (incluyó vías de acceso terrestre para automotores y caminos de herradura veredales), y la incineración en hornos, del café recolectado en la cosecha sanitaria.

Estos esfuerzos de confinamiento iniciales fueron abandonados unos meses más tarde, después del hallazgo del insecto en los municipios vecinos de Sandoná, Linares, Consacá, Guitarilla y Los Andes (Bustillo, 1990), y se descartó como estrategia útil, posterior a la detección de la broca en una región distante en el departamento de Antioquia. Este tipo de control no hubiese sido exitoso dado que la broca posiblemente invadió a Colombia mediante introducciones múltiples (Benavides *et al*. 2005), provenientes de diferentes países.

Reglamentación de cultivos

La reglamentación o regulación de cultivos tiene por finalidad establecer las condiciones menos propicias para la supervivencia y proliferación de las plagas. La reglamentación es el dispositivo legal que considera una serie de medidas culturales y de control que deben cumplirse obligatoriamente en toda una región o departamento, a fin de obtener el máximo beneficio (Cisneros, 1995). De acuerdo con el Art. 6, Decreto 1840/94, en materia de reglamentación de cultivos, y con el fin de prevenir, erradicar y controlar plagas, enfermedades u otros organismos dañinos de importancia cuarentenaria, el ICA aplica las siguientes normas:

- Determinación de épocas de siembra
- Plazos límites para la finalización de cultivos
- Destrucción de residuos y zocas de cultivos
- Destrucción de plantaciones abandonadas

Por ejemplo, para el cultivo del algodón en Colombia, el ICA mediante resoluciones fija las fechas límites para la destrucción de zocas y el recibo de algodón, en diferentes áreas o departamentos, con el fin de regular o controlar la incidencia y dispersión del picudo del algodonero, *Anthonomus grandis*, que es la principal plaga causante de los mayores daños al cultivo, para lo cual es necesario disminuir su prevalencia mediante la puesta en práctica del manejo integrado de plagas con el control etológico y la destrucción de zocas. En este sentido se establecen vedas por un período mínimo de 90 días, comprendidos entre la fecha límite para la destrucción total de zocas de algodón y la fecha de iniciación de siembra de semilla de algodón. En este período de veda se da plazo para que los agricultores de una determinada región destruyan las zocas y los cultivos abandonados, en dos etapas: mediante la destrucción total de la parte aérea por medios mecánicos o manuales, y luego, mediante arado y rastrillo, las veces que sean necesarias hasta destruir los rebrotes y las plantas germinadas (ICA, 2000).

Antes de entregar la semilla a los agricultores, las agremiaciones algodoneras legalmente registradas ante el ICA, en cumplimiento al acuerdo concertado con el Plan Nacional de Exclusión, Supresión y Erradicación Económica del picudo, *Anthonomus grandis,* están obligadas a suministrar a los agricultores afiliados los "tubos matapicudos", en la cantidad de un tubo por hectárea, para contribuir al control etológico de esta plaga. Los tubos matapicudos deberán instalarse en los lotes que se sembraron en algodón, en dos épocas, así: inicialmente en la destrucción de las zocas y después, al momento de la siembra. Por otra parte, los agricultores afiliados a las diferentes agremiaciones algodoneras de una determinada región, están en la obligación de instalar en sus respectivos lotes sembrados durante la cosecha, la cantidad de un tubo

matapicudo por hectárea, en las épocas señaladas en el Art. 10, de acuerdo a lo establecido en el "Plan Nacional de Exclusión, Supresión y Erradicación Económica" de esta plaga (ICA, 2000).

Para el cultivo del café, con respecto al manejo de la broca del café, las medidas reglamentarias dispuestas por el ICA están descritas en las resoluciones No.2581 del 1 de septiembre de 1995, por la cual se establecen medidas de carácter fitosanitario para el manejo de la broca del café y en la resolución No.00321 del 2 de marzo de 1999, por la cual se establecen disposiciones para la renovación o eliminación de cafetales que presentan infestaciones de la broca del café.

La Resolución No.2581 contiene los siguientes artículos y parágrafos:

ARTÍCULO PRIMERO: Establecer de carácter obligatorio que todo productor de café debe mantener árboles de café sin frutos maduros mediante recolecciones oportunas y repases permanentes para evitar granos sobremaduros y secos. El beneficio del grano debe hacerse en forma oportuna, cubriendo con plástico el café cereza en la tolva y tratando la pulpa en un solo sitio.

ARTÍCULO SEGUNDO: Prohíbese el transporte de café cereza y seco de agua, de zonas afectadas por la broca hacia áreas libres de la plaga.

PARÁGRAFO PRIMERO: Para el transporte de café pergamino seco y pasillas de zonas afectadas hacia áreas libres, se requiere, por parte del interesado, la aplicación del tratamiento respectivo, determinado por el ICA.

PARÁGRAFO SEGUNDO: La aplicación de dicho tratamiento deberá constar en un documento que se denominará "certificado de tratamiento fitosanitario" el cual será expedido por la autoridad que autorice o delegue el ICA para tal efecto.

ARTÍCULO TERCERO: Los cafetales abandonados con o sin broca deberán ser sustituidos, renovados o erradicados para evitar que se conviertan en focos de infestación.

Entiéndase por sustitución el cambio de explotación de café por otro renglón de producción agropecuaria.
La renovación es la tecnificación del cultivo a través del zoqueo o nuevas siembras.
La erradicación consiste en la eliminación total del cultivo.
Para cada una de las acciones anteriores, se seguirá el procedimiento técnico establecido por la Federación Nacional de Cafeteros y el ICA.

ARTÍCULO CUARTO: La violación a las disposiciones establecidas en la presente resolución, sus reglamentos y demás normas que regulan la materia, serán sancionadas mediante resolución motivada que expida el ICA conforme a lo establecido en el decreto 1840 de 1994.

ARTÍCULO QUINTO: Los funcionarios del ICA, que están obligados a hacer cumplir las disposiciones de la presente resolución, gozarán en el desempeño de sus funciones del amparo y protección de las autoridades civiles y militares.

ARTÍCULO SEXTO: Contra providencia que impongan las sanciones de que trate el artículo anterior, procederán los recursos previstos en los decretos 01 de 1984 y 2304 de 1989.

ARTÍCULO SÉPTIMO: La presente resolución rige a partir de su publicación en el diario oficial y deroga las resoluciones 4242 de 1990 y 1986 de 1992.

Reglamentación en el uso de insecticidas

Esta medida se utiliza en circunstancias específicas, para controlar o restringir por parte del gobierno el uso de algún tipo o grupo de insecticidas en particular, cuando se adelanta alguna campaña de erradicación de una plaga específica. Por ejemplo, en el caso del gusano bellotero del algodonero (*Heliothis virescens*)

en Colombia, se prohíbe el uso de insecticidas piretroides sintéticos en las épocas de floración del cultivo del algodón, para el control de esta plaga, con el fin de prevenir la resistencia a los insecticidas (Sawaki y Denholm, 1989). Igualmente, con el fin de evitar riesgos de resistencia y proteger la salud en las zonas cafeteras en Colombia, se han emitido restricciones, prohibiciones y suspensión de registros de plaguicidas como el endosulfán, para el control de la broca del café. Estas resoluciones son la 1311 del 21 de junio de 2001, por la cual se cancelan los registros de venta en Colombia a la Empresa Aventis Cropscience, Colombia, S. A., correspondiente a los productos formulados con base en endosulfán y, la Resolución 1312 del 21 de junio de 2001, por la cual se cancela el registro de venta de la Empresa Proficol S. A., correspondiente al producto Thionex 35 EC, formulado con base en endosulfán.

Erradicación de plagas

La erradicación completa de una especie exótica es casi imposible y muy costosa, ya que sólo se puede lograr mediante disposiciones legales obligatorias. Sin embargo, cuando se trata de una nueva plaga cuya infestación es incipiente o restringida a una área específica de un país y si se toman las medidas de control adecuadas y oportunas es posible erradicarla (Cisneros, 1995). Los programas de erradicación de plagas invasoras funcionan cuando se tiene buen conocimiento de la especie, su reproducción y su ciclo de vida, y si han causado invasiones en otros países para saber la mejor manera de controlarla. Por ejemplo, en Estados Unidos se ha logrado erradicar la mosca del mediterráneo de la fruta (*Ceratitis capitata*), en varias oportunidades en las zonas citrícolas de Florida y California, mediante programas muy rigurosos de aplicación masiva de insecticidas y trampas con cebos tóxicos (Cisneros, 1995).

Cuando no hay forma de erradicarla o no es posible, se procede al control de las poblaciones de la plaga a niveles aceptables, para que los daños ecológicos y socioeconómicos sean los menores posibles mediante prácticas o programas de Manejo Integrado de Plagas, como es el caso para la broca del café en Colombia (Bustillo *et al*., 1998; Bustillo, 2002).

Reglamentación de plaguicidas

El Código Internacional de Conducta para la Distribución y Utilización de Plaguicidas elaborado por la FAO en 1986, es uno de los primeros códigos de conducta voluntaria, encaminado a conseguir una mayor seguridad alimentaria y, al mismo tiempo, proteger la salud humana y el medio ambiente. El Código establece normas de conducta de carácter voluntario para todas las entidades públicas y privadas que intervienen en la distribución y utilización de plaguicidas o tienen relación con las mismas, y desde su adopción ha sido la norma aceptada en todo el mundo para el manejo de los plaguicidas (FAO, 1986).

En Colombia, el ICA por delegación del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y de conformidad con el Decreto 1840/94 y la resolución 3079 de 1995, realiza el control técnico de los insumos agrícolas que se comercializan en el territorio nacional mediante el registro de productores, que implica la autorización para la importación de los productos terminados y las materias primas utilizadas en la producción. Igualmente autoriza la exportación de plaguicidas y realiza el registro de importadores y de laboratorios para el control de la calidad de los productos, así como el registro de venta de los productos a comercializar.

De acuerdo al Art. 9, Decreto 1840/94, corresponde al ICA ejercer el control técnico de los insumos agropecuarios, material genético animal y semillas para siembra, determinando los requisitos para el registro, fabricación, formulación, importación, uso y aplicación de insumos agropecuarios, por parte de empresas o personas naturales o jurídicas acreditadas para la certificación de la calidad, la eficacia y la seguridad de los insumos agropecuarios. Igualmente, le corresponde establecer los requisitos que deben cumplir las personas interesadas en adelantar investigación y desarrollo de plaguicidas químicos y biológicos con destino al registro de venta o a la ampliación del mismo como requisito previo al permiso especial de experimentación que expida el Ministerio de Salud, según los artículos 29 y 30 del Decreto 1843 de 1991. También establecer los requisitos de calidad, eficacia y seguridad, y las metodologías y procedimientos de referencia en la producción de estos insumos agropecuarios, a fin de minimizar los riesgos que provengan del empleo de los mismos y facilitar el acceso de estos productos al mercado nacional e internacional.

Por último, aplicar las medidas de emergencia y seguridad necesarias, tendientes a proteger la sanidad y la producción agropecuaria del país; supervisar, controlar y hacer seguimiento al cumplimiento de los requisitos establecidos en sus reglamentaciones y normas complementarias.

Por su parte el Ministerio de Salud, de acuerdo con el Decreto 1843 de 1991, expide el concepto toxicológico, el cual consiste en una serie de pruebas de toxicidad aguda, subaguda y crónica, en mamíferos, que generalmente realizan las casas comerciales en sus países de origen, para los productos formulados que se apliquen en el país y los permisos de experimentación bajo protocolos específicos. Este decreto busca mantener una dinámica de integración entre los Ministerios de Agricultura, a través del ICA, y de Salud, la industria y usuarios para el estudio y planeación de soluciones a la situación de los plaguicidas en Colombia (MMA, 1996).

El Ministerio de Salud clasifica los plaguicidas en cuatro (4) categorías toxicológicas, así:

Categoría I: Extremadamente Tóxica
Categoría II: Altamente Tóxica
Categoría III: Medianamente Tóxica
Categoría IV: Ligeramente Tóxica

Para determinar los niveles de residuos de los plaguicidas los organismos oficiales encargados son: El ICA, que determina los niveles de residuos en los productos de cosecha, a través del Laboratorio Nacional de Insumos Agrícolas, que realiza los estudios conducentes a determinar niveles de residuos de plaguicidas al momento de la cosecha en cultivos comerciales, con el fin de diagnosticar problemas en las zonas productoras y adelantar programas divulgativos en procura de que éstos sean utilizados de una manera más racional. En los alimentos es el INVIMA, Instituto Nacional para la Vigilancia de Medicamentos, Drogas, Alimentos y Varios, entidad responsable de determinar los niveles de residuos de plaguicidas en los alimentos procesados (MMA, 1996).

La industria de plaguicidas deberá por su parte asegurar: 1) Que cada plaguicida sea probado eficaz y adecuadamente mediante procedimientos y métodos de ensayo reconocidos, a fin de evaluar completamente su eficacia, comportamiento, destino, peligro y riesgo del plaguicida en relación con las distintas condiciones previstas en las regiones o países en los que se utilice; 2) Asegurar que tales ensayos se realicen con sólidos procedimientos científicos y en consonancia con los principios de las buenas prácticas de laboratorio; 3) Facilitar copias o resúmenes de los informes originales de tales ensayos, para su evaluación por las autoridades gubernamentales competentes, de todos los países donde el plaguicida va a ofrecerse para la venta. La evaluación de los datos deberá encomendarse a especialistas calificados; 4) Igualmente, deben asegurar que la modalidad de uso propuesto, las declaraciones e instrucciones que figuran en la etiqueta, los envases, la literatura técnica y la publicidad, reflejen verdaderamente el resultado de dichos ensayos y evaluaciones científicas (FAO, 1986).

Con el Decreto No.1753 de 1994 del Ministerio del Medio Ambiente, en su Art. 7, se establecen los casos en los cuales se requiere de licencias ambientales y en su Numeral 8 se especifica esta licencia para la producción, importación de plaguicidas y aquellas sustancias, materiales y productos sujetos a controles por virtud de tratados, convenios y protocolos internacionales ratificados por Colombia.

A nivel internacional el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), con el objetivo general de mejorar el manejo y manipulación de sustancias químicas en todos los países, intercambia información científica sobre los riesgos asociados a las sustancias tóxicas para proteger la salud humana y el ambiente, aplicando las mismas normas tanto para los productos químicos que se producen para uso interno como para la exportación, y haciendo referencia a todas las sustancias químicas y plaguicidas que están prohibidos o severamente restringidos en los países (MMA, 1996).

Literatura citada

BENAVIDES, P.; VEGA, F.; ROMERO, J.; BUSTILLO, A. E.; STUART, J.. 2005. Biodiversity and biogeography of an important inbred pest of coffee, coffee berry borer (Coleoptera:Curculionidae: Scolytinae). Annals of the Entomological Society of America, 98 (3): 359-366.

BUSTILLO, A. E. 1990. Perspectivas de un manejo integrado de la broca del café *Hypothenemus hampei* en Colombia. *In*: Seminario sobre la broca del café. Sociedad Colombiana de Entomología (Socolen). Medellín, Colombia, p. 106- 118.

BUSTILLO, A. E. 2002. El manejo de cafetales y su relación con el control de la broca del café en Colombia. Boletín Técnico Cenicafé, Chinchiná (Colombia). No. 24, 40 p.

BUSTILLO, A. E. 2006. Una revisión sobre la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) en Colombia. Revista Colombiana de Entomología 32(2): 101-116

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 (Colombia), Cenicafé, Editorial Feriva, 134 p.

CÁRDENAS, R.; POSADA, F. J. 2001. Los insectos y otros habitantes de cafetales y platanales. Comité Departamental de Cafeteros del Quindío y Cenicafé. Armenia, Colombia, 120 p.

CERMELI, M.; MORALES, P.; GODOY, F.; ROMERO, R.; CÁRDENAS, O. 2002. Presencia de la cochinilla rosada de la cayena, *Maconelliccocus hirsutus* (Green) (Hemiptera: Pseudococcidae) en Venezuela. Entomotrópica, 17 (1): 103-105.

CISNEROS, F. 1995. Control de plagas. Segunda Edición. The Hofshi Foundation, Lima, Perú, 313 p.

COUEY, H. M.; ARMSTRONG, J. W.; HYLIN, J. W.; THORNBURG, W.; NAKAMURA, A. N.; LINSE; E. S.; VETRO, R. 1985. Quarantine procedure for Hawaii papaya, using a hot-water treatment and high-temperature, low dose ethylene dibromide fumigation. Journal of Economic Entomology, 78: 879-884.

DENT, D. 1991. Insect pest management. C.A.B. International, Oxon, U. K ., 604 p.

FAO. 1986. Código internacional de conducta para la distribución y utilización de plaguicidas. Roma, 26 p.

HILL, D. 1983. Agricultural insect pests of the tropics and their control. Second Edition, Cambridge University Press, p. 17-50.

HILL, D.; WALLER, J. M. 1982. Pests and diseases of tropical crops. Vol. 1, Principles and methods of control. Longman, London and New York, 450 p.

ICA. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. 2004. Informe de gerencia. Bogotá, Colombia, 35 p.

ICA. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. 2005. Informe de gerencia. Bogotá, Colombia, 43 p.

ICA. CONALGODON, MADR, CORPOICA, FFA. 2000. Plan nacional de exclusión, supresión y erradicación económica del picudo del algodonero *Anthonomus grandis* Boheman (Coleoptera: Curculionidae). Corpoica, Tibaitatá, Colombia. 51 p.

KAHN, R. P. 1982. The host as a vector, exclusion as a control. *In*: Harris, K.; Maramorosch, K., eds. Pathogens, vectors, and plant diseases. Academic Press, New York, p. 123-149.

MATHEUS, H.; RODRÍGUEZ, J.; ALARCÓN, J. J. 2006. La cochinilla rosada del hibisco, una amenaza para la agricultura. Asohfrucol - ICA, Bogotá, Colombia, 6 p.

MMA. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE 1996. Lineamientos para una política de plaguicidas. Bogotá, Colombia, 64 p.

PADILLA, M. R. 2000. Bioecología de la cochinilla rosada y su riesgo de ingreso en Honduras. Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica), 57: 10-22.

SAWAKI, R. M.; DENHOLM, I. 1989. Insect resistance management revisited. *In:* McFarlane, N. R. (ed.), Progress and prospects in insect control. BCPC Monograph No. 43. British Crop Protection Council, Farnham, U.K, p.191-203.

SINGH, K. G. 1988. New pest threats and plant quarantine development in the Southeast Asia Region. PLANTI News, 7: 3-7

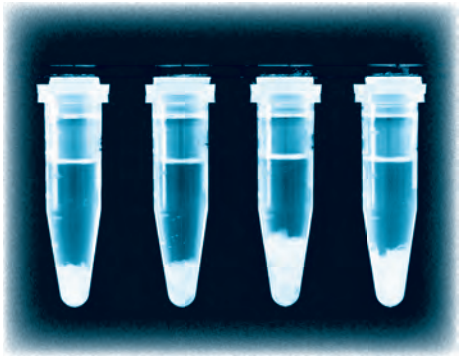
USDA, FOREST SERVICE. 2001. Pest risk assessment of the importation into the United States of unprocessed *Eucalyptus* logs and chips from South America. General Technical Report, FPL- GTR-124. 134 p.

ZIMMERMAN, N. L. 1990. Coleoptera found in imported stored-food products entering southern California and Arizona between December 1984 through December 1987. Coleopterists Bulletin, 44: 235-240.

Sección III

La genética y los insectos

La genética juega un papel importante en la problemática de los insectos plagas, al permitir por medio de técnicas modernas, no sólo conocer información sobre su identidad taxonómica, sino mecanismos importantes relacionados con las plantas que afectan, también los fenómenos de resistencia que los insectos desarrollan a los productos químicos que se utilizan para su combate, y el uso de métodos de control, basados en la manipulación del genoma de los insectos.



CAPÍTULO 17

Aspectos genéticos relacionados con la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari)

Pablo Benavides Machado

Comportamiento reproductivo de la broca del café

La broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae), es una especie de la subfamilia Scolytinae que ha desarrollado habilidades para reproducirse mediante cruces fraternos (Gingerich *et al*.,1996). Las especies que han evolucionado a este tipo de reproducción pueden caracterizarse por: 1) Una alta proporción sexual que favorece a las hembras; 2) Apareamientos antes de la dispersión en el campo; 3) Colonización de nuevos huéspedes por parte de las hembras; y 4) La presencia de machos más pequeños que las hembras y sin alas funcionales (Kirkendall, 1993). En la broca del café, las hembras superan en número a los machos, en una proporción de 10 a 1 (Bergamin, 1943). Además, sólo las hembras colonizan nuevas cerezas de café, ya que los machos, fuera de ser más pequeños, no poseen alas membranosas, por lo que son incapaces de volar. Se presume de esta manera que dentro de la almendra, las hembras deben aparearse con los machos de su misma progenie (hermanos), antes de emprender el vuelo para colonizar nuevas cerezas de café.

La broca posee, además de su comportamiento reproductivo, unas condiciones biológicas y genéticas que le aseguran un alto nivel de endogamia. Mientras estudios citológicos revelan que tanto las hembras como los machos son diploides, estos últimos fallan en expresar y transmitir un set de cromosomas. Aunque dos pares de cromosomas están presentes en los espermatocitos primarios, un par no se alinea durante la única división meiótica y sólo un par de éstos es empaquetado en el esperma. De esta manera, la broca es considerada funcionalmente haplodiploide (Brun *et al*., 1995).

La razón por la cual la broca no puede ser considerada como un organismo totalmente haplodiploide, es decir, que huevos infértiles dieran lugar a machos y aquellos fértiles a hembras, yace precisamente en la incapacidad de este insecto para producir huevos viables cuando éstos no son fertilizados. Los huevos infértiles de la broca no se desarrollan, de esta manera tanto los machos como las hembras provienen de huevos fertilizados diploides.

Estudios posteriores realizados por Brun *et al*. (1995) (Figura 17.1), indicaron que el set de cromosomas que se condensa durante la meiosis y no es expresado en células somáticas ni transmitido a las células reproductivas, es aquel proveniente del macho, por lo que la progenie de la broca hereda aquellos genes provenientes estrictamente de su madre progenitora, y se dice que la broca se reproduce mediante líneas estrictamente maternales (Benavides *et al*., 2005). Dicho en otras palabras, las brocas hembras poseen únicamente el material genético materno y, por lo tanto, podrían ser consideradas como clones de ésta.

Los análisis citológicos realizados en cariotipos provenientes de células somáticas de hembras y de machos, muestran que las hembras son diploides, con un contenido 2n = 14 cromosomas. Mientras que los machos muestran claramente la presencia de siete cromosomas y una masa condensada de material heterocromático, que corresponde a los cromosomas que no se alinearon durante la división meiótica y, que a su vez, no se expresaron en los hijos ni se transmitieron a la progenie.

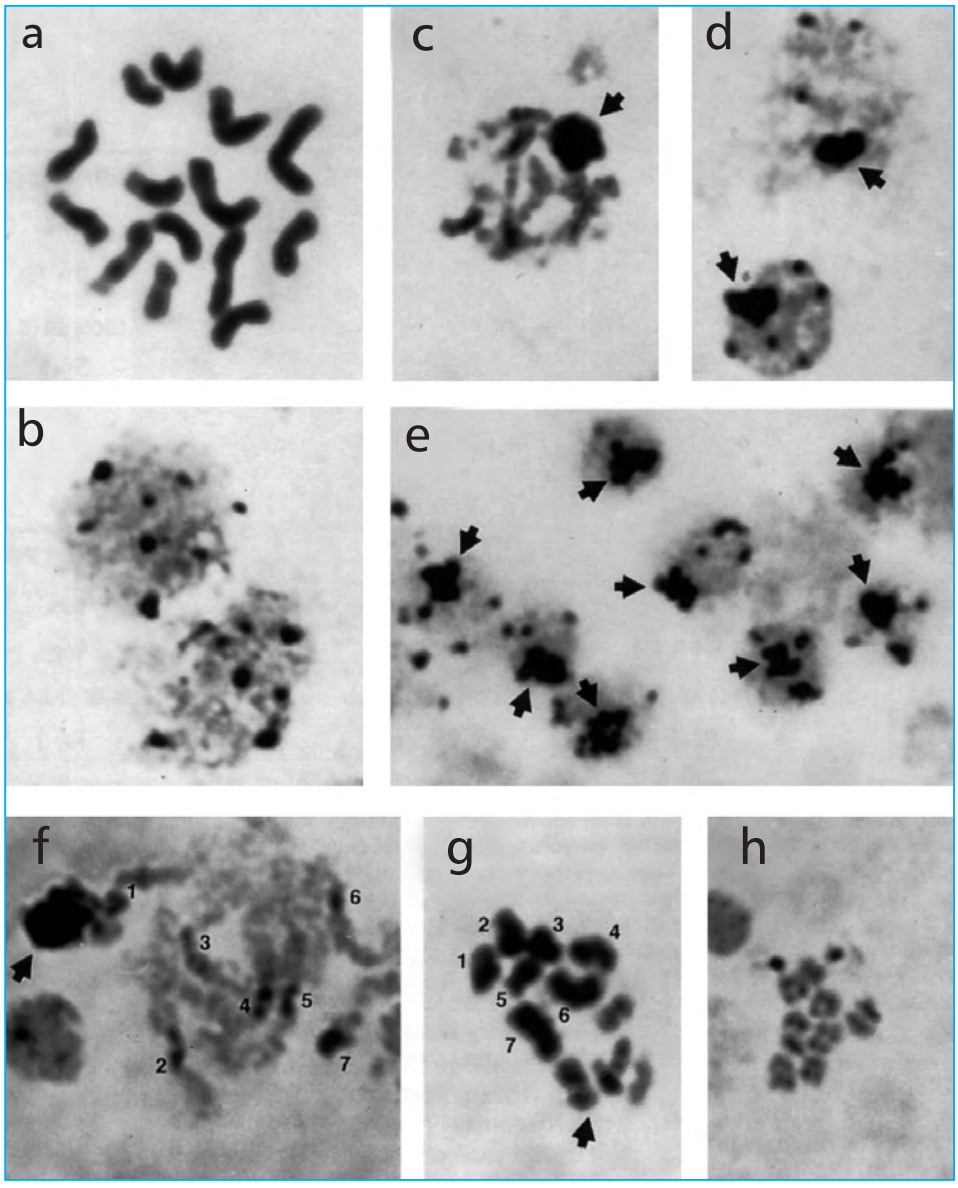


Figura 17.1. Citología de tejidos somáticos de hembras **(a y b)** y machos **(c - e)** de broca, y células reproductivas de machos **(f - g).** Los neuroblastos de las hembras muestran 2n=14 cromosomas en metafase **(a)** y centromeros correspondientes en interfase **(b)**. Neuroblastos de machos en profase **(c)** e interfase (**d y e**). La masa oscura de heterocromatina presente sólo en los machos muestra la condensación del set de cromosomas paterno en la broca. Espermatocitos en profase I **(f)**, metafase I **(g)** y anafase I temprana **(h)**. Los cromosomas paternos parecen desaparecer a medida que transcurre la meiosis I y desaparecen finalmente. No existe meiosis II, por lo que la espermatogénesis es esencialmente mitótica (Tomado de Brun *et al.*, 1995).

Wolbachia y determinación sexual

La probacteria *Wolbachia*, la cual ha sido registrada como distorsionador de la determinación sexual en varios insectos (Jeyaprakash y Hoy, 2000), se amplificó, clonó y secuenció a partir de ADN genómico de la broca proveniente de diferentes países (Vega *et al*., 2002) (Figuras 17.2 y 17.3). Son varios los mecanismos reportados, por los cuales *Wolbachia* puede actuar como un distorsionador de la determinación sexual en insectos. Uno

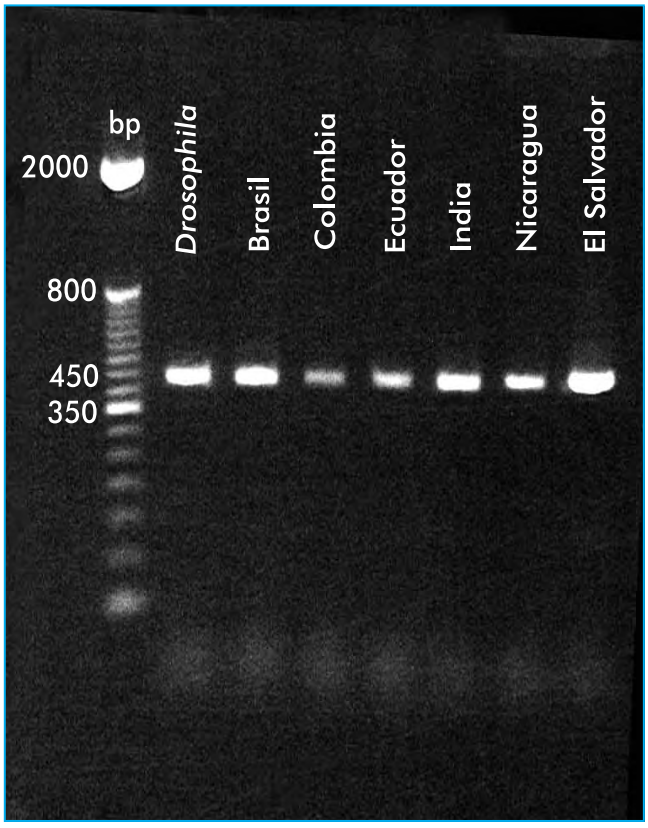


Figura 17.2. Detección de la probacteria *Wolbachia* en ADN genómico total de brocas provenientes de Brasil, Colombia, Ecuador, India, Nicaragua y El Salvador. El marcador molecular es *DNA ladder* (50bp; Gibco BRL), y el control *Drosophila* se refiere a una muestra control positiva donde *Wolbachia* se había detectado con anterioridad. Muestras provenientes de Camerún, República Dominicana, Jamaica, Indonesia y Perú no amplificaron *Wolbachia*, incluso posterior a la secuenciación del fragmento a partir de la broca. La no amplificación en estas muestras pudo deberse a la ausencia de *Wolbachia* en insectos recolectados en estos países, o a diferencias en las secuencias de ADN, o quizás a que la cantidad de ADN era muy baja o de regular calidad (Tomado de: Vega *et al*. 2002).

de ellos es conocido como feminización o conversión sexual, en el cual individuos genéticamente machos se convierten en hembras funcionales (Rousset *et al*.,1992). Igualmente, *Wolbachia* puede causar incompatibilidad citoplasmática, en la cual la fertilidad depende de la ausencia o la presencia de la probacteria en el macho o la hembra (O'Neill *et al*., 1997; Bourtzis y O'Neill, 1998).

Otra función de *Wolbachia* es la inducción de partenogénesis (Stouthamer *et al*., 1990; Zchori-Fein *et al*., 1992), lo que ocasiona la muerte de machos (Fialho y Stevens, 2000; Hurst *et al*., 2000; Jiggins *et al*., 2000); sin embargo, no existen evidencias contundentes de partenogénesis en la broca del café (Barrera *et al*., 1995). De la misma manera como *Wolbachia* ha sido reportada en otros insectos como determinador sexual, pareciera probable que esta probacteria esté jugando también un papel significativo en la broca del café. Tanto el comportamiento reproductivo de la broca como los mecanismos genéticos evidenciados en las limitadas investigaciones realizadas sobre ésta, permiten sugerir que *Wolbachia* puede estar causando incompatibilidades citoplasmáticas, y su efecto se podría explicar por una remoción o modificación de proteínas involucradas en la condensación y recondensación de cromosomas antes y después de la formación del cigoto (Bourtzis y O'Neill, 1998; Feder *et al*., 1999).

Las consecuencias del cruce fraternal y la haplodiploidía funcional que enmarcan el comportamiento reproductivo de la broca, necesariamente deben estar representadas en una alta endogamia de líneas estrictamente maternas, lo cual tiene como efecto la disminución de la variabilidad genética de este insecto en su desarrollo evolutivo. Esta extremadamente baja variación sugiere que la broca, a pesar de haber sido tan exitosa en colonizar casi la totalidad del área de café sembrada en el mundo, debe poseer un bajo mecanismo de defensa a compuestos novedosos de control (compuestos de antibiosis, proteínas tóxicas provenientes de otros organismos), y quizás no pueda sobreponerse a nuevas estrategias de control genético (plantas transgénicas con resistencia o introducción de genes deletéreos en la población de campo).

Variabilidad genética de la broca en una colección mundial

Con el fin de determinar la variabilidad genética de la broca en una colección mundial (Benavides *et al*., 2005), se obtuvieron alrededor de 100 muestras provenientes de África, Asia, Centro y Sur América y las islas del Caribe. Se estableció la variabilidad genética de la broca mediante el uso de la técnica AFLP. Un mayor número de variaciones genéticas se encontró en las poblaciones de Uganda, las cuales tuvieron de dos a siete veces más variabilidad que cualquier otro país, excepto Brasil (Tabla 17.1). Sin embargo, la naturaleza de las muestras provenientes de este último país, indica que su variabilidad genética fue sobreestimada. Estas observaciones fueron consistentes con investigaciones previas de la biología de la broca. La extremadamente baja variabilidad genética encontrada en este insecto es consistente con las observaciones realizadas por Andreev *et al*. (1998), y además con lo esperado de un insecto altamente endogámico como la broca. Igualmente, se descubrió una mayor variabilidad genética cercana al presunto centro de origen, Uganda, que en las otras regiones productoras de café. La gran variación genética en dos fincas de Brasil, fue consistente con los registros históricos de la colonización de este insecto en ese país. La broca invadió inicialmente América con la introducción de semillas de café infestadas a Brasil, en 1913, provenientes de El Congo y Java. De esta manera, la mayor variabilidad genética esperada en Brasil era mayor que en otros países americanos, como por ejemplo México (Figura 17.3). Al tomar todos estos hallazgos, estas observaciones estarían indicando que las huellas moleculares reveladas mediante la técnica de AFLP podrían ser de uso en la determinación de la biogeografía de esta plaga, y para esto se realizó un análisis de varianza molecular AMOVA.

```
TGGTCCAATA AGTGATGAAG AAACTAGCTA CTATGTTCGT TTGCAATATA
 G P I  S D E E  T S Y  Y V R  L Q Y N

ATGGTGAAGT TTTACCTTTT AAAACAAAGA TTGATGGTGT TACATATAAA
 G E K  L P F  K T K I  D G V  T Y K

TCAGGTAAGG ACAACAATAG TCCCTTAAAA CCATCTTTTC TAGCTGGAGG
S G K D  N N S  P L K  P S F L  A G G

TGGTGCATTT GGTTATAAAA TGGATGATAT CAGGGTTGAT GTTGAAGGAC
 G A F  G Y K M  D D I  R V D  V E G L

TTTACTCACA ATTGAGTAAA GATGCAGATG TAGTAGATAC TTCTCCAGCA
 Y S Q  L S K  D A D V  V D T  S P A

GTTGTAGAAA GTTTAACAGC ATTTTCAGGA CTAGTTAATG TTTATTACGA
V V E S  L T A  F S G  L V N V  Y Y D

TATAGCAATT GAAGATATGC CTATCACCCC ATATGTTGGT GTTGGTGTTG
 I A I  E D M P  I T P  Y V G  V G V G

GTGCAGCGTA TGTAAGCAAT CCTTTAGTAA CAGAGATTAC TGGTGATAAA
 A A Y  V S N  P L V T  E I T  G D K

AAATCTGGAT TTGGTTTTGC TTATCAAGCA AAAGCTGG
K S G F  G F A  Y Q A  K A
```

Figura 17.3. Accesión en Genbank AF389084 correspondiente al gen *Wolbachia* wspB de la broca del café (Tomado de: Vega *et al*., 2002).

Tabla 17.1. Polimorfismos de ADN de la broca del café detectados por AFLP por país.

País	N	Total de bandas	Bandas polimórficas	% Polimorfismos
Brasil	14	201	21	10,4
Camerún	1	197	---*	---
Colombia	1	192	---	---
Ecuador	5	194	1	0,5
Honduras	7	194	3	1,6
Indonesia	4	195	1	0,5
India	6	192	1	0,5
Jamaica	2	191	0	0
México	15	192	2	1,0
Nicaragua	5	198	7	3,5
Uganda	12	210	15	7,1
El Salvador	1	195	---	---

* No fue posible estimar polimorfismos debido al tamaño de muestra (Tomado de Benavides *et al.,* 2005).

Las barreras geográficas dividen en subpoblaciones las especies que están dispersas en grandes áreas. Estas especies se definen como poblaciones con subestructura, en las cuales el cruce entre individuos de la misma subpoblación ocurre en mayor medida, que aquellos entre diferentes subpoblaciones. La diferenciación genética entre subpoblaciones puede ser medida mediante el índice de fijación Φ_{ST}, el cual cuantifica el efecto de endogamia de la subestructura de poblaciones. Una especie como *H. hampei*, que se presume se reproduce por medio de líneas maternas altamente endogámicas, debería mostrar una gran diferenciación genética, tanto dentro de cada población como entre todas las poblaciones analizadas. Esto debido al establecimiento de líneas múltiples pero puras, altamente diferenciadas en cada localidad. Para evaluar esta subestructura de poblaciones en la broca, se realizó un análisis de varianza molecular o AMOVA, usando la información de las huellas moleculares obtenidas mediante AFLP. Los resultados mostraron que existe una alta diferenciación genética entre las poblaciones recolectadas en Etiopía con respecto a las muestras del resto del mundo, y una muy alta diferenciación genética entre poblaciones y entre localidades (Tabla 17.2). En este análisis fueron evidentes las consecuencias de la combinación entre seudo-arrenotoquia y endogamia, por lo que se consideró apropiado asumir que cada huella molecular obtenida representaba una diferente línea de broca endogámica y por lo tanto, la distribución de estas huellas entre localidades sería informativa (Figura 17.4). El mayor número de líneas endogámicas se encontró en el Este de África Central (8 poblaciones), muy cercano al centro de origen de la plaga. Estas líneas comprendieron muestras de Etiopía (n=2), Kenia (n=2) y Uganda (n=12). Se encontraron líneas múltiples en Brasil (7 poblaciones,

Tabla 17.2. Análisis de varianza jerárquico de la subestructura de la broca, para nueve localidades con poblaciones no agrupadas (1) o con dos grupos (Etiopía vs. los restantes) (2).

Grupos	Varianza		G.L.*	Variación	% total	*p***	Φ-Estadístico
1	Entre localidades	σ_a^2	8	0,216	46,46	0,000	
	Dentro de localidades	σ_c^2	59	0,249	53,54	0,000	$\Phi_{ST} = 0,464$
	Total		67	0,465			
2	Entre grupos	σ_a^2	1	0,102	18,17	0,224	$\Phi_{CT} = 0,181$
	Entre localidades dentro de grupos	σ_b^2	7	0,209	37,37	0,000	$\Phi_{SC} = 0,456$
	Dentro de localidades	σ_c^2	59	0,249	44,46	0,000	$\Phi_{ST} = 0,555$
	Total		67	0,560			

* Grados de libertad
** Probabilidad de obtener un valor aleatorio mayor al valor observado (Tomado de Benavides *et al.,* 2005).

n=14), América Central y el Caribe (7 poblaciones, n=19), Colombia (4 poblaciones, n=10), Ecuador (2 poblaciones, n=4) y Perú (2 poblaciones, n=10). Una huella molecular única fue descubierta en Indonesia (n=4), otra en India (n=6), y finalmente una en Camerún (n=2). Sólo cuatro líneas: FP01, FP06, FP12 y FP15, se encontraron en más de un país y sucedió únicamente con muestras de América. Estas cuatro líneas reunieron el 76% de todas las muestras latinoamericanas.

Los registros históricos y la distribución de las líneas endogámicas de broca, sugirieron que un proceso aleatorio de deriva genética debió ser el factor principal en la dispersión de *H. hampei* en Latinoamérica. El gran número de líneas descubiertas en sólo dos fincas de Brasil, continúa implicando a este país como el sitio de origen de este insecto en América. La dispersión de la broca desde Brasil hacia el resto de Latinoamérica se puede explicar por la presencia de las líneas FP06 (presente en 16 muestras) y FP15 (presente en 13 muestras), que comprendieron muestras de Brasil y otros países americanos. En la medida que este insecto invadía otras regiones cafeteras en Latinoamérica, las brocas fundadoras en cada región se convertían en una submuestra aleatoria de la diversidad genética hallada en Brasil.

La huella FP06 no fue detectada en Centro América y otras líneas que se encontraron en otros países americanos no se detectaron en Brasil. Por ejemplo, FP12 (presente en ocho muestras) sólo fue hallado en Perú y Colombia, y FP01 (presente en 18 muestras) se registró en México y Costa Rica. Para explicar la razón por la cual estas líneas no estuvieron presentes en Brasil, se debe tener en cuenta el bajo tamaño de muestra analizado en Brasil; sin embargo, la posibilidad de introducciones separadas no puede ser eliminada de este análisis, basados sólo en la distribución de líneas de *H. hampei*.

Con la idea de evaluar el efecto de la deriva genética en la distribución de las líneas de broca, se analizaron las huellas moleculares y su relación genética entre ellas. Para esto se realizó un análisis filogenético bajo el algoritmo "Neighbor-Joining", utilizando los 26 haplotipos descritos anteriormente (Figura 17.5B). Este análisis asumió que las huellas moleculares obtenidas por AFLP, revelaron suficiente variabilidad como para determinar la relación genética entre los haplotipos y que cada población colonizadora fue derivada a partir de una sola población de origen. Dado que la colonización de la broca en Asia y América debieron ocurrir de manera separada, se razonó que la distancia genética entre las muestras provenientes de estos dos continentes debería dar una idea de cómo se vería la representación de dos líneas distintas dentro de una sola localidad, como por ejemplo Brasil. Además, se razonó que la distancia genética entre muestras de Kenia y Uganda debería indicar la diversidad genética esperada en una población de origen. Para completar el análisis, se tomó como *out-group* o grupo control, el haplotipo Etíope (FP25), ya que fue recolectado cerca al sitio de origen de la plaga y además, presentaba un número desproporcionado de alelos únicos asociados a este haplotipo. El análisis filogenético separó las 26 huellas moleculares en seis grupos (Figura 17.5B). Los haplotipos de Kenia y Uganda (FP19-24 y 26) fueron asignados a un solo grupo, el cual fue claramente separado de las otras muestras. Otros cuatro grupos fueron más cercanos entre ellos. Las muestras de Indonesia y Camerún formaron uno de estos grupos, y las muestras de India otro. Las muestras americanas formaron tres grupos, de los

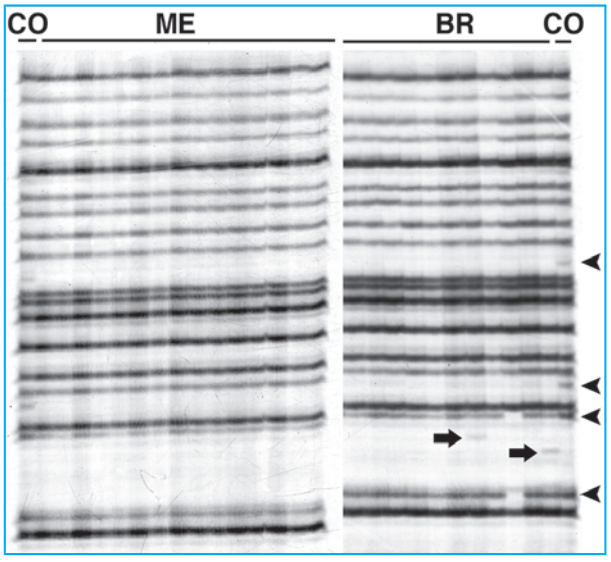


Figura 17.4. Huellas moleculares de AFLP de *Hypothenemus hampei*. Se observan dos geles que muestran huellas moleculares basadas en AFLP de muestras de Brasil (BR) y México (ME), una muestra estándar de Colombia CO03 (CO), es visible en ambos geles. El AFLP fue realizado usando una única combinación de iniciadores (E-TG/M-CTG). Cuatro polimorfismos de ADN son visibles (cabezas de flechas). Algunos falsos positivos (flechas) también pueden ser observados en los geles. Estos falsos positivos estuvieron ausentes en las otras muestras y no fueron utilizados en los análisis posteriores. Nótese la total ausencia de bandas polimórficas en muestras provenientes de México (Tomado de Benavides *et al.*, 2005).

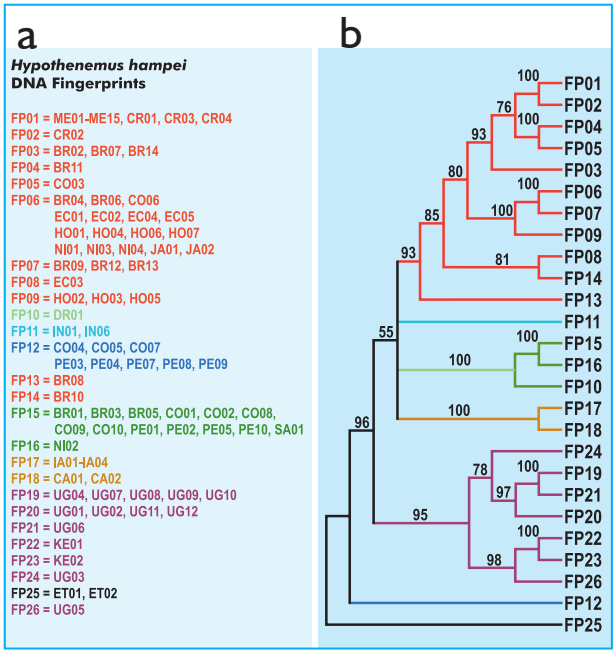


Figura 17.5. Análisis filogenético con 26 huellas moleculares de broca, usando el algoritmo Neighbor-Joining. A. Distribución de las huellas moleculares (FP01-FP26). Las huellas moleculares (haplotipos) y las muestras están relacionadas de acuerdo al color; B. Las muestras de Etiopía, en negro, fueron usadas como "out-group". El grupo de muestras de África Central es púrpura, las de Indonesia y Camerún son naranjas, y el grupo de India es azul claro. Los tres grupos americanos están representados por los colores verde, rojo y azul oscuro (Tomado de Benavides *et al.*, 2005).

cuales dos estuvieron cercanamente relacionados a las muestras de India, Indonesia y Camerún. Los grupos más representativos de estos dos, contenían las huellas FP06, FP01 y otros diez haplotipos, mientras que el otro contenía FP15 y otros dos haplotipos. Los grupos restantes que contienen muestras americanas, consistieron en un haplotipo individual (FP12), el cual fue igualmente distante de los otros haplotipos americanos y aquellos del este de África Central.

De manera consistente con los registros históricos, los resultados obtenidos mediante la relación entre las huellas moleculares y su distribución sugirieron que las líneas de broca de Indonesia e India resultaron a partir de introducciones separadas. La cercana similaridad entre huellas descubiertas en Indonesia y Camerún sugieren que la broca invadió el primer país a partir de insectos del Oeste de África Central. Igualmente, la separación de los haplotipos del Este de África Central del resto de haplotipos sugiere que la invasión de este insecto tanto en Asia como en América debió ocurrir a partir de insectos del Oeste y no del Este de África Central. Por otro lado, Andreev *et al.*(1998) sugirieron que muestras de broca provenientes de Jamaica estuvieron más relacionadas con África que con cualquier otro país de América. Sin embargo, la línea FP06 que contiene muestras de Jamaica analizadas en esta investigación, estuvo claramente presente en otros países americanos. De cualquier manera, dado el bajo número de muestras provenientes de Jamaica, no se puede descartar que algunos insectos de broca hayan sido introducidos desde África. En esta investigación se evidenciaron no más de tres introducciones separadas de broca en América. Cada introducción putativa habría involucrado un grupo de brocas, representada por tres grupos mayoritarios: grupo 1 con las huellas FP01 y FP06, el grupo 15 con FP15, y el grupo 12 con FP12.

El análisis de "Neighbor-Joining" reforzó el argumento de que la deriva genética fue la razón por la cual ciertas líneas americanas fueron descubiertas más al norte de Brasil, a pesar de no haber sido registradas en este país. Parece que las muestras constituidas por los grupos 1 y 15 fueron introducidas a Brasil y ciertas líneas dentro de estos grupos fueron las fundadoras de aquellas descubiertas en los otros países. Entre estas líneas, la FP01 es particularmente interesante, pues fue registrada únicamente en México y Costa Rica. Dado que medidas cuarentenarias evitaron que la broca invadiera Costa Rica hasta el año 2000, es posible que *H. hampei* haya sido introducida a Costa Rica proveniente de México. Igualmente, Guatemala se reportó como el origen de la broca de Honduras, México, El Salvador y Nicaragua; sin embargo, la distancia genética entre muestras de El Salvador, Nicaragua y Honduras fue más cercana que aquella entre estas muestras y FP01. Si el origen de las poblaciones de México fuera realmente Guatemala, una relación más cercana entre México y el grupo de Honduras, El Salvador o Nicaragua debió haber sido detectada en este análisis.

La mayor evidencia de introducciones múltiples de la broca a América podría estar siendo proporcionada por la línea FP12. Esta población está más alejada de todas las líneas americanas y además, se encuentra ausente en Brasil. Ya que reportes previos han sugerido a Brasil como el origen de la introducción de broca a Perú, se sospecha que la falta de detección de esta línea en Brasil haya sido debido al bajo número de muestras recolectadas en muy pocos sitios de muestreo. Este análisis agrupó las muestras colombianas en grupos independientes

con respecto a las muestras recolectadas en Brasil, Perú y Ecuador. Esto sugiere que la broca pudo haber invadido Colombia mediante introducciones múltiples y no como consecuencia de una introducción única de origen ecuatoriano, como se reportó previamente.

Todos los resultados obtenidos durante la realización de esta investigación han sido consistentes con lo esperado en una especie que se reproduce a partir de una estricta endogamia de líneas maternas; además, la variabilidad genética fue extremadamente baja como consecuencia de la rápida fijación de nuevos alelos. La consecuencia más probable de la endogamia en la broca sería un rápido incremento en la frecuencia relativa de heterocigotos, de tal manera que se encontraría una muy alta diferenciación y una baja variabilidad genética, tal como se observó en este estudio. Estos resultados concuerdan además con investigaciones previas, donde se compararon colecciones mundiales de broca utilizando técnicas moleculares. Como consecuencia de la endogamia, mutaciones que confieren resistencia a insecticidas se fijarían rápidamente como caracteres homocigotos y se dispersarían como una línea única. Esto pondría un reto en el manejo de esta plaga, ya que el control sería muy bajo en aquellas áreas donde la dependencia a químicos es muy alta. Otra importante consideración es que la pérdida de heterocigosidad en este insecto podría aumentar su riesgo de extinción, ya que la flexibilidad genética que posee este insecto para sobrepasar una estrategia intensiva de control sería muy baja.

Variabilidad genética de la broca en Colombia

Un análisis similar fue realizado sobre 66 muestras de broca provenientes de la zona cafetera colombiana. La técnica AFLP amplificó 60 fragmentos de DNA y se observaron siete variaciones genéticas (11,7% del total de bandas generadas por AFLP). Estos resultados indican una muy baja variabilidad genética como era de esperarse (Figura 17.6). Los patrones de las bandas observadas en cada una de las 66 muestras generaron ocho huellas dactilares (Tabla 17.3). La huella COL01 comprendió el 76% del total evaluado y agrupó todas las áreas geográficas que fueron evaluadas en Colombia. Estos resultados indican que hubo una línea distribuida en todos los departamentos cafeteros de Colombia; sin embargo, hubo otras líneas en áreas específicas del país. Se observaron cuatro huellas moleculares (COL02, COL03, COL04, y COL05) que

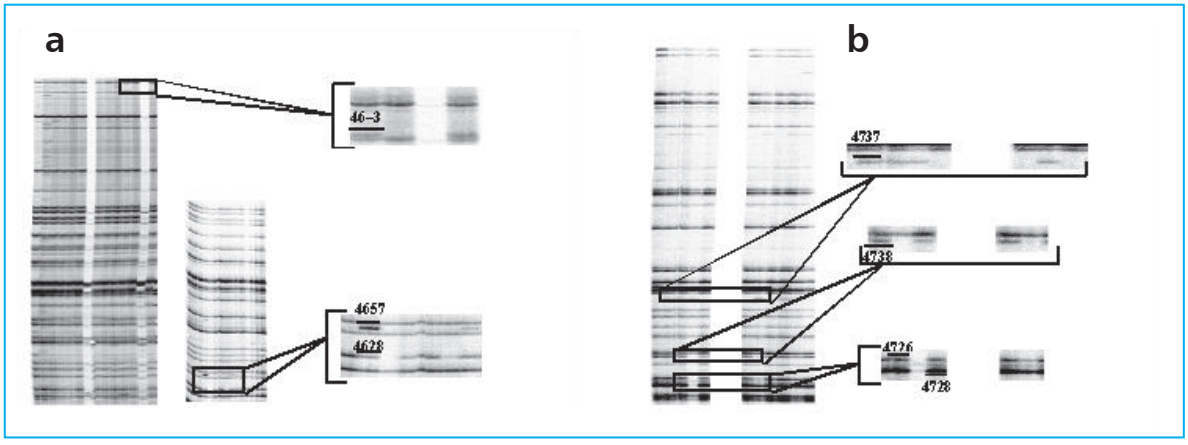


Figura 17.6. a. Huellas moleculares de ADN generadas con la combinación de *primers* selectivos E-AT/M-CTC de AFLP, sobre muestras de Risaralda 08 (de acuerdo a la numeración de la Tabla 17.3), Tolima 02, 03, Antioquia 01, 02, 03, y Cesar 01, 02, 03, 04, 05, 07 (A1); y muestras de Risaralda 08, 05, 06, 07 08, 09, Caldas 06, Antioquia 06, 07 y Nariño 02 y 03 (A2). **b**. Huellas moleculares de ADN generadas con la combinación de primers selectivos E-AT/M-CTG, sobre muestras de Risaralda (08), Tolima (02, 03), Antioquia (02, 03) y Cesar (01, 02, 03, 04, 05 y 07). Dos muestras de ADN no amplificaron en el gel A, uno entre las muestras de Antioquia 03 y Cesar 01, y otro entre Cesar 05 y 07. Los siete polimorfismos encontrados en Colombia se indican en la figura.

fueron únicas en cuatro regiones, las cuales sugirieron que hubo introducciones independientes en Cesar, Caldas, Valle y Risaralda. Las otras tres huellas, COL06, COL07 y COL08, comprendieron muestras de Caldas, Risaralda, Antioquia y Nariño.

Estos resultados fueron posiblemente una indicación de líneas compartidas entre estos departamentos. La comercialización de alimentos y productos agrícolas, así como el intercambio de mano de obra entre fincas podría explicar la relación entre muestras de los departamentos de Antioquia, Risaralda y Caldas. La relación entre muestras de Nariño y otras regiones de Colombia podría ser explicada por el movimiento de la mano de obra durante las cosechas de café en el país. La broca fue inicialmente encontrada en Colombia en el departamento de Nariño, el cual está localizado al Sur Oeste cercano a la frontera con Ecuador. Los recolectores de esta región viajan anualmente al centro del país, donde se produce alrededor del 60% de la producción nacional de café (Antioquia, Caldas, Risaralda, Quindío y Valle). Estos cosecheros viajan estas altas distancias motivados por los mejores precios por recolección en el centro del país y además, porque las cosechas de café ocurren en diferentes épocas del año. Más específicamente, la cosecha principal ha terminado en el Sur cuando comienza en el centro del país. Los resultados de esta investigación permitieron sugerir que una línea genética de la broca (COL07) vino a Risaralda y Antioquia llevada por los cosecheros desde el Sur, lo cual pudo también explicar la presencia de la línea COL01 en el país. El intercambio de mano de obra es nuestra mejor hipótesis para explicar la dispersión de la plaga al interior de Colombia.

Tabla 17.3. Huellas moleculares obtenidas mediante la técnica AFLP, generadas por dos combinaciones de *primers* sobre 66 muestras colombianas de *Hypothenemus hampei*.

Huella	n	Muestra	Huella equivalente en Latinoamérica	Muestra equivalente en Latinoamérica
COL01	50	Antioquia01-05 Cundinamarca01-05 Caldas01-04 Caqueta01 Cauca01 Cesar01-03,05,08 Huila01-04 Magdalena01-02 Meta01-03 Nariño01 Norte Santander01-02 Quindio01 Risaralda01,03-04 Santander01-05 Tolima01-03 Valle01-04,06	FP02	CR02
COL02	2	Cesar04,07	FP27	Único para Colombia
COL03	1	Caldas06	FP06	BR04,06 JA01, 02 EC01, 02, 04, 05 NI01, 03, 04 HO01, 04, 06, 07
COL04	1	Valle05	FP03	BR02, 07, 14
COL05	1	Risaralda07	FP05	Control. Único para Colombia
COL06	2	Caldas05 Risaralda02	FP28	Único para Colombia
COL07	5	Antioquia07 Nariño02 Nariño03 Risaralda05 Risaralda06	FP15	BR01, 03, 05 PE01, 02, 05, 06, 10 SA01
COL08	4	Antioquia06 Caldas07 Risaralda08 Risaralda09	FP12	PE03, 04, 07, 09
TOTAL	66			

El análisis filogenético de las muestras demostró tres grupos. La huella molecular COL01 formó el primer grupo aparte, el segundo indicó una relación más cercana entre las huellas COL02 (Cesar) y COL06 (Caldas y Risaralda); y un tercero agrupó Caldas, Risaralda, Valle, Antioquia y Nariño, los cuales contenían las cinco huellas moleculares restantes. A pesar de que este análisis de "Neighbor-Joining" estaba exhibiendo alguna relación entre huellas, su significado no fue relevante para mostrar el origen de las muestras introducidas. La variación entre las muestras fue probablemente el resultado de múltiples introducciones al país.

Con el fin de estimar la subestructura de la broca en Colombia, se realizó un análisis de varianza molecular (Tabla 17.4). Las muestras provenientes de Caquetá01, Cauca01 y Quindío01 fueron excluidas de éste, por que solamente se tenía una muestra por departamento. Se encontró que el 92% de la varianza se debió a las diferencias entre los departamentos evaluados y el 8% restante a las diferencias al interior de cada departamento. Estos resultados eran de esperarse, debido a la alta endogamia presente en este insecto. De acuerdo con los parámetros de Wright (1921), la broca en Colombia evidenció una moderada diferenciación genética, probablemente como resultado de las introducciones recientes de una población diversa.

Con el fin de determinar el origen de la broca introducida a Colombia, se compararon las huellas moleculares de las muestras de Colombia con aquellas encontradas previamente en muestras de Latinoamérica y las islas del Caribe (Tabla 17.3). Un hallazgo interesante fue la huella molecular COL01, la cual agrupó la mayoría de las muestras de Colombia con la huella FP02, la cual fue exclusiva en Costa Rica. Este resultado sugiere que Colombia fue posiblemente el origen de esta introducción de la broca en ese país. Con estos hallazgos surgen dos países candidatos donde se originó la broca de Costa Rica: México y Colombia. Será necesario elucidar este interrogante mediante un análisis local. Se encontraron además tres huellas únicas para Colombia, que no se relacionaron con otro país. Es probable que estas huellas sí estuviesen presentes en Latinoamérica, pero no fueron evidentes en este experimento debido al análisis de pocas muestras. La huella FP06, hallada en Brasil, Jamaica, Ecuador, Nicaragua y Honduras, se encontró también en Caldas06; y la huella FP03, la cual estuvo presente en Brasil, también estuvo presente en Valle05. Estos resultados refuerzan la hipótesis de que existieron introducciones múltiples de broca en Colombia, y que a su vez, este país pudo haber sido la fuente de posteriores introducciones a otros países.

La huella FP15, la cual estaba presente en Brasil, Perú y El Salvador, y la huella peruana FP12 fueron encontradas en Colombia en los departamentos de Antioquia, Nariño, Caldas y Risaralda. Estos resultados sugieren que algunas líneas de broca fueron introducidas a Colombia desde diferentes orígenes y que posteriormente, ellas se dispersaron al interior del país. A pesar de que la broca se reportó en Colombia proveniente directamente de Ecuador a Nariño, los análisis genéticos no mostraron una relación directa entre estos dos. Una relación más evidente se encontró entre muestras de Antioquia, Risaralda y Nariño con muestras de Perú. El hecho de que la broca se reportara inicialmente en Nariño no es una indicación de que esta región fuera realmente la primera en tener la plaga. La broca, cuando llegó a Nariño, pudo haber también llegado a Antioquia del Perú y posteriormente ser transportada a Nariño, por medio del intercambio de mano de obra que ocurre entre estos departamentos. La presencia de la huella FP12 refuerza esta hipótesis. El análisis de varianza molecular utilizando todas las muestras de Colombia y Latinoamérica mostró una gran diferenciación genética.

Tabla 17.4. Análisis de varianza jerárquico de la subestructura de la broca, para 13 departamentos en Colombia, sin agrupación.

Varianza		G. L.	Varianza	% total	*p**	Φ- **Estadístico**
Entre departamentos	σ_a^2	12	0,018	8,32	0,09	
Dentro de departamentos	σ_c^2	50	0,202	91,68	0,00	$\Phi_{ST} = 0,083$
Total		62	0,220			

Consecuencias biológicas de la baja variabilidad genética

La baja variabilidad genética observada en la broca, en muestras de una colección mundial, como efecto de los cruces fraternos y la haplodiploidía funcional, podría tener varias consecuencias, la primera es que cualquier mutación que se evidencie en el insecto podrá ser rápidamente fijada dentro de la población (Figura 17.7). Esto sería de especial relevancia cuando aparezcan insectos resistentes a insecticidas, ya que esta resistencia estaría en toda la progenie del insecto al cabo de pocas generaciones, y se dispersarían libremente en el campo. En segundo lugar, esta característica de baja variabilidad podría ser un indicativo de la debilidad genética del insecto, debido a la homogeneidad de sus poblaciones. Esta característica nos haría pensar que la broca probablemente no posea mecanismos para sobreponerse a medidas novedosas de control como, por ejemplo, el uso de variedades transgénicas de café que contengan proteínas tóxicas a los cuales el insecto no haya sido expuesto con anterioridad, o la introducción de genes deletéreos al insecto en una aproximación de control genético.

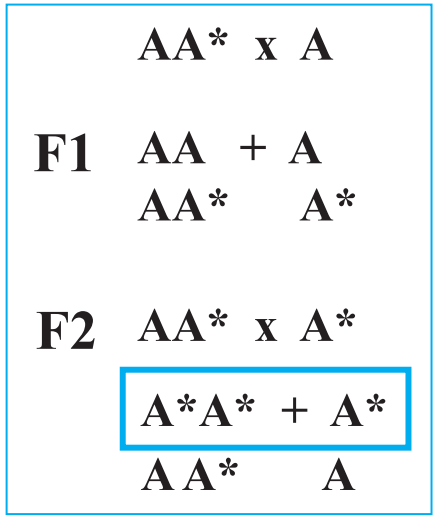


Figura 17.7. Cruce de una hembra diploide de broca conteniendo una mutación heterocigótica por un macho funcionalmente haploide. La mitad de la población contendría la mutación durante la primera generación y toda la población de hembras contendría la mutación en la segunda generación. El alelo con la mutación estaría fijado en la población en tan sólo dos generaciones.

Control genético de insectos

El control genético o control autocida de insectos fue propuesto originalmente alrededor de 1940. Este tipo de control se refiere a la manipulación del genoma del insecto, de tal manera que resulte en el control de la misma especie; igualmente, involucra el reemplazo de genotipos agresivos con unos más benignos que causen menores daños (Gould y Schliekelman, 2004).

Estas estrategias de control involucran el uso de machos estériles, de genes letales condicionanles, de translocaciones, de cromosomas compuestos y de la inducción de infertilidad mediante el uso de microorganismos. Las experiencias previas indican que el conocimiento de la estructura de las poblaciones y su dinámica, son aspectos requeridos en la selección de la mejor estrategia de control genético a utilizar en determinada especie de insecto. De esta manera se expondrán a continuación los tipos de control autocida en insectos y la posibilidad de ser usado en el manejo de la broca del café.

Tipos de control genético

Esterilidad inducida mediante mutagénesis

Este tipo de control se refiere a la producción de millones de insectos esterilizados mediante el uso de radiación o de químicos mutagénicos. Es el tipo de control genético más conocido y utilizado en el control de moscas de las frutas mediante la liberación de machos estériles, los cuales se aparean con las hembras para que éstas produzcan descendencias estériles. No es posible utilizar este tipo de control con la broca, ya que ésta no se aparea por fuera del fruto y la hembra generalmente, sale del grano ya fertilizada por un macho de su misma progenie.

Genes letales condicionales

Los genes letales condicionales son aquellos que causan mortalidad a un organismo, después de estar expuestos a una condición ambiental específica, como por ejemplo la temperatura. El principio de este tipo de control es liberar individuos de la misma especie que tengan un gen de forma homocigota, con la intención de transmitirlo a otros individuos de la población nativa en las siguientes generaciones. Una vez haya transcurrido el tiempo necesario para que se presente la condición ambiental, el gen estará presente en un gran número de insectos, y éstos morirán como respuesta al ambiente. Un ejemplo, es el uso de genes condicionales a temperatura, insectos que poseen estos genes frenarían su desarrollo embrionario cuando la temperatura se incremente por encima de cierto nivel, o cuando éstos intenten dispersarse a lugares donde la temperatura sea más alta.

Este tipo de control sería posible usarlo para el control de la broca, siempre y cuando se pueda demostrar que existe cruce de diferentes poblaciones de este insecto en condiciones naturales. Gingerich *et al.* (1996), mediante estudios de genética de poblaciones, estimaron un nivel importante de insectos que se cruzan en condiciones naturales en Nueva Caledonia. Observaciones de campo realizadas en Colombia, durante un año, han demostrado que esto definitivamente es posible y que no existe territorialidad en las diferentes poblaciones de la broca al interior de estos frutos, que poseen varias brocas fundadoras. Estudios moleculares utilizando marcadores genéticos han corroborado esta hipótesis. La única manera de realizar este tipo de control sería mediante transgénesis de insectos y la posterior cría de éstos en confinamiento. La estrategia de liberación deberá ser cuidadosamente estudiada para permitir el mayor cruce de poblaciones transformadas con aquellas nativas. Por lo tanto, producir brocas con la mutación en granos de café, retirar las hembras y dejar sólo machos dentro de éstos y depositarlos en el campo, permitiría el cruce de hembras de la población de campo y la transmisión del gen en la totalidad de los individuos en F1. Esta situación sería posible únicamente si se demuestra que hembras de broca salen de frutos infestados del suelo y entran a otros para aparearse con los machos de la población mutante. Es importante comprender que este tipo de control, aunque posible, requeriría de grandes esfuerzos de investigación, y podría no contar con la aceptación del público lo cual frenaría la iniciativa.

Incompatibilidad citoplasmática

La probacteria *Wolbachia* puede ocasionar incompatibilidad citoplasmática, lo cual daría como resultado la inviabilidad de huevos (Laven, 1967). En este tipo de control el macho deberá contener la probacteria, el cual infectaría a las hembras con las que se aparee, para producir huevos que no sean viables. Este tipo de control no parece tener aplicabilidad en la broca, incluso posterior al descubrimiento de *Wolbachia* en este insecto (Vega *et al*., 2002), ya que su efecto sería en la generación inmediatamente infectada, y por lo tanto, no habrían posibilidades de una reducción de poblaciones a largo plazo.

Uso de la baja variabilidad genética en el control de la broca

La baja variabilidad genética detectada en la broca es, sin lugar a dudas, la consecuencia genética más importante de su comportamiento reproductivo. Esta característica debe ser considerada, si se desea explorar la posibilidad de realizar control genético dentro de una estrategia de manejo integrado, especialmente si se reemplazaran genotipos agresivos con unos más benignos que causen menores daños. Un ejemplo, sería aquel en el cual una línea muy fecunda de broca, con menor capacidad de dispersión y un ciclo de vida corto, fuese reemplazada por otra línea menos fecunda, con mayor capacidad de dispersión y ciclo de vida largo, quizás bajo un modelo de metapoblaciones (Hanski, 1999). El resultado de este reemplazo sería el menor incremento de las poblaciones de broca en el campo, hasta tal punto que el insecto no sobrepasaría los umbrales de daño económico en un ciclo productivo de café (Figura 17.8). Este tipo de control no requeriría modificaciones genéticas, sin embargo, se necesitaría obtener líneas altamente polimórficas, las cuales estarían presentes en África Central, cerca a Etiopía, el cual es el probable centro de origen de esta plaga.

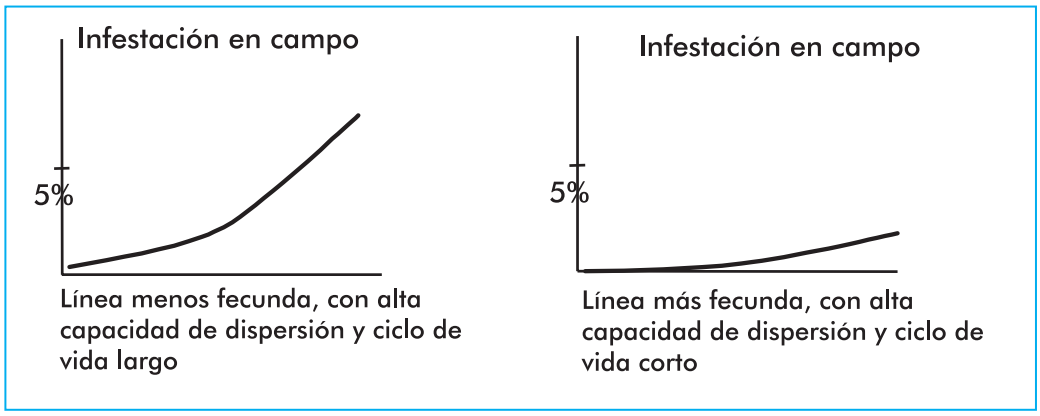


Figura 17.8. Comparación hipotética del crecimiento poblacional de la broca con diferentes líneas de broca del café, en una estrategia de control genético por reemplazo.

Literatura citada

ANDREEV, D.; BREILID, H.; KIRKENDALL, L.; BRUN, L. O.; FFRENCH-CONSTANT, R. H. 1998. Lack of nucleotide variability in a beetle pest with extreme inbreeding. Insect Mol. Biol., 7: 197-200.

BARRERA, J. F.; GÓMEZ, J.; ALAUZET, C. 1995. Can the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) reproduce by parthenogenesis?. Entomol. Exp. Appl., 77: 351-354.

BENAVIDES, M.; VEGA, F. E.; ROMERO, H.; BUSTILLO, A. E.; STUART, J. 2005. Biodiversity and biogeogaphy of an important pest of coffee, the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). Ann. Entomol. Soc. Am., 98 (3): 359-366.

BERGAMIN, J. 1943. Contribuiçao para o cohnecimento da biologia da broca do cafe *Hypothenemus hampei* (Ferrari 1867) (Col. Ipidae). Arq. Inst. Biol., Sao Paulo, 14: 31-72.

BOURTZIS, K.;O'NEILL, S. 1998. *Wolbachia* infections and arthropod reproduction. BioScience, 48: 287-293.

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. Proc. Natl. Acad. Sci. (USA), 92: 9861-9865.

FEDER, M. E.; KARR, T. L.; YANG, W.; HOEKSTRA, J. M.; JAMES, A. C. 1999. Interaction of *Drosophila* and its endosymbiont *Wolbachia*: natural heat shock and the overcoming of sexual incompatibility. Am. Zool., 39: 363-373.

FIALHO, R. F.; STEVENS, L. 2000. Male-killing Wolbachia in a flour beetle. Proc. R. Soc. Lond. Biol. Sci., 267: 1469-1474.

GINGERICH, D. P.; BORSA, P.; SUCKLING, M.; BRUN, L. O. 1996. Inbreeding in the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) estimated from endosulfan resistance phenotype frequencies. Bull. Entomol. Res., 86: 667-674.

GOULD, F.; SCHLIEKELMAN, P. 2004. Population genetics of autocidal control and strain replacement. Annu. Rev. Entomol., 49: 193–217.

HANSKI, I. 1999. Metapopulation ecology. Oxford Series in ecology and evolution. Oxford University Press, UK, 313 p.

HURST, G. D. D.; JOHNSON, A. P.; HINRICH, J.; SCHULENBURG, G. V. D.; FUYAMA Y. 2000. Male killing *Wolbachia* in *Drosophila*: a temperature-sensitive trait with a threshold bacterial density. Genetics, 156: 699-709.

JEYAPRAKASH, A.; HOY, M. 2000. Long PCR improves Wolbachia DNA amplification: wsp sequences found in 76% of sixty-three arthropod species. Insect Mol. Biol., 9: 393-405.

JIGGINS, F. M.; HURST, G. D. D.; DOLMAN, C. E.; MAJERUS, M. E. N. 2000. High-prevalence male-killing *Wolbachia* in the butterfly *Acraea encedana*. J. Evol. Biol., 13: 495-501.

KIRKENDALL, L. R. 1993. Ecology and evolution of biased sex ratios in bark and ambrosia beetles, *In:* D. L. Wrennsch; M. A. Ebbert [eds.]. Evolution and diversity of sex ratio in insects and mites. Chapman and Hall, New York, p. 235-345.

LAVEN, H. 1967. Eradication of *Culex pipiens fatigans* through cytoplasmic incompatibility. Nature, 216: 383-384.

O'NEILL, S. L.; HOFFMANN, A. A.; WERREN, J. H. 1997. Influential passengers: inherited microorganisms and arthropod reproduction. Oxford University Press, New York, 214 p.

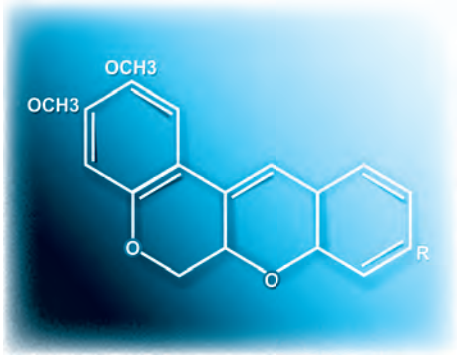
ROUSSET, F.; BOUCHON, D.; PINTUREAU, B.; JUCHAULT, P.; SOLIGNAC, M. 1992. *Wolbachia* endosymbionts responsible for various alterations of sexuality in arthropods. Proc Biol Sci., 250 (1328): 91–98.

STOUTHAMER, R.; LUCK, R. F.; HAMILTON, W. D. 1990. Antibiotics cause parthenogenetic Trichogramma to revert to sex. Proc. Natl. Acad. Sci. (USA), 87: 2424-2427.

VEGA, F. E.; BENAVIDES, P.; STUART, J.; O'NEILL, S. 2002. *Wolbachia* infection in the coffee berry borer (Coleoptera: Scolytidae). Ann. Entomol. Soc. Am., 95: 374-378.

WRIGHT, S. 1921. Systems of mating. Genetics, 6: 111-178.

ZCHORI-FEIN, E.; ROUSH, T. R.; HUNTER, M. S. 1992. Male production induced by antibiotic treatment in *Encarsia formosa,* an asexual species. Experientia, 48: 102-105.



CAPÍTULO 18

Desarrollo de resistencia de los insectos a insecticidas

Carmenza Esther Góngora Botero y Pablo Benavides Machado

Los plaguicidas han contribuido significativamente a incrementar la productividad en la agricultura, pero al mismo tiempo su uso ha causado serios problemas al medio ambiente y a la salud pública. Esto, sumado al problema de desarrollo de la resistencia, ha hecho necesario estudiar a fondo los mecanismos involucrados en éste, y tomar medidas para manejarlo dentro de los programas de manejo integrado de plagas. La resistencia de insectos a plaguicidas fue reconocida hace 93 años, aproximadamente (National Research Council, 1986). El problema se intensificó a partir de 1940 con el uso intensivo de insecticidas sintéticos. Sin embargo, no se le concedió la atención necesaria sino hasta que los productos químicos que inicialmente mostraban resultados sorprendentes de control, perdieron su acción y se empezó a evidenciar la baja tasa de descubrimiento de nuevas moléculas insecticidas, y la necesidad de utilizar diferentes estrategias de control.

La resistencia es una consecuencia de procesos evolutivos básicos. Las poblaciones exponen variabilidad genética y las plantas han desarrollado defensas químicas que son sobrepasadas por los herbívoros que se alimentan de ellas. Algunos individuos de una población pueden sobrevivir a las aplicaciones de insecticidas químicos que fueron diseñados para matarlos. Esta sobrevivencia puede deberse a diferencias genéticas y no al escape de estos individuos a la aspersión del compuesto. La población que sobrevive a estos compuestos forma una subpoblación compuesta de individuos, que podrán sobreponerse al producto y que heredarán esta característica a su progenie. Dado que los usuarios de estos insecticidas asumen que la sobrevivencia de los individuos a este compuesto fue debida a la aplicación de bajas dosis de los productos o al escape, la tendencia inicial conlleva a aumentar las dosis y las frecuencias, lo cual resulta en una pérdida de individuos susceptibles y en el aumento de la proporción de individuos resistentes. Una vez se seleccionan subpoblaciones resistentes a un compuesto insecticida, el uso de nuevas moléculas ofrecerá resultados iniciales de control satisfactorios; sin embargo, estos individuos podrán desarrollar resistencia rápidamente, si el nuevo grupo químico posee modos de acción o mecanismos de detoxificación similares (Georghiou, 1986).

La resistencia de insectos plaga a insecticidas era un fenómeno escaso antes de la década de 1950, mientras que para el año de 1980 ya era extraño encontrar poblaciones totalmente susceptibles. El problema de resistencia de ácaros e insectos pasó de siete especies resistentes a DDT en el año de 1938, a 447 especies resistentes a los mayores grupos insecticidas en el año de 1984 (Georghiou, 1986). En ese momento, más de la mitad de las especies resistentes reportadas lo eran a más de un grupo químico, y 17 lo eran a los cinco mayores grupos de insecticidas: organoclorados, ciclodienos, carbamatos, organofosforados y piretroides.

Dado que en la actualidad deben primar las estrategias de manejo que permitan la sostenibilidad en la producción de productos agrícolas, y basados en la incuestionable realidad de que la resistencia de las plagas es un obstáculo en los esfuerzos de muchos países en incrementar la producción y mantener la calidad de sus productos, al igual que controlar insectos vectores de enfermedades, es imperioso conocer en detalle los procesos que conllevan a la resistencia de insectos a compuestos insecticidas y ofrecer alternativas de manejo más adecuadas.

Plaguicidas

Un plaguicida se define como "cualquier sustancia usada para controlar, prevenir, destruir, repeler o mitigar una plaga", de acuerdo con esta definición muchas sustancias químicas que cumplen función de atrayentes, repelentes o esterilizantes, se podrían considerar plaguicidas. Sin embargo, para el caso de este documento se considerarán a los **insecticidas** como sustancias que por contacto directo o ingestión causan la muerte de los insectos.

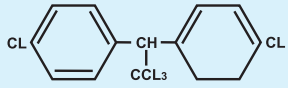
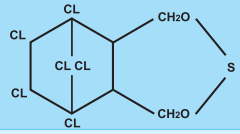
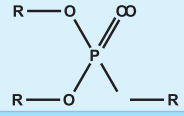
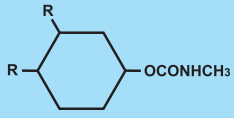
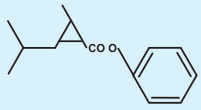
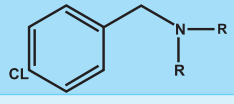
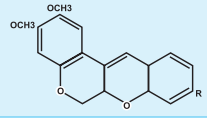
Modo de acción de los insecticidas

La gran mayoría de los insecticidas ejercen su acción letal afectando el sistema nervioso de los insectos. Debido a la gran sensibilidad de este sistema, cambios que se podrían considerar menores en otros órganos ocasionan daños irreversibles en éste y causan la muerte de los insectos.

Los insecticidas pueden ser clasificados de diferentes formas (Matsumura, 1985):

1. De acuerdo con la forma de entrada al cuerpo del insecto. Las posibles formas de entrada incluyen contacto por medio de la cutícula, ingestión o inhalación. Sin embargo, esta clasificación presenta limitaciones ya que actualmente existen compuestos que actúan tanto por contacto como por ingestión o a nivel de todas las categorías.
2. Con base en su estructura química (Tabla 18.1).
3. De acuerdo al modo de acción de la sustancia química sobre los insectos.

Tabla 18.1. Clasificación de los insecticidas según estructura química y modo de acción sobre los insectos (Matsumura, 1985; Perry *et al*., 1998).

Tipo de insecticida	Ejemplo	Estructura química	Modo de acción
Organoclorados	DDT		Sistema nervioso central. Interacción con canales de sodio tipo *kdr*
Ciclodienos	Endosulfán		Sistema nervioso central. Interacción con canales de cloro tipo $GABA_A$
Organofosforados	Malation Clorpirifos		Afectan la enzima acetil colinesterasa
Carbamatos	Carbaril		Afectan la enzima acetil colinesterasa
Piretroides	Piretrina-natural Permetrin -sintéticos		Sistema nervioso central. Afecta los canales de sodio tipo *kdr*
Nitrogenados y Nicotinoides	Imidacloprit		Se une a receptor de acetil colina
Inhibidores de respiración	Rotenona		Inhibe el transporte de electrones en la mitocondria

Toxicología de los insecticidas

La interacción tóxica de una sustancia química con un organismo vivo siempre se relaciona con la dosis de esa sustancia. Por esto, la toxicología se define como la ciencia de las dosis.

Existen algunos términos que son fundamentales para entender la toxicidad de un insecticida a un organismo. Generalmente, la toxicidad de un insecticida se expresa en términos de la dosis letal 50 (DL_{50}), que es la cantidad de sustancia tóxica aplicada al organismo, por unidad de peso del organismo, que se requiere para matar el 50% de la población que se está evaluando. Se define en términos de mg de producto/kg de peso.

La concentración letal 50 (CL_{50}) es la concentración de sustancia tóxica en el medio externo requerida para matar el 50% de la población evaluada en un tiempo determinado. Este valor se usa cuando no se puede determinar cual es la dosis exacta que se le aplicó al insecto. Por ejemplo, cuando se asperja un insecticida sobre hojas infestadas con una larva de lepidóptero y se causa la muerte al 50% de la población de insectos asperjados. Se expresa como porcentaje de ingrediente activo o como partes por millón (ppm) de la sustancia tóxica.

El término TL_{50}, es el tiempo requerido para alcanzar la mortalidad del 50% de la población de insectos evaluado a una dosis o concentración específica.

Existen diferentes vías para evaluar la **eficacia de una sustancia tóxica** contra un insecto, al igual que diferentes formas de evaluar la toxicidad de esa sustancia contra los insectos. Generalmente, el método más empleado es la **aplicación tópica**, en la que el insecticida se disuelve en un solvente no tóxico y pequeñas gotas se aplican en la superficie del insecto. Otros métodos incluyen la **inyección de la sustancia**, con éste se puede evaluar la cantidad exacta de insecticida dentro del insecto. En el método de **inmersión,** los insectos se sumergen en una solución del insecticida. El método de **contacto o residual**, en éste el insecticida en un solvente volátil, se aplica a una lámina o vial de vidrio y se deja evaporar, luego los insectos se depositan sobre el vidrio. Por último, se encuentran los métodos en donde las sustancias se dan a **comer o beber** al insecto.

Evaluación de la toxicidad en los insectos

La susceptibilidad de una población de insectos a una sustancia tóxica se evalúa construyendo una curva de dosis vs. mortalidad, en la cual la dosis se gráfica de acuerdo al porcentaje de mortalidad en un período de tiempo determinado. Este tipo de gráficas producen curvas sigmoidales, que por una transformación "probit" usando los datos logarítmicos de la dosis, permiten la obtención de líneas rectas, en las que fácilmente se pueden encontrar las DL_{50} y otros valores de dosis. La Figura 18.1, muestra una curva típica de respuesta de dos poblaciones diferentes de insectos a diferentes dosis de un insecticida. La población representada en la línea roja es más resistente al insecticida que la de la línea negra (Figura 18.1).

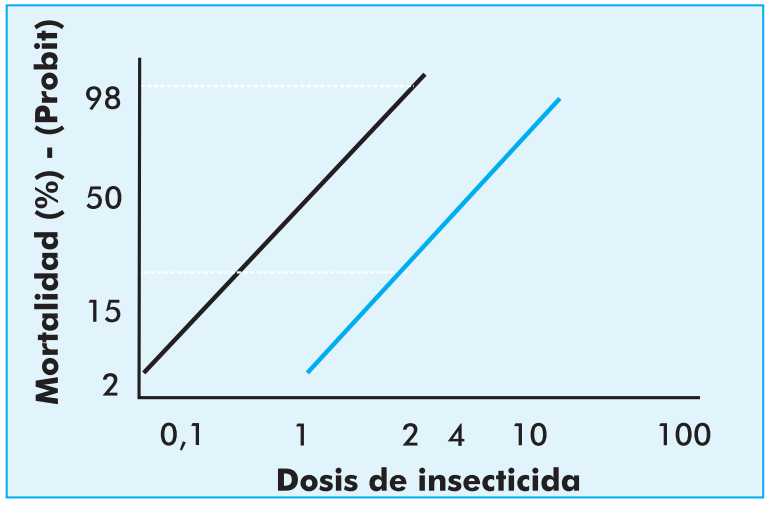


Figura 18.1. Porcentaje de mortalidad vs. dosis en dos poblaciones de insectos, utilizando la transformación Probit.

El problema de la resistencia a insecticidas

La resistencia a insecticidas es el mayor obstáculo para controlar plagas de importancia agrícola y médica, ha sido registrado en más de 550 especies de artrópodos, como lo muestra la base de datos: Arthropod Pesticide Resistance Database (APRD) (http://www.pesticideresistance.org/DB), y es particularmente alarmante en los órdenes Diptera, larvas de Lepidoptera, Coleoptera y en ácaros (Georghiou, 1990). Este problema, generalizado en todo el mundo, causa un incremento en la frecuencia de aplicación de los plaguicidas, incremento en las dosis, disminución en la productividad de los cultivos, contaminación ambiental e incremento en enfermedades humanas y veterinarias causadas por artrópodos vectores.

Resistencia a insecticidas

Por definición, la resistencia es el desarrollo de una subpoblación de insectos que es capaz de sobrevivir a una dosis letal para la mayoría de los individuos de la población (Brown, 1958, reportado por Perry, 1998). La Organización Mundial de la Salud la define como la habilidad de una subpoblación de un organismo para tolerar una dosis de una sustancia tóxica, la cual se ha encontrado letal a la mayoría de los individuos de la población susceptible de esa especie (WHO, 1957).

Desde 1908 este fenómeno se registró en plagas de cítricos, en la escama *Quadraspidiotus perniciosus* (Melander, 1914). Generalmente, la resistencia ocurre por selección de individuos diferentes del resto de la población, los cuales pueden sobrevivir al insecticida; ésta consiste en una preadaptación y no a un efecto mutacional (Georghious,1965 y Oppenoorth, 1985, citados por Mullin y Scott, 1992). Es causada por un cambio genético en respuesta a la selección por una sustancia tóxica, la cual no permite el control del insecto en el campo.

Cuando una población de insectos entra en contacto con los insecticidas, se seleccionan individuos con cambios genéticos que les permiten sobrevivir a una dosis que es "letal" para la mayoría de individuos de su población. Los estudios de bioquímica sobre la resistencia han permitido la identificación de los mecanismos responsables de su desarrollo. Estos estudios han contribuido al entendimiento de la fisiología de los insectos, los procesos toxicológicos, el modo de acción de insecticidas específicos, y han sido la base de los trabajos de genética molecular. Los tres principales lugares de acción de los insecticidas convencionales en los insectos son: 1) El receptor *RDL* de la subunidad A del ácido gamma-aminobutírico ($GABA_A$), que codifica para el gen *Resistencia a Dieldrin* o *Rdl* y que confiere resistencia a los insecticidas ciclodienos y fipronil; 2) El punto de activación regulado por voltaje *PARA* de los canales de sodio, codificado para el gen *para* y que confiere resistencia a los insecticidas DDT y piretroides; y 3) El Acetil colinesterasa (*AchE*) de insectos, que codifica el gen *Ace* y el cual confiere resistencia a los insecticidas del grupo de los organofosforados y carbamatos (Ffrench-Constant *et al.,* 1999).

La tasa a la cual se desarrolla la resistencia en una población depende de varios factores, entre ellos están:

- La frecuencia de genes de resistencia presentes en la población.
- La naturaleza de este gen (simple, múltiple, dominante).
- La intensidad de la presión de selección, es decir, la magnitud de la población expuesta al químico y la proporción de individuos muertos.
- El número de generaciones por año (frecuencia de reproducción).

Los avances en biología de poblaciones y su ecología, se han complementado con las aproximaciones moleculares. El entendimiento de estos procesos ha permitido el desarrollo de mejores estrategias en el manejo de la resistencia por medio de técnicas sensibles de monitoreo de resistencia, uso de sustancias sinergistas y la selección de insecticidas que eviten el problema de la resistencia cruzada.

Mecanismos de resistencia

Aparte del costo económico, medioambiental y social, el desarrollo de resistencia desde un punto de vista biológico es una maravilla fisiológica. La resistencia a los plaguicidas es uno de los casos más importantes de adaptación evolutiva a los cambios medioambientales en un tiempo evolutivo muy corto (Scott, 1990).

Para que una sustancia tóxica pueda causar la muerte del insecto ésta debe interactuar a tres niveles (Welling y Paterson, 1985):

1. Primero el insecticida tiene que penetrar la cutícula y los tejidos del insecto.
2. El producto debe distribuirse internamente en el organismo y, en algunos casos, quedar almacenado y metabolizado en los tejidos internos.
3. Por último, la sustancia química intacta o metabolizada interactúa molecularmente con el sitio primario de acción en el insecto.

La toxicidad del compuesto va a depender de la interacción a estos tres niveles.

Las bases bioquímicas de la resistencia a los insecticidas han evolucionado en diferentes formas. Los mecanismos de resistencia están directamente relacionados con la interacción a los tres niveles antes mencionados (Feyereisen, 1995). Incluyen los siguientes mecanismos:

1. Reducción en la penetración del insecticida por medio de la cutícula.
2. Incremento en los mecanismos de detoxificación del insecticida por aumento del metabolismo de las enzimas monoxigenasa- Citocromo P450, hidrolasas o glutation S- transferasa.
3. Modificación o reducción de la sensibilidad del sitio de acción del insecticida.
4. Los insectos también pueden convertirse funcionalmente en resistentes, evitando el contacto con el plaguicida exhibiendo una "resistencia por comportamiento".

A continuación se explica en qué consiste cada uno de estos mecanismos:

1. Reducción en la penetración del insecticida por medio de la cutícula

Este mecanismo de resistencia ha sido documentado desde 1960 (Fine *et al.,* 1963, Forgash *et al.,* 1962; Matsumura y Brown, 1963). Confiere bajos niveles de resistencia (dos a tres veces) (Plapp y Hoyer, 1968) a un amplio rango de insecticidas; debido a que no existe especificidad en la tasa de penetración de los compuestos químicos, es posible que se observe resistencia cruzada (Pattil y Guthrie, 1979). Un ejemplo de esta resistencia ha sido presentada con la especie *Musca domestica*, en la cual, la resistencia a dichlorvos (organofosforado) resultó en resistencia cruzada al ciclodieno dieldrin (Gerot, 1974). La resistencia de este tipo es debida a cambio en la estructura de los fosfolípidos de la cutícula. El mismo mecanismo confiere resistencia a organofosforados y organoclorados, y está asociado al gen *pen* (Scott, 1986).

2. Mecanismos de detoxificación

Incremento del metabolismo de las enzimas que intervienen en la detoxificación de sustancias en el insecto, éstas son:

Monoxigenasa - Citocromo P450: Esta enzima está involucrada en muchos casos de resistencia de insectos a insecticidas. La enzima es importante en la detoxificación de sustancias xenobióticas, como drogas y plaguicidas. Regula los niveles de hormonas, ácidos grasos y esteroides en los insectos. La enzima metaboliza sustratos lipofílicos a productos más solubles en agua, los cuales pueden ser excretados por el insecto. Hidroliza átomos de carbonos aromáticos y alifáticos. Rompe enlaces dobles, oxida compuestos azufrados y promueve la excreción de éstos. La resistencia en insectos ha sido asociada con el incremento en la actividad de la mono-oxigenasa y con el aumento en el contenido de citocromo P450 (Berge *et al.*, 1990). La resistencia ocurre al incrementar la transcripción de P450, lo que conlleva a una mayor producción de proteína y por ende, al incremento de la detoxificación de los insecticidas (Liu y Scott, 1998).

Hidrolasas: Clivan enlaces carboxiléster y fosforotriéster que intervienen en el metabolismo de insecticidas organofosforados (malation y fentoato) y piretroides (Dauterman, 1985). La resistencia se debe a la sobreproducción de estas enzimas, como se observó en *Myzus persicae*, resistente a organofosforados, debido a la duplicación de genes asociados a la producción de esta proteína (Devonshire, 1979).

Glutation S-transferasa: Desempeñan un importante papel en la detoxificación tanto de compuestos endógenos como xenobióticos, y también están involucrados en el transporte intracelular, la biosíntesis

de hormonas y la protección contra el estrés oxidativo. Metabolizan los insecticidas facilitando su dehidroclorinación o al conjugarse con glutation reducido de tal forma que se producen metabolitos solubles en agua que son más fáciles de excretar. Interviene principalmente en el metabolismo de insecticidas organofosforados. La resistencia está asociada a la sobre-expresión de la enzima y sus diferentes isoformas como ocurre en el caso de *Drosophila* resistente a malation (Cochrane *et al.,* 1992; Enayati *et al.,* 2005).

3. Reducir la sensibilidad del sitio de acción del insecticida:

Existen tres mecanismos principales de insensibilidad del sitio de acción:

Insensibilidad del sistema nervioso por modificación de canales de sodio. Gen *kdr.* Confiere resistencia a DDT, análogos de DDT y piretroides. Para el caso de los insecticidas tipo DDT y piretroides, los dos actúan al unirse a los canales de sodio de las neuronas, aunque en diferente sitio y forma. Las dos clases de insecticidas alteran el normal funcionamiento de las neuronas en el insecto. Cambios en los canales de sodio asociados a una mutación del gen *kdr*, no permiten las interacciones entre los insecticidas y el canal, lo cual confiere la resistencia al insecticida (Soderlund y Bloomquist, 1989). Generalmente está asociado a la resistencia cruzada entre estas dos clases de insecticidas como se ha reportado en moscas.

Insensibilidad del sistema nervioso por modificación de canales GABA. Gen *rdl*. Confiere resistencia a ciclodienos (dieldrin, endosulfán). En el caso de los insecticidas ciclodienos, éstos actúan bloqueando el canal receptor de GABA, que corresponde a un receptor en las neuronas y músculos del insecto, al cual se une el ácido gamma-aminobutírico (GABA), que es el principal neurotransmisor inhibidor en el sistema nervioso, esta unión permite la apertura del canal y el flujo normal de iones de cloro. Un cambio en el gen *rdl* causado por una mutación puntual, modifica el canal de tal forma que el insecticida no puede interactuar con éste (Ffrench-Constant *et al.,* 2000).

Alteración de acetil colinesterasa. Confiere resistencia a organofosforados y carbamatos (Mutero *et al.,* 1994). La acetil colinesterasa es la enzima responsable de la hidrólisis del neurotransmisor acetilcolina, presente en la sinapsis de las neuronas. Si esta hidrólisis no se produce la acetilcolina se acumula causando una hiperactividad en el insecto, que lo conduce a la muerte. El sitio de acción de los insecticidas organofosforados y carbamatos es la enzima acetil colinestarasa. Modificaciones del gen *Ace*, mutaciones puntuales, ocasionan cambios en la proteína y reducción en la sensibilidad al insecticida.

4. Resistencia por comportamiento:

El insecto evita entrar en contacto con el insecticida debido a un cambio en su comportamiento (Sparks, 1989).

La Figura 18.2 resume los diferentes mecanismos de resistencia que han sido identificados para los diferentes tipos de insecticidas.

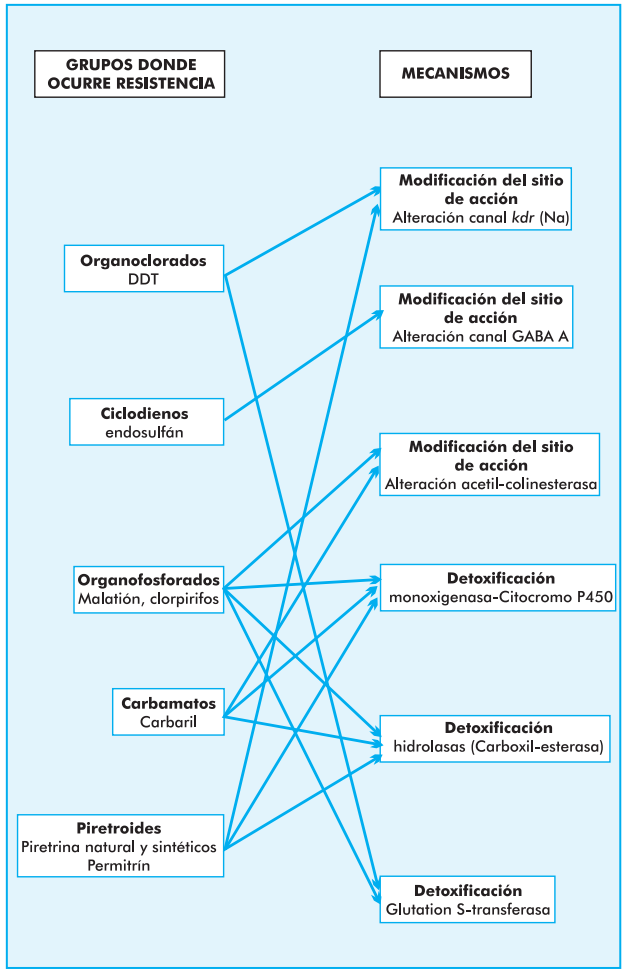


Figura 18.2. Mecanismos de resistencia identificados según los grupos de insecticida.

Técnicas para el monitoreo de la resistencia

Los métodos para determinar el desarrollo de resistencia en poblaciones de insectos comprenden bioensayos *in vivo* y ensayos bioquímicos *in vitro.*

Los ensayos *in vivo* se llevan a cabo poniendo en contacto el insecticida con los insectos vivos intactos, en los cuales se presume una disminución en la sensibilidad al insecticida y se evalúa en ellos la eficacia de éste, teniendo en cuenta variables como DL_{50}, CL_{50} y el TL_{50}, y se comparan estos resultados con los obtenidos en poblaciones sensibles.

Los ensayos *in vitro* involucran la determinación a nivel bioquímico de la actividad enzimática de ciertas proteínas (carboxil esterasa o acetil colinesterasa), que se presumen involucradas en el desarrollo de la resistencia.

Además, esto se complementa con la identificación de proteínas específicas que confieren resistencia, o la búsqueda de genes específicos por medio del análisis de los fragmentos de ADN que confieren esa resistencia. Los dos tipos de ensayos deben ser complementarios. Los datos de laboratorio deben estar correlacionados con los de campo.

Importancia de los estudios de los mecanismos de resistencia

Existen numerosas razones para estudiar los mecanismos de resistencia (Scott, 1990). Si las bases bioquímicas de la resistencia se pueden determinar, es factible diseñar técnicas de monitoreo bastante sensibles. El monitoreo es un factor clave para el desarrollo de programas exitosos de manejo de resistencia.

Ante el problema de la resistencia, una de las respuestas más comunes de los agricultores es usar otro tipo de plaguicidas; sin embargo, esta solución puede ser o no útil, dependiendo de si se presenta o no resistencia cruzada al nuevo plaguicida. Si el mecanismo de resistencia se conoce, se escogerán insecticidas que presenten un mecanismo de acción diferente. La resistencia cruzada se define como la resistencia o protección del insecto a más de un insecticida mediante la acción de un solo mecanismo de resistencia.

Una tercera razón, es que con el entendimiento de los mecanismos de resistencia será posible diseñar métodos para superarla. Uno de los mejores ejemplos es el uso de sinergistas. Estos son compuestos que incrementan la toxicidad de un insecticida, aunque ellos mismos no son sustancias tóxicas (Matsumura, 1985). Se cree que actúan inhibiendo algún tipo de metabolismo.

Manejo de la resistencia

La resistencia a los plaguicidas es un problema de distribución mundial, la resistencia a uno o más plaguicidas ha sido documentada en más de 550 insectos y el costo de la resistencia se estima en más de 1 billón de dólares. El manejo de la resistencia busca disminuir, prevenir o revertir la aparición de ésta. Un segundo objetivo es promover el desarrollo de resistencia en los enemigos naturales de las plagas. Los modelos matemáticos han sido muy útiles para construir hipótesis experimentales de manejo de la resistencia (Tabashnik, 1992).

En todos los casos se pretende minimizar la presión de selección al insecticida o al grupo de insecticidas, y para esto se ha recurrido a diferentes prácticas (Georghiou, 1983):

- Rotación, donde se alternan productos químicos con diferentes modos de acción. Un mismo producto nunca debe ser usado como único método de control. En este punto también está considerado el uso de mezclas de insecticidas.
- Uso de prácticas culturales y control biológico.

- Entender la fisiología del insecto y su ciclo de vida: el insecticida debe ser dirigido al estado biológico del insecto que es más susceptible.
- Impulsar técnicas de monitoreo de desarrollo de resistencia.

Peligros asociados con el uso de insecticidas

Existen diversos tipos de peligros potenciales asociados al uso de plaguicidas entre ellos están: 1) El personal expuesto a estos compuestos altamente tóxicos puede sufrir problemas de salud a corto o mediano plazo (Collazos *et al*., 1995); 2) Residuos excesivos en el medio ambiente pueden contaminar el agua y causar daño a la fauna marina (Jiménez *et al.,* 1996); 3) Residuos excesivos en la aplicación de insecticidas en cultivos pueden contaminar los alimentos (Carson, 1962); 4) Daños a organismos benéficos como son abejas, pájaros y, en general, otra fauna o enemigos naturales de los insectos plagas (Carson 1962; Jiménez *et al*. 1996).

Debido a todos estos factores, el uso de los insecticidas debe estar estrictamente regulado, y debido a que siempre existe un peligro potencial, cualquier persona que manipule insecticidas debe evitar su contacto con la piel, sistema respiratorio, tracto digestivo y ojos. Todo insecticida debe ser tratado con cuidado, independientemente de su nivel de toxicidad. Los factores riesgo - beneficio siempre deben ser considerados.

Insecticidas usados para el control de la broca

La broca del café, *Hypothenemus hampei*, es el principal problema entomológico que afecta la caficultura en muchos países del mundo, ya que ataca los frutos directamente y reduce su valor comercial. El ecosistema cafetero colombiano se ha caracterizado por el buen manejo dado al cultivo del café, en general, se ha evitado el hacer uso de agroquímicos en forma irracional, lo cual ha preservado el medio ambiente, favoreciendo la biodiversidad y el equilibrio biológico. Sin embargo, con la aparición de la broca del café en el país, en el año de 1988, las condiciones del cultivo del café cambiaron significativamente (Bustillo *et al*., 1998).

Históricamente, la mayoría de los países cafeteros a los cuales ha llegado la broca del café han enfocado su manejo utilizando los insecticidas como único método de control (Bustillo *et al*., 1998). Sin embargo, el uso indiscriminado de insecticidas causa serios problemas a la salud de los habitantes de la zona cafetera, así como contaminación ambiental. Para evitar estos problemas Cenicafé consideró que el control de la broca del café se debía enfocar mediante un programa de manejo integrado. Este programa incluye: evaluaciones de los umbrales de daño económico, registro de floraciones, recolección oportuna de frutos brocados combinado con el control biológico que incluye la aspersión del hongo *Beauveria bassiana,* la liberación de parasitoides y, si lo amerita, el uso de insecticidas en focos, con un manejo de la broca durante la recolección y el beneficio del café (Benavides y Arévalo, 2002).

Con respecto al uso de plaguicidas, el insecticida más recomendado para el control químico de la broca en muchos países es el endosulfán. Sin embargo, en evaluaciones preliminares de insecticidas realizadas en Colombia, en las cuales se evaluaron los productos: malation, pirimifos-metil, fenitrotion, clorpirifos y endosulfán, este último tuvo un comportamiento estadísticamente similar (mortalidad entre el 78-98%) a los otros productos, a excepción del malation (mortalidad 42%). De igual forma, Salazar (1993) mostró que la eficacia del clorpirifos era similar al endosulfán. Villalba *et al*. (1995) encontraron resultados similares en los que se muestra que los productos pirimifos metil, fention, fenitrotion y clorpirifos, de categoría toxicológica III y IV, son tan efectivos como el endosulfán.

Con respecto al uso de insecticidas en Colombia, se encontró que endosulfán es también el más utilizado por los caficultores, seguido del clorpirifos, fenitrotion y pirimifos-metil. El estudio sobre la adopción del manejo integrado de la broca realizado por Duque y Cháves (2000), encontró que para 1996 en Colombia el 75% de los caficultores usaban insecticidas para controlar la broca. Sin embargo, sólo un 15% lo aplicaban en focos tal y como se recomienda, lo cual implica que el 60% restante, no estaba empleando el insecticida en la forma aconsejada. Este uso irracional y sin la toma de decisiones basadas en los monitoreos, lleva a suponer que es posible el desarrollo de resistencia en la población de la broca a los insecticidas en Colombia.

Endosulfán

Este insecticida es un hidrocarbono clorinado del subgrupo de los ciclodienos, el cual actúa como veneno por contacto sobre una amplia variedad de insectos (Extoxnet, 1993). Nombres comerciales del producto incluyen: Thiodan, Thionil, Endosulfán, Endocide, Beosit, Cyclodan, Malix, Thimul y Thifor. Se usa principalmente en cultivos de café, té, frutas, vegetales y granos y como preservador de maderas.

Toxicidad del endosulfán. El endosulfán es una sustancia altamente tóxica, de categoría toxicológica I. Contiene la señal PELIGRO en su etiqueta. La toxicidad en parte depende de la manera como el insecticida es administrado (NIOSH, 1986). El compuesto no diluido se absorbe lenta e incompletamente en el cuerpo mientras que la absorción es más rápida en presencia de alcoholes, aceites y de emulsionantes. El estímulo del sistema nervioso central es la característica principal del envenenamiento por endosulfán (PAM, 2007). Los síntomas de la exposición aguda incluyen la pérdida de la coordinación, vómito, diarrea, agitación, convulsiones y la pérdida de sentido.

Varios efectos crónicos se han notado en animales expuestos al producto. El plaguicida afecta riñones, hígado, células sanguíneas y glándulas paratiroides (PAM, 2007). Igualmente, en estudios realizados en Colombia, se encontraron efectos mutagénicos en células de ratón, expresados como aberraciones cromosómicas (Collazos *et al.,* 1995). El porcentaje de células aberrantes en los ratones tratados con concentraciones de 0; 0,72; 3,6 y 7,19 mg de endosulfán/kg fueron de 4,2; 8,8; 9,2 y 5,2%, respectivamente, las cuales fueron estadísticamente significativas para las concentraciones baja y media. El reducido porcentaje de células aberrantes inducidas por la dosis más alta se la asocia a una posible inducción de la enzima detoxificante glutation S-transferasa, pero el daño cromosómico inducido por el endosulfán *in vivo* es un indicador de su habilidad potencial para producir efectos semejantes en poblaciones humanas expuestas en forma crónica y especialmente a bajas dosis.

Efectos ecológicos. Las aves, en general, son bastante sensibles al envenenamiento por endosulfán, de igual forma lo son algunos peces. Este insecticida tiene un impacto considerable sobre las abejas en ecosistemas cafeteros y muy posiblemente sobre otros organismos benéficos (Jiménez *et al*., 1996); sin embargo, otros autores mencionan que es relativamente no tóxico a otros insectos benéficos tales como parasitoides, cucarrones y ácaros (Maier-Bode, 1968). Los estudios realizados en Colombia tuvieron como objetivo evaluar el efecto del endosulfán sobre abejas, *Apis mellifera* (Jiménez *et al.,* 1996). El efecto de este insecticida en la mortalidad de las abejas persistió hasta 11 semanas después de asperjado en el campo, las mayores mortalidades ocurrieron durante los primeros 25 días y se observó disminución en la oviposición de las reinas en los panales, mayor agresividad y un marcado debilitamiento frente al ataque de patógenos y otros insectos. Las abejas muertas mostraron trazas del insecticida endosulfán.

Modo de acción del endosulfán. El ácido gamma- aminobutírico (GABA) es el principal neurotransmisor inhibidor en el sistema nervioso, tanto en insectos como en vertebrados. Cuando una neurona tipo gabaminérgica recibe una señal (potencial de acción) causa la liberación de GABA en el axon terminal de esta neurona. El GABA liberado interactúa con "un sitio de reconocimiento" en los receptores que se encuentran ubicados en las membrana post-sináptica de las neuronas adyacentes a ésta, conocidos como receptores GABA[1].

El receptor de GABA, denominado $GABA_A$, es a su vez un canal conformado por cinco subunidades proteicas. Las cinco subunidades se organizan para formar un canal o poro central. Cuando GABA se une al sitio de reconocimiento del receptor, las proteínas que forman el receptor cambian su configuración y el canal se abre, permitiendo el paso de iones de cloro dentro de la neurona post-sináptica, causando en la neurona una hiperpolarización, por la cual la excitación de la neurona se suprime. Los receptores GABA asociados con Cl^-, han sido encontrados en el sistema nervioso y también en las células musculares de los insectos.

El endosulfán también tiene un sitio de reconocimiento específico en $GABA_A$, y actúa como un antagonista de GABA, que bloquea no competitivamente el receptor, al unirse al receptor cambia la configuración de éste, de tal forma que la habilidad de GABA para unirse disminuye, y bloquea el paso de iones de Cl^-. Yoshihisa

[1] Multimedia Neuroscience Education Project http://www.williams.edu/imput/synapse/pages/site_map.html.

y Akamatsu (2001) proponen que el endosulfán al igual que todos los GABA antagonistas no competitivos, se unen al mismo sitio en el receptor. En el sitio de reconocimiento está envuelto el segundo dominio de la proteína (una de las subunidades alfa) y una parte de éste está codificada por el gen *rdl* (dieldrín).

Desarrollo de resistencia al endosulfán. El desarrollo de resistencia a insecticidas del tipo ciclodieno, como son el endosulfán, el lindano y el dieldrin, ha sido documentado en una amplia gama de insectos que incluye: moscas: *Drosophila* sp. (Ffrench-Constant *et al.,* 1993); áfidos: *Nasonovia ribisnigri* (Rufingier *et al.,* 1999) y *Myzus persicae* (Anthony *et al*., 1998); mosquitos: *Aedes aegypti* (Shotkoski *et al*., 1994); mosca blanca: *Bemisia tabaci* (Anthony *et al*., 1995); cucarachas: *Blatella germanica* (Thompson *et al.,* 1993); y coleópteros: *Tribolium castaneum* (Thompson *et al*., 1993; Andreev *et al*.,1999). En la mayoría de estos estudios, la resistencia ha sido conferida por una mutación genética en el gen *rdl* o gen dieldrin (ver revisión Ffrench-Constant *et al.*, 2000). Este gen codifica el sitio de reconocimiento del dieldrin y otros insecticidas incluyendo el endosulfán, ubicado en parte en el segundo dominio de la proteína. La mutación en el gen *rdl* que confiere la resistencia, consiste en una sustitución de una base. Consistentemente, esta sustitución ha causado el reemplazo del aminoácido 302, que corresponde a alanina por serina. Únicamente en dos casos (*M. persicae* y *D. simulans*) se ha encontrado que la alanina es remplazada por la glicina (Anthony *et al.*, 1998). Este cambio de un aminoácido se debe al cambio de una base en el gen *rdl*.

La resistencia de la broca del café al endosulfán ha sido documentada por Brun *et al*. (1989) en poblaciones de Nueva Caledonia. Ffrench-Constant *et al*. (1994) clonaron en estas poblaciones el gen causante de la resistencia, que en este caso también se debió al cambio de la serina por la alanina, en el gen *rdl.* Además, usando la técnica de PCR-PASA, identificaron esta mutación en diferentes estados de desarrollo del insecto (huevos, larvas, adultos).

En Colombia, la selección de poblaciones de broca resistentes a insecticidas debe ser considerada como una situación probable, dado su comportamiento reproductivo en condiciones naturales (Benavides, 2007; Gongora *et al*., 2001). De manera sucinta, la alta endogamia observada en la broca, como una consecuencia de la reproducción fraterna, y la haplodiploidía funcional reportada como mecanismo de reproducción en esta especie (Brun *et al.*, 1995), permiten que este insecto se reproduzca como líneas estrictamente maternales y presente una extremadamente baja variabilidad genética (Benavides *et al*., 2005). La consecuencia más probable sería que, mutaciones que confieren resistencia a insecticidas se fijarían rápidamente como caracteres homocigotos y se dispersarían como una línea única. Esto pondría un reto en el manejo de esta plaga ya que el control es poco eficiente en aquellas áreas donde la dependencia a químicos es muy alta.

Consideraciones finales

Los plaguicidas han contribuido a incrementar la productividad en la agricultura, sin embargo, el incremento en su uso no ha resuelto los problemas del control de las plagas, por el contrario su uso excesivo ha resultado en el rápido desarrollo de resistencia y daño a organismos benéficos, que incluyen enemigos naturales de las plagas, al igual que daños irremediables en el medio ambiente y en algunos casos problemas de salud pública.

Todo esto ha determinado mayores costos a los agricultores, al gastar más en plaguicidas, y en algunos casos se ha observado incremento en las pérdidas ocasionados por los insectos.

En respuesta a estos problemas se han venido desarrollando e implementando los programas de manejo integrado de plagas (MIP), en donde el uso de los niveles de daño económico es fundamental. Con la puesta en práctica de estos programas se han podido eliminar aplicaciones innecesarias o contraproducentes de plaguicidas.

Los programas de manejo integrado han sido propuestos y adoptados en muchos cultivos exitosamente. Para el caso del control de la broca del café el uso de insecticidas, independiente de la formulación, sólo ha sido eficaz dentro del un esquema de MIP, y debido a que ya se ha registrado el desarrollo de resistencia al endosulfán, el uso de otros insecticidas debe depender de los criterios técnicos para evitar pérdidas económicas y efectos adversos al ecosistema cafetero.

Literatura citada

ANDREEV, D.; KREITMAN, M.; PHILLIPS, T. W.; BEEMAN, R. W.; FFRENCH-CONSTANT, R. H. 1999. Multiple origins of cyclodiene insecticide resistance in *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae). Journal of Molecular Evolution, 48 (5):1432-1432.

ANTHONY, N. M.; GANSER, D.; UNRUH, T.; FFRENCH-CONSTANT, R. H. 1998. Duplication of the Rdl GABA receptor subunit gene in an insecticide resistant aphid, *Myzus persicae*. Molecular General Genetics, 260: 165-175.

ANTHONY, N. M.; BROWN, J. K.; MARKHAM, P. G.; FFRENCH-CONSTANT, R. T. 1995. Distribution of cyclodiene resistance associated mutations among strains of the sweetpotato whitefly Bemisia tabaci. Pesticide Biochemistry and Physiology, 51: 220-228.

ARTHROPOD PESTICIDE RESISTANCE Database (APRD), http://www.pesticideresistance.org/DB

BENAVIDES, P. 2007. Aspectos genéticos de la broca del café. *In:* LA BROCA del café en América Tropical: hallazgos y enfoques. Tapachula (México), ECOSUR, Memorias, p. 101-110.

BENAVIDES, P.; AREVALO, H. 2002. Manejo integrado: una estrategia para el control de la broca del café en Colombia. Revista Cenicafé (Colombia), 53 (1): 39-48.

BENAVIDES, P.; VEGA, F. E.; ROMERO, J.; BUSTILLO, A. E.; STUART, J. 2005. Biodiversity and biogeography of an important inbred pest of coffee, coffee berry borer (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). Annals Entomol. Soc. of America, 98(3): 359-366.

BERGE, J. B.; FEYEREISEN, R.; AMICHOT, M. 1990. Cytochrome P450 monoxigenases and insecticide resistance in insects. *In*: Denholm, J A.; Pickett J.A.; Devonshire A. L., eds. Insecticide resistance: from mechanisms to management. CABI Publishing, p. 25-31.

BRUN, L. O.; MARCILLAUD, C.; GAUDICHON, V.; SUCKLING, D. M. 1989. Endosulfan resistance in *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) in New Caledonia. J. Econom. Entomol., 82 (5): 1311-1316.

BRUN, L. O.; STUART, J. J.; GAUDICHON, V.; ARONSTEIN, K.; FFRENCH C., R. H. 1995. Functional haplodiploidy: a mechanism for the spread of insecticide resistance in an important international insect pest. Proc. Nat. Acad. of Sci., 92 (21): 9861- 9865.

BUSTILLO, A. E.; CÁRDENAS, R.; VILLALBA, D.; BENAVIDES, P.; OROZCO, J.; POSADA, F. J. 1998. Manejo integrado de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) en Colombia. Federación Nacional de Cafeteros, Cenicafé. Editorial Feriva S. A. ISBN 958-96554-0-8. 2a edición, 134 p.

CARSON, R. 1962. Silent Spring. Houghton Mifflin Company, Boston, 368 p.

COCHRANE, B. J.; HARGIS, M.; CROCQUET-DE-BELLIGNY, P.; HOLTSBERG, F.; CORONELLA, J. 1992. Evolution of glutathione S-transferases associated with insecticide resistance in *Drosophila*. ACS Symp. Ser. American Chem. Soc. Washington, D. C. The Society, 505: 53-70.

COLLAZOS, F.; GIRALDO, Y.; OSPINA, N. 1995. Evaluación citotóxica y genotóxica del endosulfán (Thiodan) *in vitro* e *in vivo*. Tesis de grado Universidad del Cauca, Fac. Ciencias Exactas y de la Educación. Popayán, Colombia, 147 p.

DAUTERMAN, W. C. 1985. Insect metabolism: extramicrosomal. *In* G: A: Kerkut; L. I Gilbert (eds.), Comprehensive insect physiology biochemistry and pharmacology, Pergamon, Oxford, 12: 713 –730.

DEVONSHIRE, A. L.; SAWICKI, R. M. 1979. Insecticide - resistant *Myzus persicae* as an example of evolution by gene duplication. Nature, 280: 140 - 141

DUQUE, H.; CHAVES, B. 2000. Estudio sobre adopción de manejo integrado de la broca del café. Cenicafé, Chinchiná, Colombia, 87 p.

ENAYATI, A.; RANSON, H.; HEMINGWAY, J. 2005. Insect glutathione transferases and insecticide resistance. Insect Molecular Biology, 14 (1): 3 – 8.

EXTOXNET. Extension Toxicology Network. 1993. A pesticide information project. Washington, Department of Agriculture, Extension Service, Environmental Protection Agency, 354 p.

FEYEREISEN, R. 1995. Molecular Biology of Insecticide resistance Toxicology Letter, 82: 83-90.

FFRENCH-CONSTANT, R. H.; ANTHONY, N. M.; ARONSTEIN, K.; ROCHHHELEAU, T.; STILWELL, G. 2000. Cyclodiene insecticide resistance: from molecular to population genetics. Annual Review of Entomology, 48: 449-466.

FFRENCH-CONSTANT, R. H.; PITTENDRIGH, B.; VAUGHAN, A.; ANTHONY, N. 1999. Why are so few resistance - associated mutations in insecticide target genes? *In*: Denholm, I.; Pickett, J.A.; Devonshire, A. L. eds., Insecticide resistance: from mechanisms to management. Wallingford, CABI Publishing, p. 9-17.

FFRENCH-CONSTANT, R. H.; STEICHEN J. C; BRUN, L. O. 1994. A molecular diagnostic for endosulfan insecticide resistance in the coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). Bull. Entomol. Res., 84: 11-16.

FFRENCH-CONSTANT, R. H.; STEICHEN, J. C.; ROCHELEAU, T. A.; ARONSTEIN, K.; ROUSH, R. T. 1993. A single-amino acid substitution in a gamma-aminobutyric acid subtype A receptor locus is associated with cyclodiene insecticide resistance in *Drosophila* populations. Proc. Nat. Academy of Sci., 90: 1957-1961.

FINE, B. C.; GODIN, P. J.; THAIN, E. M. 1963. Penetration of pyrethrin I labelled with carbon-14 into susceptible and pyrethroid resistant houseflies. Nature, 199: 927 – 928.

FORGASH, A. J.; COOK, B. J.; RILEY, R. C. 1962. Mechanisms of resistance in diazinon-selected multi-resistant *Musca domestica*. J. Econom. Entomol., 55: 544-551.

GEORGHIOU, G. P. 1986. The magnitude of the resistance problem. *In:* National Research Council. Pesticide resistance. Strategies and tactics for management. Washington, National Academy Press, p. 11-14.

GEORGHIOU, G. P. 1990. Managing resistance to agrochemicals: from fundamental research to practical strategies; Green, M. B.; LeBaron, H. M.; Moberg, W. K., Eds. ACS Symp. Ser. N 421. American Chemical Society: Washington, D. C., p. 18 - 41.

GEORGHIOU, G. P.; SAITO, I. 1983. Pest resistance to pesticides. Plenum Press New York, 809 p.

GEROTT, P. 1974. Mechanism of resistance to dichlorvos in adult horseflies. Pestic. Biochem. Physiol., 4: 275 - 288.

GÓNGORA, C. E.; POSADA, F. J.; BUSTILLO, A. E. 2001. Detección molecular de un gen de resistencia al insecticida endosulfán en una población de broca *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae) en Colombia. Resúmenes, Sociedad Colombiana de Entomología. XXVIII Congreso Pereira, Colombia, Agosto 2001, p. 91.

JIMÉNEZ, M. T.; BUSTILLO, A. E.; LUQUE, J. E. 1996. Impacto del uso del endosulfán y clorpirifos sobre abejas, *Apis mellifera*, en ecosistemas cafeteros colombianos. Revista Cenicafé (Colombia), 47 (2): 91 - 99.

LIU, N.; SCOTT, J. G. 1998. Increased transcription of CYP6D1 causes cytochrome P450-mediated insecticide resistance in house fly. Insect. Biochem. Mol. Biol., 8: 531-535.

MATSUMURA, F. 1985. Toxicology of Insecticides. 2nd Ed. Plenum Press, New York, 598 p.

MATSUMURA, F.; BROWN, A. 1963. Studies on organophosphorus - tolerance in *Aedes aegypti*. Mosquito News, 23: 26-31.

MAIER - BODE, H. 1968. Properties, effect, residues, and analytics of the insecticide endosulfan. Residue Reviews, 22: 10-44.

MELANDER, A. L. 1914. Can insects become resistant to sprays?. J. Econom. Entomol., 7: 167–173.

MULLIN, C. A.; SCOTT, J. F. 1992. Biomolecular basis for insecticide resistance classification and comparison. *In:* Molecular mechanisms of insecticides Resistance diversity among insects. Edited by Christopher A. Mullin and Jeffrey G. Scott. ACS Symposium Series 505. American Chemical Society, Washington, D. C.

MUTERO, A.; PRALAVORIO, M.; BRIDE, J.; FOURNIER, D. 1994. Resistance associated point mutations in insecticide - insensitive acetylcholinesterase. Proc. Nat. Academy of Sciences, 91: 5922-5926.

NIOSH. NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH. 1986. Registry of toxic effects of chemical substances, U. S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 1986. Pesticide resistance. Strategies and tactics for management. Washington, National Academic Press, 471 p.

OPPENOORTH, F. J. 1985. Biochemmistry and genetics of insecticide resistance, *In*: G. A. Kerkut; L. I Gilbert (eds), Comprehensive insect physiology biochemistry and pharmacology, Pergamon, Oxford, Vol. 12, p. 731 – 773.

PAN Pesticides Database – Chemicals. http://www.pesticideinfo.org/ Detail_Chemical.jsp?Rec_Id=PC35085

PATIL, V. L.; GUTHRIE, F. E. 1979. Effect of anomalous cuticular phospholipids on penetration of insecticides in susceptible and resistant houseflies. Pestic. Biochem. Phsysiol., 11: 13-19.

PLAPP, F. W. Jr.; HOYER, R. F. 1968. Insecticide resistance in the house fly: decreased rate of absorption as the mechanism of action of a gene that acts as an intensifier of resistance. J. Econom. Entomol., 5: 1298 - 1303.

PERRY, A. S.; YAMAMOTO, I.; ISHAAYA, J.; PERRY, R. Y. 1998. Insecticides in agriculture and environment. Retrospects and prospects. Springer-Verlag. India, 261 p.

RUFINGIER, C.; PASTEUR, N.; LAGNEL, J.; MARTIN, C.; NAVAJAS, M. 1999. Mechanisms of insecticide resistance in the aphid *Nasonovia ribisnigri* (Mosley) (Homoptera: Aphididae) from France. Insect Biochem. and Mol. Biology, 29: 385-391.

SALAZAR, R. D. 1993. Evaluación de Lorsban 4E (clorpirifos 480 EC) para el control de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari). Tesis Ingeniero Agrónomo, Universidad del Tolima, Facultad de Ciencias Agrícolas, Ibagué, Colombia, 61p.

SCOTT, J. G.; GEORGHIOU, G. P. 1986. The biochemical genetics of permethrin resistance in the Learn-PyR strain of house fly. Biochemical Genetics, 24: 25-37.

SCOTT, J. G. 1990. Investigating mechanisms of insecticide resistance: Methods, strategies, and pitfalls. *In*: Pesticide resistance in arthropods. Eds., Eds., R. T. Roush; B. E. Tabashnik, Chapman and Hall. New York and London, p. 39-57.

SHOTKOSKI, F.; LEE, H. J.; ZHANG, H. G.; JACKSON, M. B.; FFRENCH-CONSTANT, R. H. 1994. Functional expression of insecticide-resistant GABA receptors from the mosquito *Aedes aegypti*. Insect Molecular Biology, 3: 283-287.

SPARKS, T. C.; LOCKWOOD, J. A.; BYFORD, R. L.; GRAVES, J. B.; LEONARD, B. R. 1989. The role of behavior in insecticide resistance. Pesticide Science, 26 (44): 383-399.

SUDERLUND, D. M.; BLOOMQUIST, J. R. 1990. Molecular mechanisms of insecticides resistance *In*: Pesticide resistance in arthropods., R. T. Roush; B. E. Tabashnik, Eds. Chapman and Hall, New York and London. p. 58-96.

TABASHNIK, B. 1990. Modeling and evaluation of resistance management tactics *In*: Pesticide resistance in arthropods. R. T. Roush; B. E. Tabashnik, Eds. Chapman and Hall, New York and London, p. 153-182.

THOMPSON, M.; STEICHEN, J. C.; FFRENCH-CONSTANT, R. H. 1993. Conservation of cyclodiene insecticide resistance-associated mutation in insects. Insect Molecular Biology, 2: 149-154.

VILLALBA, D. A.; BUSTILLO, A. E.; CHAVES, B. 1995. Evaluación de insecticidas para el control de la broca del café en Colombia. Revista Cenicafé (Colombia), 46: 152-163.

WELLING, W.; PATERSON, G. D. 1985. Toxicodynamics of insecticide. *In*: G. A Kerkut and L. I. Gilbert, Eds. Comprehensive insect physiology, biochemistry and pharmacology. Pergamon, Oxford. Vol.12, p. 603 -645.

WHO. 1957. World health organization expert committee on insecticides. Tech. Rep. Ser., 7th Rept., 125 p.

YOSHIHISA, O.; AKAMATSU, M. 2001. Non-competitive GABA antagonists: probing the mechanisms of their selectivity for insect versus mammalian receptors. Pest Management Science, 57: 923-931.

Sección IV

Artrópodos plagas del café

Los cafetales en Colombia son atacados en forma esporádica por algunas especies de artrópodos, que en ocasiones pueden causar alarma entre los cafeteros, pero que con prácticas apropiadas de manejo se pueden controlar satisfactoriamente. En esta sección se presenta información sobre los artrópodos que se considera pueden convertirse en plagas, así como sus características morfológicas para ayudar en su identificación, el ciclo de vida, el tipo de daño que hacen, su importancia económica y las recomendaciones sobre su manejo.

CAPÍTULO 19
Insectos trozadores en cafetales

Zulma Nancy Gil Palacio

Los insectos trozadores que afectan el café son las especies *Agrotis ipsilon* y *Spodoptera frugiperda*, conocidos como "tierreros", "gusanos cortadores", "rosquillas", "mal duerme" y "gusanos ejércitos". En este grupo también se incluye el *Scapteriscus didactylus* conocido como "berraquito de tierra" o "grillotopo". Además del café, estas especies son capaces de atacar muchos cultivos de importancia económica y diversas arvenses.

El gusano biringo, *Agrotis ipsilon* (Hufnagel) (Lepidoptera: Noctuidae)

Descripción e historia de vida

Las hembras del "gusano biringo" colocan los huevos en el suelo, en residuos de cosecha, arvenses o sobre el follaje, preferiblemente en suelos húmedos, pueden colocar entre 1.000 y 1.500 huevos. Los huevos son de forma esférica y superficie estriada, el color de los huevos es claro, luego rosado y cerca a la eclosión son oscuros. Pueden encontrarse aislados o en pequeños grupos. Incuban entre 5 a 8 días (Bustillo, 1977; Vergara, 1996).

Figura 19.1. Larvas del "gusano biringo", *Agrotis ipsilon* (Tomado de http://www-staff.it.uts.edu.au/~don/larvae/noct/ipsilon.html).

Las larvas son de forma cilíndrica, color gris oscuro a negro, cabeza oscura, presentan tres pares de patas toráxicas, cuatro pares de seudopatas abdominales y un par anal (Figura 19.1). El integumento es liso, aunque presenta algunas granulaciones. Alcanzan su máximo desarrollo, al cabo de cinco ínstares y miden unos 45 mm. El estado larval dura de 24 a 30 días (Bustillo, 1977; Vergara, 1996).

En el último ínstar larval, la larva construye una celda pupal con partículas de tierra y en esta cámara transcurre la fase pupal. La pupa es obtecta, de color marrón brillante y demora en este estado de 15 a 20 días. Los adultos son polillas de color gris a marrón, con alas posteriores blancas translúcidas y con flecos; en las alas anteriores se observan manchas reniformes. Mide entre 28 y 51 mm de envergadura alar, las antenas son filiformes y el insecto es de hábitos nocturnos (Bustillo, 1977; Vergara, 1996).

Daño

Las larvas prefieren las plantas jóvenes, y de éstas consumen las raíces, cortan el cuello de la planta y consumen hojas tiernas. Al terminar el daño a una plata se trasladan a la más cercana. Los adultos tienen la capacidad de desplazarse a grandes distancias; es una especie de distribución mundial (Cárdenas y Posada, 2001).

Las larvas sólo hacen daño durante la noche cortando las plantas jóvenes y destruyendo el follaje de las más grandes, lo cual puede causar la muerte parcial o total de las plantas. En el día las larvas permanecen protegidas de la luz solar, enterradas alrededor de las plantas atacadas. Los ataques en el campo son importantes durante los primeros 8 a 12 días de edad de la planta, generalmente en forma localizada o focos, y su control debe realizarse siguiendo sus hábitos (Cárdenas y Posada, 2001).

El cogollero del maíz, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae)

Este insecto es una de las plagas más importantes del maíz en el continente americano. Ocasionalmente se le puede encontrar en cafetales recién sembrados, aledaños a cultivos de maíz. Dentro del grupo de los trozadores es la especie más común; las larvas poseen hábitos caníbales, pero cuando este comportamiento no se da, se convierten en gusano ejército y su daño es devastador (Figura 19.2).

Figura 19.1. Larva del trozador *Spodoptera frugiperda* en el suelo (Foto L. M. Constantino).

Descripción e historia de vida

Esta especie se denomina cogollero del maíz, gusano ejército o gusano soldado. El estado causante del daño es la larva, que troza las plántulas de los cultivos. Las hembras colocan los huevos en masas de unos 100 huevos y en total pueden colocar entre 800 a 900 por hembra. Los huevos son de forma globosa semiesférica con la base plana, estriados radialmente y blancos a verde pálido o rosado, próximos a la eclosión toman una tonalidad gris oscura. Se encuentran en el envés de las hojas, en la hojarasca, o en el suelo. Incuban, según la temperatura, entre 5 a 8 días (Bustillo, 1977; Zuluaga, 1979).

Las larvas en sus primeros ínstares se alimentan del parénquima de la hoja, dejando la cutícula inferior casi intacta. Así constituyen áreas translúcidas, indicativo inicial del daño. Actúan como trozadores cuando el cultivo está en estado de plántula, allí pueden barrenar los cogollos destruyendo los puntos de crecimiento. Además, consumen follaje y perforan las mazorcas en el maíz. Las larvas pasan por 5 a 7 ínstares, la coloración es variable, recién emergidas son de cabeza negra con cuerpo blanco y manchas, y setas cafés. La cabeza sobresale en diámetro con relación al resto del cuerpo. El escudo cervical y la lámina anal son negruzcas (Romero, 1975).

A partir del tercer ínstar pueden notarse cinco bandas más claras que van desde la cabeza al extremo abdominal. En las larvas de último ínstar el cuerpo es de color marrón, marrón oscuro o verde pálido, con una línea media longitudinal de color marrón oscuro entre dos líneas laterales más claras, en igual sentido.

(Bustillo 1977). En cada segmento van cuatro puntos negros en forma de trapecio, pueden medir hasta 45 mm y este estado dura entre 15 y 25 días (Romero, 1975).

La larva empupa en el suelo y prepara una cámara pupal, a profundidades de 2 a 8 cm. La pupa es de color marrón claro, de forma obtecta y mide cerca de 15 mm; en este estado a la emergencia de los adultos demoran unos 20 días (Bustillo, 1977; Vergara, 1996).

Los adultos son polillas de color pardo moteado, la coloración es más clara en los machos que en las hembras y alcanzan una envergadura alar de 32 a 38 mm. Las alas anteriores de las hembras tienen un color uniforme gris a marrón. Los machos tienen marcas oscuras y pálidas en las alas, de color marrón claro, que ayudan a su diferenciación entre especies y entre sexos (Bustillo, 1977; Vergara, 1996).

Daño

En almácigo, las chapolas o plántulas son trozadas cerca al cuello de la raíz, y las hojas cotiledonales son consumidas. Generalmente, se observan en las primeras horas de la mañana dos, tres y más plántulas, trozadas en focos dentro del almácigo (Cárdenas y Posada, 2001).

Dentro del cafetal aparecen árboles aislados marchitos o secos, como consecuencia del descortezado producido por las larvas, un poco arriba del cuello de la raíz. Cuando el descortezado no es total (anillado completo), la planta se recupera formando un área suberizada alrededor de la corteza destruida. Durante el día, estas larvas se encuentran bajo tierra cerca a las plántulas trozadas. Su control se hace en forma manual o mediante la aplicación de un cebo alrededor de los focos, después de las cinco de la tarde. Estas especies son polífagas y atacan a la mayoría de los cultivos, en especial gramíneas (Cárdenas y Posada, 2001).

El grillo topo, *Scapteriscus didactylus* (Latreille)

(Orthoptera: Gryllotalpidae)

Este insecto es conocido con el nombre común de "berraquito de tierra" o "grillotopo", es de hábitos nocturnos, se presenta ocasionalmente en siembras nuevas, establecidas en áreas que antes estuvieron cubiertas por praderas o rastrojo (Figura 19.3).

Figura 19.3. Adulto del grillo topo, *Scapteriscus didactylus* (Foto G. Hoyos).

Descripción e historia de vida

La hembra deposita entre 200 y 400 huevos, en cámaras bajo tierra, a unos 5 a 10 cm de profundidad. En el estado de ninfa son de color café muy claro y permanecen, casi todo el tiempo, ocultos en forma gregaria, dispersándose antes de llegar al estado adulto. El tamaño de los adultos varía entre 2,5 a 5 cm de longitud, son de color pardo claro a marrón, el cuerpo es macizo, las alas no recubren por completo el abdomen. Poseen fuertes mandíbulas, las patas delanteras son modificadas para cavar, presentan las tibias ensanchadas y los bordes dentados; el pronoto también tiene forma ahusada y consistencia esclerotizada (Frank *et al.,* 1987).

Daño

Scapteriscus didactylus es de hábitos subterráneos y excava galerías superficiales en el suelo. Durante la noche se alimenta de raíces y otros órganos de las plantas que se encuentran enterrados, mientras que en

las horas del día se resguarda en galerías más profundas. En café el daño se presenta en focos. Este grillo es polífago, además de café ataca prácticamente todas las especies forestales en viveros y recién plantadas (Cárdenas y Posada, 2001). El daño más importante lo hacen trozando las plántulas de almácigos o cuando éstas son llevadas al campo.

Manejo de poblaciones de los trozadores

El manejo de las poblaciones de los gusanos trozadores debe de estar enfocado al manejo integrado, que comprende:

Control cultural

Mediante la preparación adecuada del suelo se exponen a la acción depredadora de las aves tanto las pupas de los lepidópteros como las ninfas de *Scapteriscus* que se encuentran enterradas.

En caso del establecimiento del cultivo en zonas donde existan gramíneas se recomienda dejar el lote limpio durante dos meses, antes de la siembra. La rotación de cultivos y eliminación de arvenses hospederas de los cortadores son prácticas muy efectivas (Segura, 1985).

Control biológico

Existen mas de 30 especies de enemigos naturales (patógenos, depredadores y parasitoides) que atacan a los gusanos trozadores; se destacan depredadores como *Calosoma alternans* Motschoulsky (Coleoptera: Carabidae), *Polistes* sp., *Polybia* sp. (Hymenoptera: Vespidae) y "chinches asesinas" *Zelus* spp. (Hemiptera: Reduviidae) (Segura, 1985). Entre los parasitoides de huevos se destacan *Trichogramma pretiosum* Riley; *T. atopovirilia* Oatman y Platner (Hymenoptera: Trichogrammatidae), *Meteorus* sp. (Hymenoptera: Braconidae) y *Euplectrus* sp. (Hymenoptera: Eulophidae). Entre los parasitoides de larvas se encuentran las moscas *Sarcodexia sternodontis* Towsend y *Lespesia* sp. (Diptera: Tachinidae) (Uribe, 1993).

Cebos

Cuando los ataques de los lepidópteros se presentan como gusanos ejércitos, se deben controlar con cebos localizados en los sitios de mayor concentración del insecto, después de las 5:00 pm. Estos cebos se preparan mezclando un litro de un insecticida químico con 4 L de agua, 1 L de melaza y 15 kg de salvado, que puede ser de trigo, maíz o arroz. Esta mezcla se distribuye en los sitios de ataque a lado y lado del surco. Normalmente se requieren 20 kg del cebo por hectárea (Bustillo, 1977).

Literatura citada

BUSTILLO, A. E. 1977. Las plagas del tomate y su control. *In*: Curso sobre hortalizas. ICA, Regional 4, Medellín, Colombia. Compendio No.21, p. 257-283.

CÁRDENAS, R.; POSADA, F. J. 2001. Los insectos y otros habitantes de cafetales y platanales. Comité Departamental de Cafeteros del Quindío-Cenicafé, Armenia, Colombia, 250 p.

FRANK, J. H.; WOODDRUFF, R. E; NUNTILDE, C. A. 1987. *Scapteriscus didactylus* (Orthoptera: Gryllotalpidae) in the Dominican Republic. Florida Entomol., 70 (4): 778-783.

ROMERO, M. V. 1975. Ecología del cultivo del maíz (*Zea mays* L). *In:* El cultivo del maíz. (Conferencias). Bogotá, Colombia, IICA-ICA, p 1-15.

SEGURA, L. F. 1985. Consideraciones sobre el manejo de insectos plagas en los cultivos del maíz, sorgo y soya. *In*: Manejo integrado de plagas (conferencias). Bogotá: IICA-ICA. p. 242-256.

URIBE, L. A. 1993. Enemigos naturales del gusano cogollero del maíz. Fundación Fomento Agropecuario Buen Pastor, Medellín, Colombia, 16 p.

VERGARA, R. 1996. Las plagas del maíz y fríjol: Consideraciones para su manejo y control. *In:* Entomología económica. Talleres prácticos. Universidad Nacional, Medellín, Colombia, p. 247-272.

ZULUAGA, J. I. 1979. Plagas del cultivo del maíz. *In*: Entomología II y control de plagas. (Guía para la fracción teórica del curso). Universidad Nacional, Palmira, Colombia, s.p.

CAPÍTULO 20
Chisas que afectan cafetales en Colombia

Alex Enrique Bustillo Pardey

En Colombia se conocen como "chisas" a unos gusanos blancos de coleópteros, que atacan las raíces de casi todos los cultivos en el país. También se les denomina "mojojoys", "marceños" o simplemente "gusanos blancos". Las chisas comprenden varios géneros del orden Coleoptera, ubicados actualmente en la familia Melolonthidae (Morón 1995), anteriormente conocida como Scarabaeidae (Blackwelder, 1944), y las subfamilias más importantes con sus géneros son: Dynastinae (*Cyclocephala*, *Ancognatha*), Melolonthinae (*Phyllophaga, Plectris*) y Rutelinae (*Anomala*). Del grupo de las chisas se registran en Colombia cerca de 600 especies, y de éstas alrededor de 30 son de importancia económica para muchos cultivos agrícolas. En los cafetales de la zona central se han encontrado con mayor frecuencia las especies: *Phyllophaga menetriesi* (Blanchard), *Plectris pavida* (Burmeister), *Anomala cincta* (Say) y varias especies de *Cyclocephala*, como *C. gregaria* (Heyne y Tachenberg), *C. mafaffa* y *C. signata* (Fabricius) (Vallejo, 2001; Vallejo *et al.,* 2007; CIAT, 2004).

Descripción e historia de vida

Las chisas atacan el sistema radical de los cafetos y se caracterizan porque las larvas son blancas, tienen forma de "C", presentan tres pares de patas torácicas y la cabeza de color marrón claro a oscuro (Figura 20.1).

Existen especies con un ciclo de vida de un año y otras, con una duración de seis meses. A continuación se describe el ciclo de vida, de manera general, para especies con ciclo de un año: Las hembras fecundadas colocan sus huevos en el suelo, éstos son esféricos, pequeños y blancos translúcidos, las larvas emergen al cabo de unos 15 a 20 días, dependiendo de la especie y de las condiciones de temperatura. El estado de larva pasa por tres ínstares y tiene una duración relativamente larga, permanece todo el tiempo en el suelo y se alimenta de las raíces de la planta.

Figura 20.1. Larva de último ínstar de *Phyllophaga menetriesi* (Foto L. M. Constantino).

El primer ínstar puede tomar unos 30 días, el segundo 55 días y el tercero es más prolongado, alcanzando unos 160 días. El estado de prepupa dura entre 15 y 20 días, la pupa dura entre 45 a 60 días y el adulto

puede vivir mucho tiempo, al menos 45 días. Para las especies con dos generaciones por año, su duración se reduce a la mitad del tiempo señalado para las otras especies univoltinas.

El daño lo hacen las larvas consumiendo las raicillas y la corteza de las raíces más desarrolladas, de muchos cultivos y pastizales. La larva empupa formando una cámara pupal en el suelo y de ahí emerge el adulto. Los adultos son activos durante la noche, consumen follaje de las plantas atacadas, copulan y las hembras fertilizadas depositan sus huevos en el suelo, cerca a las plantas huéspedes. En la zona cafetera son muy comunes en maíz, yuca, fríjol y en cultivos perennes, como cafetales y frutales. Los adultos de todas estas especies son de hábitos nocturnos y son altamente atraídos a fuentes luminosas. El número de generaciones por año varía de acuerdo con la especie. *P. menetriesi, P. pavida* y *A. cincta* tienen una sola generación, en cambio las especies de *Cyclocephala*, presentan dos generaciones por año (CIAT, 2004; Posada y Ruiz, 1994; Saunders *et al.,* 1998).

Phyllophaga menetriesi (Blanchard)

P. menetriesi es considerada entre las chisas, la plaga que más daño causa a los cultivos que ataca. Está distribuida en Centro y Suramérica y sus principales huéspedes son maíz, arroz, sorgo, fríjol, papa, cafetos y pastizales (Saunders *et al*., 1998; CIAT, 2004). También se puede presentar con menor incidencia la especie *Phyllophaga obsoleta* (Blanchard), la cual predomina en sitios a alturas entre 1.800 y 2.200 m (Vallejo, 2001; Vallejo *et al.,* 2007).

La biología de *P. menetriesi* ha sido estudiada por varios autores (Saunders *et al*., 1998; CIAT, 2004). Recientemente, Pardo y Montoya (2007) estudiaron su ciclo de vida y hábitos en la zona de Caldoto (Cauca), en lugares localizados a 1.450 m de altitud y con 2.191 mm de precipitación. *P. menetriesi* presenta una sola generación por año, el estado de huevo dura entre 14 y 21 días, el período larval, que pasa por tres ínstares, dura entre 210 y 260 días. La larva completamente desarrollada alcanza entre 4 a 7 cm de longitud. Son de color blanco cremoso en forma de "C"y cabeza pardo amarillosa (Figura 20.1). Los dos primeros ínstares se alimentan de materia orgánica y raicillas en el suelo, durante unos 60 a 90 días. Las larvas de tercer ínstar se alimentan de las raíces de las plantas durante cerca de 180 días.

Figura 20.2. Adulto de *Phyllophaga menetriesi* (Foto L. M. Constantino).

Cuando termina su desarrollo, forma una celda en el suelo a una profundidad de 10 a 20 cm, en la cual se prepara para empupar en los meses de enero a febrero. El estado de pupa es de color marrón oscuro y dura alrededor de 45 días. El adulto tiene el integumento de color pardo rojizo y sus élitros están cubiertos de finas setas blancas, que le dan una apariencia más clara, mide hasta 2,2 cm de longitud (Figura 20.2). Emergen del suelo entre septiembre y noviembre, un poco después de iniciado el período de lluvias. Las hembras fertilizadas colocan los huevos en pequeños grupos en el suelo. Estos son blancos perlados, de forma oval y tienen 2,5 mm de diámetro. Una hembra puede colocar alrededor de 200 huevos. Se indica que niveles de cinco o más larvas por metro cuadrado requieren medidas de control para evitar daños en el cultivo. Esta especie predomina en sitios entre 1.100 y 1.600 m de altitud, y es de gran importancia económica como especie rizófaga en la zona occidental cafetera de Colombia (Pardo y Montoya, 2007).

Figura 20.3. Adulto de *Plectris pavida* (Foto G. Hoyos).

Plectris pavida (Burmeister)

También se considera como una plaga severa y los daños son más notorios entre diciembre y marzo, lo cual se debe a la época en que las larvas de último ínstar inician su alimentación y consumen las raíces de las plantas. Tienen una sola generación por año y su ciclo de vida es muy similar en duración al de *P. menetriesi*. La larva es blanca con la cabeza marrón y al completar su desarrollo llega a medir 3 cm. El adulto es de color café oscuro, con líneas de puntuaciones negras sobre sus élitros, su tamaño es de 2 cm en longitud (CIAT, 2004) (Figura 20.3).

Figura 20.4. Adulto de *Anomala cincta* (Foto G. Hoyos).

Anomala cincta (Say)

Anomala cincta se considera una plaga de menor frecuencia en los cafetales, tiene una sola generación por año. La larva alcanza 3 cm de longitud y tiene la cabeza marrón. El adulto es negro, con matices verde metálico en el tórax (Figura 20.4), llega a medir hasta 2 cm y es muy activo durante la noche, consumiendo flores y follaje, copulando y ovipositando. Se pueden presentar otras especies de *Anomala*, no identificadas, de color marrón claro (Figura 20.5), y también la especie *Anomala caucana* (Ohaus), cuyo adulto es más grande y totalmente negro (Figuras 20.6 y 20.7). Los vuelos de los adultos se inician después de junio y se pueden extender hasta noviembre (CIAT, 2004).

Figura 20.5. Adultos de *Anomala* sp. (Foto G. Hoyos).

Cyclocephala spp.

En los cafetales se presentan varias especies de *Cyclocephala*, algunas no identificadas, caracterizadas por su color marrón claro con muchas manchas irregulares sobre el cuerpo; el adulto alcanza una longitud de 1,5 cm (Figura 20.8). *Cyclocephala gregaria* se caracteriza por tener el cuerpo de color pardo rojizo, la cabeza negra y el abdomen con una mancha negra gruesa, dando la impresión de una U en cada élitro (Figura 20.9). *Cyclocephala mafaffa*, también se puede separar por sus manchas típicas sobre el tórax y abdomen, como se aprecia en la Figura 20.10. En cafetales del Quindío se encuentra con mayor frecuencia la especie *Cyclocephala signata* (Figuras 20.11 y 20.12), el adulto se caracteriza por tener la cabeza parda oscura, pero el resto del cuerpo de un color pardo claro con muy pocas máculas sobre los élitros. Todas estas especies son plagas menores sin importancia económica. Juegan un papel importante en el suelo al transformar la materia orgánica vegetal. Tienen dos generaciones por año, por lo que la emergencia de adultos se presenta durante el año en dos épocas diferentes. Las larvas son blancas con cabeza marrón y alcanzan alrededor de 2,5 cm de longitud (Figura 20.11). (CIAT, 2004).

Figura 20.6. Larva de *Anomala caucana* (Foto L. M. Constantino).

Daño

El adulto de todas estas especies es activo durante la noche, consume follaje y roe la hoja, dándole una apariencia esquelética,

Figura 20.7. Adulto de *Anomala caucana* (Foto L. M. Constantino)

Figura 20.8. Adulto de *Cyclocephala* sp. (Foto G. Hoyos).

Figura 20.9. Adulto de *Cyclocephala gregaria* (Foto G. Hoyos).

Figura 20.10. Adulto de *Cyclocephala mafaffa* (Foto G. Hoyos).

Figura 20.11. Larva de *Cyclocephala signata* (Foto L. M. Constantino).

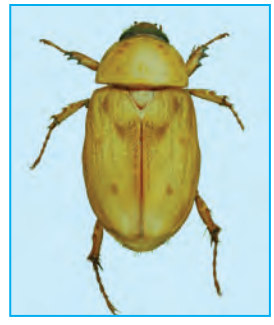


Figura 20.12. Adulto de *Cyclocephala signata* (Foto L. M. Constantino).

Figura 20.13. Larva de chisa infectada por el hongo *Metarhizium anisopliae* (Foto A. Bustillo).

aunque este daño no alcanza a ser muy serio en las plantas. El verdadero daño lo causan las larvas en el sistema radical de plántulas muy jóvenes, inicialmente el ataque pasa desapercibido al agricultor, ya que no puede observar las larvas. El daño se manifiesta más tarde por un marchitamiento, defoliación y posterior muerte de la planta. Cuando se extrae la planta muerta se observa con un sistema radical reducido y abundantes larvas de chisas.

Manejo de poblaciones

Las poblaciones de chisas son afectadas por varios enemigos naturales, entre los cuales el grupo de los microorganismos como bacterias, hongos y nematodos son los más importantes. De las especies de chisas relacionadas arriba se ha aislado la bacteria *Bacillus popilliae* Dutky, los hongos *Metarhizium anisopliae* (Metch.) Sorokin, (Figura 20.13) y *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuillemin y *Septobasidium* sp., además del entomonematodo *Hexamermis* sp. (Mermithidae). (Londoño y Pérez, 1994; Cortés y Laserna, 1999; Cárdenas y Posada, 2001). Sin embargo, sus efectos no son suficientes para la regulación de sus poblaciones, por lo tanto, es importante incrementar su acción mediante la aplicación comercial de productos derivados de estos controladores biológicos, además de la implementación de otras prácticas como el uso de trampas de luz e insecticidas químicos, cuando se requieran (Prieto y Montoya, 1994).

Para un manejo apropiado de las poblaciones de chisas es importante conocer la especie, la localización de las larvas en el perfil del suelo donde realizan el daño, las horas de actividad de los adultos durante la noche y su tendencia a ser atraídos a las fuentes luminosas.

En general, se conoce que los adultos de la chisa tienen hábitos nocturnos y presentan la mayor actividad de vuelo entre las 7 y las 10 de la noche. Vásquez y Sánchez (1994) encontraron que las larvas del género *Phyllophaga* se encuentran entre 13 y 30 cm de profundidad, las del género *Anomala* entre 12 y 46 cm, y las de los géneros *Macrodactylus* e *Isonychus* entre 11 y 27 cm. Esto hace que muchos controles con insecticidas sean ineficientes, dada la dificultad de localizar los productos a la profundidad requerida.

Algo de esta dificultad se puede obviar con el hongo *M. anisopliae*. Se ha demostrado que es eficiente, en lotes con infestaciones de chisas, aplicándolo al momento de hacer el hoyado para sembrar los árboles de café, usando una formulación granulada o en aspersión en dosis de $1x10^{10}$ esporas/sitio. La presencia del hongo además de infectar las larvas presentes, tiene un efecto repelente para las larvas que se acerquen a atacar las raíces de la planta protegida.

Los adultos de chisas, como se mencionó con anterioridad, presentan una gran atracción a trampas de luz negra (Bustillo, 1989). El uso de trampas de luz desde el inicio hasta el final de la época de emergencia de los adultos permite capturar una gran cantidad de adultos, contribuyendo a la disminución de sus poblaciones, especialmente cuando esto se hace a nivel regional en las zonas afectadas. Con estas trampas se han logrado buenos resultados en el control del cucarro (*Euetheola bidentata*) en las regiones agrícolas del Caquetá (Vásquez y Sánchez, 1990), en la zona bananera de Urabá (Casas, 1990) y Córdoba (Caraballo, 1990) y en cultivos de papa de La Unión (Antioquia), para capturar adultos de varias especies de chisas (Montoya *et al*., 1994). La atracción de *P. menetriesi* a este tipo de trampas ha sido comprobada por Pardo y Montoya (2007).

Literatura citada

BLACKWELDER, C. 1944. Checklist of the coleopterous insects of Mexico, Central America, the West Indies and South America. Washington Smithsonian Institution, U.S. National Museum, Part. I., 925 p.

BUSTILLO, A. E. 1989. El uso de trampas de luz en el manejo de poblaciones de insectos. Actualidades ICA, año 3 No. 35, p.1-8.

CARABALLO, U. 1990. Ciclo de vida y fluctuación poblacional de *Euetheola bidentata* en Colombia. *In*: Memorias seminario nacional de investigación y control del cucarro. ICA. Florencia, Caquetá, p. 29-34.

CÁRDENAS, R.; POSADA, F. J. 2001. Los insectos y otros habitantes de cafetales y platanales. Comité Departamental de Cafeteros del Quindío y Cenicafé. Armenia, Colombia, 120 p.

CASAS, H. 1990. Aspectos preliminares de la biología y ecología del cucarro *Euetheola bidentata* en el Urabá Antioqueño. *In:* Memorias, Seminario Nacional de Investigación y Control del Cucarro, ICA. Florencia, Caquetá. p. 37-46.

CIAT. 2004. Complejo de chisas identificadas en el municipio de Armenia, Quindío, finca Rivadavia, vereda El Cinco. Unidad de Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades. Proyecto Plagas Subterráneas, CIAT. Junio de 2004, 2p.

CORTÉS, J. I.; LASERNA, L. F. 1996. Evaluación del efecto del entomopatógeno *Septobasidium* sp., sobre larvas de los géneros *Phyllophaga, Anomala* y *Cyclocephala* del orden Coleoptera presentes en el cultivo de la arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) en la zona de Cajamarca, Tolima. Tesis de grado, Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad del Tolima, 59 p.

LONDOÑO, M. E.; PÉREZ, M. 1994. Reconocimiento de los enemigos naturales de la chisa o mojojoy (Coleoptera: Scarabaeidae) en el Oriente Antioqueño. Revista Colombiana de Entomología, 20 (3): 199-206.

MONTOYA, G. L.; MADRIGAL, A.; RAMÍREZ, C. 1994. Evaluación de trampas de luz para el control de adultos de Scarabaeidae (Coleoptera) en cultivos de papa en La Unión, Antioquia. Revista Colombiana de Entomología, 20 (2): 130-136.

MORÓN, M. A. 1995. Clave para la identificación de los principales géneros con larvas edafícolas de Coleoptera *Melolonthidae* de Colombia. *In:* Memorias Curso nacional sobre plagas rizófagas. Corpoica, CNI, Tibaitatá, Bogotá, 25 p.

PARDO, L. C.; MONTOYA, J. 2007. Ciclo de vida, importancia agrícola y manejo integrado de la chisa rizófaga *Phyllophaga menetriesi* Blanchard (Coleoptera: Melolonthidae), en Cauca y Quindío, Colombia. Acta Agronómica (Colombia), 56 (4): 195 – 202.

POSADA, L.; RUIZ, N. 1985. Aspectos biológicos de las chisas en la sabana de Bogotá. Revista Colombiana de Entomología, 1 (1): 21-26.

PRIETO, P. C.; MONTOYA, J. H. 1994. Evaluación de la aplicación de *Beauveria bassiana* (Bals.), *Metarhizium anisopliae* (Metch.) Sorokin y clorpirifos para el control de chisas Coleoptera: Scarabaeidae. Tesis de grado, Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia, 64 p.

SAUNDERS, J. L.; COTO, D. T.; KING, A. B. S. 1998. Plagas invertebradas de cultivos anuales alimenticios en América Central. CATIE, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Manual Técnico No. 29, 305 p.

VALLEJO, L. F. 2001. Especies de insectos de la familia Melolonthidae (Coleoptera: Scarabeoidea) registradas en el departamento de Caldas. Fitotecnia, No. 058, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia, 2 p.

VALLEJO, F.; MORÓN, M. A.; ORDUZ, S. 2007. Biología de *Phyllophaga obsoleta* Blanchard (Coleoptera: Melolonthidae), especie rizófaga del complejo "chisa" de Colombia. *In*: Pardo, L. C.; Gallego, M. C.; Montoya, J. (eds.). Memorias, Diplomado en biología, ecología y taxonomía de Scarabaeoidea. Universidad del Valle, Cali, Colombia, p. 92 – 106.

VÁSQUEZ, N.; SÁNCHEZ, G. 1994. Propuesta de manejo integrado de las chisas (Coleoptera, Melolonthidae) en el cultivo de arracacha. Capitulo 10, Memorias Foro técnico: Programa de investigación en el cultivo de arracacha. CORPOICA, Cajamarca, Tolima, p 127 – 147.

CAPÍTULO 21
La hormiga arriera *Atta cephalotes* (L.) (Hymenoptera: Formicidae)

Luis Miguel Constantino Chuaire

Las hormigas arrieras pertenecen a la familia Formicidae, y a los géneros *Atta* y *Acromyrmex,* de las cuales unas diez especies se encuentran en Colombia (Madrigal y Yepes, 1997); sin embargo, la especie de mayor importancia económica y más distribuida en la zona cafetera es *Atta cephalotes* (L.) (Figura 21.1) (Cárdenas y Posada, 2001; Madrigal y Yepes, 1997). La especie *A. laevigata* (Smith), comúnmente conocida como "hormiga culona", se encuentra en los departamentos de Santander y Norte de Santander en Colombia, en donde la gente tradicionalmente captura las reinas, de las cuales utilizan el abdomen para su consumo como alimento rico en proteína.

La hormiga arriera, *A. cephalotes,* ataca la mayoría de cultivos forestales y agrícolas como café, yuca, maíz, cítricos, mango, almendros, eucaliptos, nogal, pino pátula, cedro, guamo y ornamentales, entre otros (Madrigal, 2003).

Descripción e historia de vida

Las hormigas arrieras son insectos sociales. La población de cada colonia está conformada por individuos morfológicamente diferentes y su tamaño está relacionado con la función que cada uno de ellos cumple en el hormiguero. Las castas que componen un hormiguero son:

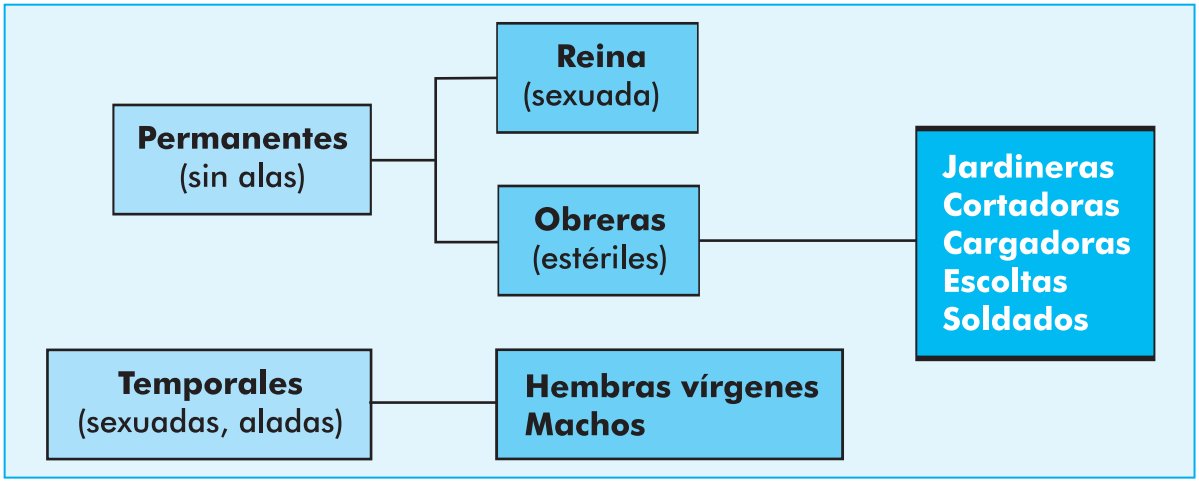


Figura 21.1. Colonia de hormigas arrieras *Atta cephalotes* (Foto L. M. Constantino).

La reina tiene como función la multiplicación de la colonia, puede vivir hasta 15 años, durante los cuales pone aproximadamente un millón de huevos por año. La fecundación de la reina ocurre durante el vuelo nupcial y puede aparearse hasta con ocho machos. Durante todo el año, la reina coloca huevos que darán origen a obreras estériles y sólo durante un corto período del año produce huevos que darán origen a hembras fértiles aladas y a machos, los cuales se encargarán de la fundación de nuevas colonias.

Las obreras constituyen la mayor proporción del hormiguero y son las responsables de la alimentación y el cuidado de toda la colonia. Cada casta cumple una función específica. Los soldados son la última casta en aparecer en el hormiguero, al cabo de seis meses de su iniciación; los soldados pueden vivir hasta dos años, aproximadamente (Jaffé y Howse, 1979; Wilson, 1986; Jaffe y Vilela, 1989).

Cuando el nido está bien desarrollado la reina empieza a producir huevos que darán origen a machos y hembras aladas, de tal modo que con el inicio de las lluvias éstos realizan su vuelo nupcial, que marcará para algunas hembras el inicio de su vida como reina madre de un nuevo hormiguero. El vuelo nupcial ocurre en las épocas de invierno entre abril - mayo y octubre - noviembre (Madrigal y Yepes, 1997).

Una vez apareada, la reina busca un sitio adecuado para iniciar una nueva colonia y construir un hormiguero (Figura 21.2), generalmente en los claros de la vegetación, sitios abiertos y taludes, donde la tierra está blanda y húmeda. Una vez en el suelo, se deshace de sus alas con sus mandíbulas y abre un orificio en el suelo, de unos 20-30 cm de profundidad, al final del cual construye una cámara en donde regurgita una pequeña bola del hongo simbionte, que recolectó en su hormiguero de origen y que guarda en el aparato bucal. Este primer jardín del hongo lo abona con gotas de materia fecal. En esta esponja de hongo la reina empieza a colocar dos tipos de huevos, unos fértiles que darán origen a las primeras obreras y otros infértiles pero más grandes, que servirán de alimento a la reina y las primeras larvas. Al cabo del tercer mes, aparecen las primeras obreras cortadoras y cargadoras, que salen al exterior y que se encargarán del mantenimiento y del cuidado del nido (Figura 21.3). Estas empiezan a forrajear cortando pedacitos de hojas y las llevan hasta

Figura 21.2. Bocas de entrada a hormiguero de arrieras, *Atta cephalotes* (Foto L. M. Constantino).

Figura 21.3. Camino elaborado por hormigas arrieras para transportar su alimento a la colmena (Foto L. M. Constantino).

la cámara donde son recogidas y trituradas por las jardineras, que se encargan de formar una especie de colcha o esponja donde cultivan el hongo *Attamyces bromatificus*, que se constituye en el único alimento de la hormiga arriera. Se considera un hongo simbionte porque las hormigas dependen del hongo para alimentarse y a su vez, el hongo depende de las hormigas para vivir y crecer (Quinlan y Cherrett, 1979).

Las hormigas arrieras presentan metamorfosis completa, es decir, pasan por los estados de huevo, larva, pupa y adulto. La duración de su ciclo de vida se presenta en la Tabla 21.1.

Tabla 21.1. Promedio de la duración de los estados de desarrollo de una obrera de hormiga arriera.

Estado	Duración (días)
Huevo	22
Larva	25
Pupa	10
Adulto	120

Se estima que un hormiguero para alcanzar su máximo desarrollo tarda aproximadamente entre 10 y- 15 años, y para entonces puede abarcar una superficie de más de 200 m^2 (Figura 21.4). De acuerdo con el área del hormiguero se pueden clasificar en pequeños (< 5 m^2), medianos (5 - 100 m^2) y grandes (> 100 m^2). Un hormiguero se mide multiplicando las bocas más extremas a lo largo por las bocas más extremas a lo ancho, lo cual nos da el área en metros cuadrados (Wilson, 1986; Wetterer, 1990; Madrigal, 2003).

Durante los primeros 6 - 7 meses, la profundidad del nido, con apenas una cámara, es de 20 - 30 cm (primer nivel). Al cabo de ocho meses, cuando ya la cámara está completamente llena, la reina abre una nueva cámara interconectada con la primera y se profundiza hasta 1 - 3 m de profundidad (segundo nivel), donde construye nuevas cámaras durante los tres primeros años y así sucesivamente, hasta alcanzar una profundidad de 4 - 6 m (tercer nivel), donde se amplía el número de cámaras. En este lapso, el nido puede alcanzar una área mayor de 100 m^2 hasta en 15 años (Tabla 21.2).

Figura 21.4. Hormiguero de *Atta cephalotes* mostrando su magnitud y nidos de las reinas donde mantienen el hongo que le sirve de alimento (Foto J.C. García).

Tabla 21.2. Tamaño y edad de un hormiguero de acuerdo su área.

Categoría de tamaño	Area m^2	Edad	Profundidad (m)
Pequeño	< 5 m^2	6-7 meses	20-30 cm
Mediano	5 -100 m^2	1-3 años	1-3 m
Grande	> 100 m^2	4-15 años	4-6 m

Daño

Las hormigas arrieras son una de las principales plagas limitantes de la producción agrícola en toda la región andina del país, en un rango altitudinal entre los 800 y 2.000 m, donde se han registrado afectando cultivos de pancoger, agrícolas, forestales y ornamentales, causando la defoliación total de las plantas, lo cual incide en la baja producción, reducción de crecimiento y hasta la muerte de las plantas cuando la incidencia del ataque es continuo. Con frecuencia se observan atacando viveros de cafetos y plantas jóvenes en cafetales, ocasionando una defoliación considerable y retraso en su desarrollo (Figura 21.5).

Figura 21.5. Hormigas arrieras transportando pedazos de hojas de cafetos al hormiguero (Foto L. M. Constantino).

Manejo de poblaciones

La gran mayoría de los agricultores no controlan el insecto debido, en muchos casos, al desconocimiento biológico de la plaga y a que no se tiene conciencia de la dimensión del problema. Para que el control de la hormiga arriera sea exitoso en una región determinada, se debe hacer de manera participativa entre toda la comunidad, mediante la implementación de un sistema de control integrado de la plaga que incluya diferentes técnicas de control manual, mecánico, cultural, biológico y químico, para lo cual es necesario que los productores y vecinos de diferentes predios se organicen y trabajen conjuntamente en el manejo y control en sus veredas (Constantino y Bonilla, 2004).

Para que un programa de control en la vereda o en la región sea exitoso se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

Conformación de las brigadas de control. Se deben conformar brigadas de control de unas 15 personas de la zona por vereda/corregimiento, previamente capacitadas en técnicas de control, quienes deben hacer el inventario y control de hormigueros, de manera participativa con la comunidad. La actividad que realizan los brigadistas es la de ubicar los nidos por zonas de trabajo, una vez ubicados se deben limpiar y desyerbar los nidos, así como contabilizar el número de bocas de cada nido, ubicar la entrada principal de forrajeo activa, marcar los nidos con una estaca (bandera roja para nidos inventariados, bandera amarilla para nidos tratados y bandera blanca para nidos controlados), y medir los nidos (área en metros cuadrados) según su tamaño (grandes, medianos, pequeños), y dibujar a mano alzada el croquis del predio, con la ubicación de los nidos en cada finca o terreno a intervenir.

La medición de los hormigueros es fundamental para determinar el tipo de control más adecuado a realizar y calcular la cantidad de producto necesario para su control.

Georeferenciación y eficacia de los controles. Cada hormiguero inventariado y localizado se puede georeferenciar por medio de un sistema de posicionamiento global GPS, para determinar las coordenadas geográficas de su ubicación exacta en un mapa regional. Los registros se deben llevar en una ficha técnica, donde se anota el punto o número de nido, propietario del predio, tamaño del nido, número de bocas, tipo de control, fecha de control y coordenadas de ubicación. Con este formato se puede hacer luego el seguimiento de la actividad del nido, para determinar la efectividad del tratamiento empleado (químico, biológico, manual o cultural) el cual se determina midiendo el número de obreras forrajeras activas que entran al nido por minuto, antes y después del tratamiento. Para esto se puede diseñar una escala de valores (alta, media, baja o nula) después de realizado el tratamiento, esto debido a que algunos tratamientos, como los biológicos, tienen un efecto de acción patogénica más lenta y los resultados se ven al cabo de la tercera a la sexta semana (Constantino y Bonilla, 2004).

Métodos de control

Control mecánico/manual

Empleado sólo para nidos pequeños dentro de los primeros tres meses, entre el vuelo nupcial y la apertura del primer orificio. La destrucción manual del hormiguero y de la reina se hace mediante el uso de una pala o palín, ya que la cámara se encuentra a sólo 20 - 30 cm de profundidad. Este método de control manual de hormigueros es una medida preventiva fundamental y efectiva para evitar la proliferación de futuros nidos en un predio y se debe programar en las fechas del vuelo nupcial, durante las lluvias de marzo - abril y octubre - noviembre.

Control físico

El uso de gasolina y fuego para explotar los nidos, utilizada por algunos agricultores, no se recomienda por los riesgos para el agricultor y por su baja eficacia, además de que es una práctica que contamina el suelo. La aplicación de agua debe de hacerse en terrenos planos y nidos pequeños, para evitar la erosión del suelo. Se recomienda el uso de barreras a base de plástico con grasa alrededor de los troncos de árboles, para evitar que las hormigas suban (Madrigal y Yepes, 1997; Constantino y Bonilla, 2004).

Control etológico

El conocimiento del calendario del vuelo nupcial es fundamental para iniciar el control oportuno de hormigueros. Este comportamiento se da durante dos épocas al año, que generalmente coinciden con el inicio de las lluvias, en el cual las hormigas salen masivamente de los nidos para aparearse, emigrar y formar nuevos nidos. Este evento puede ser aprovechado para capturar las hembras y evitar así que formen nuevos nidos. Para la captura de las reinas, durante el vuelo nupcial se pueden emplear lámparas de luz negra. También mallas metálicas de agujeros pequeños, construidas en forma de jaulas cuadradas de 20 x 20 cm, ubicadas sobre las bocas de los nidos, para capturar las reinas antes del vuelo nupcial, cuando emergen y salen de los nidos en grandes cantidades. Estas hormigas se pueden aprovechar para consumo humano o como alimento para las gallinas (Constantino y Bonilla, 2004).

Control biológico

Mediante el uso de hongos entomopatógenos (*Beauveria bassiana, Metarhizium anisopliae*) y hongos micopatógenos (*Trichoderma lignorum*) aplicados en forma de cebos atrayentes hechos manualmente, basados en hojuelas de avena o salvado de trigo impregnado con jugo de naranja como atrayente (Ortiz *et al.*, 1999; López *et al.* 1999; Constantino y Bonilla, 2004).

Los hongos entomopatógenos *B. bassiana* y *M. anisopliae*, se encuentran normalmente en el ambiente, como un enemigo natural de insectos y son inofensivos para el hombre, las aves y los animales domésticos. El modo de acción es muy específico, la acción patogénica ocurre cuando las esporas entran en contacto con el tejido vivo del huésped y ésta se hidrata. Las hifas penetran la cavidad hemocélica por medio de la cutícula por acción mecánica y efectos enzimáticos. Las enzimas y toxinas que liberan digieren y penetran el hemocelo o torrente sanguíneo de los insectos, invadiendo todos sus tejidos, lo cual causa la parálisis y muerte del insecto. La invasión del hemocelo y los tejidos ocurre entre las 24 y 48 horas siguientes. Las hifas continúan creciendo y el micelio sale del insecto atravesando la cutícula y cubriéndola con una capa algodonosa blanca. Finalmente, bajo condiciones de alta humedad produce millones de esporas nuevas sobre el cuerpo del insecto muerto, que se liberan en el ambiente para iniciar un nuevo ciclo (Bustillo, 2002).

Los conidios de *Beauveria bassiana* sobreviven en la capa terrestre y en condiciones favorables de humedad pueden persistir de un año a otro, causando epizootias naturales en poblaciones de insectos susceptibles (Madrigal y Yepes, 1997).

Trichoderma lignorum es un hongo antagonista que invade y contamina el hongo simbionte de la hormiga arriera, causándole la muerte, lo cual ocasiona que las hormigas mueran por inanición al no tener alimento (Ortiz *et al.,* 1999).

Estos hongos se deben aplicar en forma de cebo, para que las hormigas los puedan transportar hasta el interior de los nidos donde está la reina y las cámaras donde las hormigas cultivan el hongo simbionte (Constantino y Bonilla, 2004). La preparación manual de un cebo con agentes microbiológicos debe contener:

500 g de hojuelas de avena enteras.
1 L de jugo de naranja, usado como atrayente.
10 g de una formulación comercial del hongo, que tenga una concentración de 1 x 10^{10} esporas por gramo.

Se agregan las hojuelas de avena poco a poco sobre un platón o balde plástico, y se va agregando el jugo de naranja con un atomizador, para que se impregnen del atrayente. Debido a que el jugo de naranja es pegajoso, actúa como adherente para las esporas del hongo que se agregan por espolvoreo y se mezclan bien con las hojuelas con guantes de mano. Con este sistema las hojuelas de avena quedan enteras y no es necesario hacer bolitas o *pellets* con la mano.

Para un nido pequeño de una a cuatro bocas, se colocan 50 g de cebo en montículos ubicados a 30 cm de la boca de forrajeo y a un lado del camino. La aplicación de los cebos debe hacerse en época de verano y con suelo seco, en caso contrario se debe proteger el cebo de la humedad con un pedazo de teja o de hoja. El cebo no se debe tocar con las manos para evitar que las hormigas detecten el olor y lo rechacen.

Control químico

Formicidas en polvo

Para nidos pequeños y medianos se emplea la insufladora para que el producto penetre hasta las cámaras. Nunca aplique el polvo sobre los caminos ni las bocas, porque el efecto de control es ineficaz. Se debe aplicar cuando el suelo esté seco, hasta unos 30 cm de profundidad. Se recomienda aplicar entre 30 a 50 g/m^2 de hormiguero (Madrigal y Yepes, 1997).

Cal viva

Se recomienda la aplicación de cal viva en forma de talco con insufladora, en nidos pequeños y medianos, ubicados cerca de fuentes de agua o nacimientos para evitar problemas de contaminación, con dosis entre 30 y 50 g/m^2 de hormiguero (Madrigal y Yepes, 1997).

Formicidas con termonebulizador

Recomendado para nidos grandes, se usa ACPM como conductor, el cual al ser nebulizado forma un humo tóxico que penetra fácilmente en todas las cámaras. Se usa una dosis de 50 cm^3 de clorpirifos por litro de ACPM, a razón de un minuto de termonebulización por cada 10 m^2 de hormiguero.

Cebos tóxicos

Para estos cebos se utiliza afrecho de trigo o avena y jugo de naranja con un insecticida como clorpirifos o con un hongo como *Metarhizium anisopliae*. Al igual que los cebos con hongos entomopatógenos, éstos se deben aplicar con guantes y en días de verano y en suelo seco.

Control cultural

Son las prácticas de tipo artesanal que el agricultor emplea para el control de la hormiga arriera en sus predios, como por ejemplo las siembras de cultivos trampa que atraen a las hormigas y que por efectos tóxicos afectan el crecimiento del hongo simbionte, cuando las hormigas entran el follaje a las cámaras del nido. Las plantas recomendadas son canavalia, higuerrilla y ajonjolí. Otras técnicas de control empleadas comúnmente y que actúan como repelente son el uso de boñiga y ceniza en las bocas de los nidos. Igualmente, se pueden hacer camas con compost en sitios donde hay nidos grandes, en donde se puede mezclar la tierra que las hormigas sacan del nido para uso como abono orgánico. Esta actividad de arrojar compost con cal en las bocas de los nidos y de hacer continuamente el volteo del suelo repele las hormigas.

Literatura citada

BUSTILLO, A. E. 2002. Los hongos entomopatógenos en el control de insectos plagas. *In*: Memorias Curso Internacional Teórico – Práctico. Sección I. Entomopatógenos de la broca del café. Cenicafé, Chinchiná, Colombia, marzo 11 al 15 del 2002. p. 1 – 53.

CÁRDENAS, R.; POSADA, F. J. 2001. Los insectos y otros habitantes de cafetales y platanales. Comité Departamental de Cafeteros del Quindío y Cenicafé, Armenia, Colombia. 120 p.

CONSTANTINO, L. M.; BONILLA, F. 2004. Manejo Integrado de la hormiga arriera *Atta cephalotes* (L.). *In*: Memorias Curso de Capacitación Teórico - Práctico. Prevención para el control de la hormiga arriera en la zona rural del Municipio de Santiago de Cali. UMATA, Fundespac, Secretaria de Desarrollo Territorial y Bienestar Social. Villa Carmelo, 26 septiembre de 2004. p. 1-50.

JAFFÉ, K.; HOWSE, P. E. 1979. The mass recruitment of the leaf - cutting ant, *Atta cephalotes* (L.). Anim. Behav., 27 (2): 930-939.

JAFFÉ, K.; VILELA, E. 1989. On nest densities of the leaf-cutting ant *Atta cephalotes* in tropical primary forest. Biotropica, 21 (3): 234-236.

LÓPEZ, E.; ROMERO, M.; ORTIZ, A.; ORDUZ, S. 1999. Primer registro de *Metarhizium anisopliae* infectando reinas de *Atta cephalotes* (Hymenoptera: Formicidae) en Colombia. Revista Colombiana de Entomología, 25: 49-56.

MADRIGAL, A. 2003. Insectos forestales en Colombia. Biología, hábitos, ecología y manejo. Editorial Marín Vieco Ltda, Medellín, Colombia, p. 369 – 394.

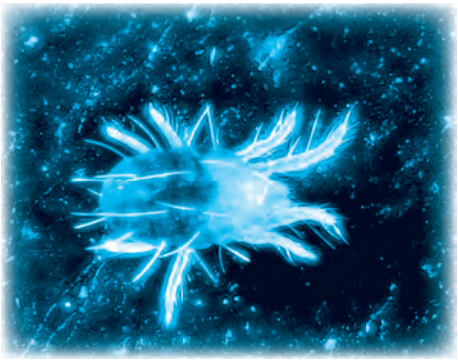
MADRIGAL, A.; YEPES, F. 1997. Las hormigas cortadoras de hojas (Hymenoptera: Formicidae). Cuadernos divulgativos en Entomología. No.3. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. 47 p.

ORTIZ, A.; MADRIGAL, A.; ORDUZ, S. 1999. Evaluación del comportamiento de las hormigas *Atta cephalotes* (Hymenoptera: Formicidae) frente a la contaminación del jardín del hongo con *Trichoderma lignorum.* Revista Colombiana de Entomología, 25: 169-177.

QUINLAN, R. J.; CHERRETT, J. M. 1979. The role of fungus in the diet of the leaf - cutting ant, *Atta cephalotes*. Ecological Entomology, 4 (2): 151-160.

WILSON, E. O. 1986. The defining traits of fire ants and leaf cutting ants. *In:* Fire ants and leaf-cutting ants: Biology and management. West view studies in insect biology, C. Lofgren and A. K.Vande Meer (eds.). Boulder, Colorado, p. 1 – 9.

WETTERER, J. K. 1990. Diel changes in forager size, activity, and load selectivity in a tropical leaf-cutting ant, *Atta cephalotes.* Ecological Entomology, 15: 97-104.



CAPÍTULO 22

La arañita roja, *Oligonychus yothersi* (McGregor) (Acari: Tetranychidae).

Álex Enrique Bustillo Pardey

Los ácaros o arañitas que atacan al café pertenecen al género *Oligonychus,* pero sólo tres especies se encuentran con frecuencia asociadas al cafeto, en diferentes partes del mundo*, Oligonychus coffeae* (Nietner), *O. ilicis* (Mc Gregor) y O. *yothersi* (McGregor) (Crowe, 1960). *Oligonychus yothersi* es la única registrada en Colombia (Benavides, 1972; Cárdenas 1983; ICA, 1989) y existen registros de sus ataques desde 1931, en cafetales de Antioquia (Sáenz, 1932). Es una especie polífaga, de distribución mundial, que afecta muchos cultivos de importancia económica (Urueta, 1975).

Sinonimia: *Tetranychus yothersi* McGregor, 1914, *Paratetranychus yothersi* (McGregor). En la literatura del siglo pasado se mencionaba esta arañita como *Tetranychus* sp. (Benavides, 1972).

Descripción e historia de vida

Las hembras de la arañita roja del cafeto (*O. yothersi*), tienen un cuerpo algo ovalado y subgloboso, de aproximadamente 0,5 mm de largo, de color anaranjado en el tercio anterior y rojo negruzco en el resto del cuerpo, con doce pares de setas dorsales y un par de setas caudales, todas blancas, y con patas del mismo color al del tercio anterior del cuerpo y setas blancas (Figura 22.1). El macho es más pequeño, delgado y de color más pálido, con patas más largas que la hembra y con las mismas características de setas. La cópula ocurre inmediatamente llegan a su estado adulto, en caso de que esto no ocurra las hembras pueden ovipositar huevos fértiles mediante partenogénesis de tipo arrenotoquia, de los cuales sólo se producen machos.

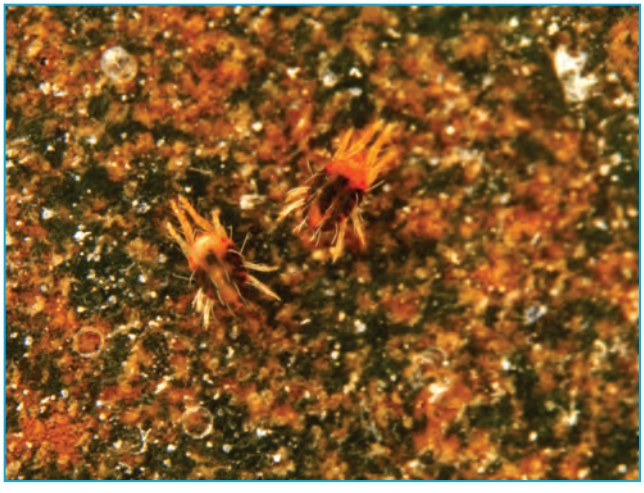


Figura 22.1. Adultos de la arañita roja, *Oligonychus yothersi* en la haz de la hoja (Foto J. C. Ortiz).

Los huevos son casi esféricos, algo achatados, con una ligera estriación radial, provistos de un pedicelo dorsal, largo y blanco amarillento; los huevos son rojos y se tornan anaranjados hacia el momento de la eclosión. Son difíciles de visualizar a simple vista. La hembra los deposita individuamente en la haz de las hojas, junto a la nervadura central, quedando cubiertos por una ligera telaraña compuesta por hilos blancos y sedosos entrecruzados. Al eclosionar los huevos de *O. yothersi* dan origen a una fase muy móvil de tres pares de patas, denominada larva. Posteriormente, el ácaro pasa por dos estados ninfales de cuatro pares de patas, la protoninfa y la deuteroninfa, hasta llegar a adulto (Hill, 1975). Estas ninfas tienen una forma más oval que las larvas, la parte anterior de su cuerpo es roja y la mitad posterior pardo rojiza o púrpura.

Los estados ninfales son similares al adulto pero más pequeños. Debido al tamaño, la dispersión de estos ácaros es más frecuente por medio de vientos, que transportan las ninfas a grandes distancias.

El ciclo de vida de *O. yothersi* es muy corto y es más rápido en sitios más calientes. A temperaturas de 20°C, el ciclo de vida de huevo a adulto es de 20 días y el adulto puede vivir hasta 30 días (Cárdenas, 1983), pero a 25ºC el ciclo es de 13 días y pueden vivir cerca de 25 días (Orozco *et al.,* 1990). Los adultos depositan entre 40 y 50 huevos/hembra, en un lapso de 8 días.

Daño

Las ninfas y adultos se alimentan succionando la savia de las hojas del cafeto. Su alimentación inicialmente se confina en la haz o parte superior de las hojas, se encuentran primero a lo largo de las venas centrales y secundarias de las hojas. Cuando las poblaciones son muy altas se observan telarañas muy finas recubriendo la colonia. Estas áreas se tornan de un color pardo rojizo. El daño ocasionado por las arañitas rojas se traduce en una reducción de la actividad fotosintética, hasta de un 30%. Por lo general, las hojas infestadas se caen prematuramente. En ataques severos se puede observar desde lejos una coloración pardo rojiza en el cafetal afectado (Figura 22.2).

Figura 22.2. Daño en las hojas producido por *Oligonychus yothersi* en el follaje de un cafeto (Foto A. Bustillo).

Manejo de poblaciones

El clima es un factor muy importante que influye en la abundancia de esta plaga. La temperatura determina la actividad diaria y la velocidad con que se multiplican los ácaros. Las poblaciones de *O. yothersi* son especialmente abundantes durante las épocas secas, causando alerta entre los caficultores, pero tan pronto como las épocas lluviosas llegan las poblaciones se reducen.

Son muy comunes en lotes de café cercanos a carreteras o caminos destapados o polvosos. En forma natural el control de estas arañitas lo hace un buen número de enemigos nativos que conviven en el cafetal, como son los Coccinellidae: *Stethorus* sp., *Scymnus* sp. y *Coleomegilla*. Estas arañitas también son depredadas por otras de la familia Phytoseiidae (Cárdenas, 1983).

En Brasil se explora el control de *O. yothersi* con el uso de hongos entomopatógenos como *Beauveria bassiana* (Oliveira *et al.,* 2002, 2004).

Literatura citada

BENAVIDES G., M. 1972. La "arañita roja" del cafeto. Avances Técnicos Cenicafé, No. 22, Chinchiná, Colombia. 4 p.

CÁRDENAS, R. 1983. La arañita roja del cafeto, *Oligonychus yothersi*. Avances Técnicos Cenicafé, No. 110, Chinchiná, Colombia. 2 p.

CROWE, T. J. 1960. Mites as coffee pests. Kenya Coffee, 29: 504 – 505.

HILL, D. S. 1975. Agricultural insect pests of the tropics and their control. Cambridge University Press, London, 516 p.

ICA. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. 1989. Lista de insectos dañinos y otras plagas en Colombia. Bol. Técnico No. 43, 4a edición, 662 p.

OLIVEIRA, R. C. de; ALVES, L. F. A.; NEVES, P. M. O. J. 2002. Susceptibility of *Oligonychus yothersi* (Acari: Tetranychidae) to the fungus *Beauveria bassiana*. Sci. agric. (Piraçicaba, Brazil), 59 (1): 87-189.

OLIVEIRA, R. C. de; NEVES, P. M.O. J.; ALVES, L. F. A. 2004. Entomopathogenic fungi selection to control *Oligonychus yothersi* (McGregor) (Acari: Tetranychidae) in paraguay tea crops (*Ilex paraguariensis* St. Hill.). Neotropical Entomology, 33 (3): 347-351.

OROZCO, J.; DUQUE, M. C.; MESA, N. C.1990. Efecto de la temperatura sobre la tabla de vida de *Oligonychus yothersi* en *Coffea arabica.* Revista Cenicafé (Colombia), 41 (1): 5-18.

SÁENZ MORENO, J. 1932. La aracnosis del cafeto. Revista Cafetera de Colombia, 4 (38 y 39): 1476.

URUETA, E. J. 1975. Arañas rojas (Acarina: Tetranychidae) del Departamento de Antioquia. Revista Colombiana de Entomología, 1 (2): 1-14.

CAPÍTULO 23

Insectos chupadores en los cafetales

Álex Enrique Bustillo Pardey

Al cultivo del café en Colombia lo afectan numerosos insectos caracterizados por tener estructuras mandibulares picadoras-chupadoras, que les permiten alimentarse de la planta succionando la savia. Entre este grupo se destacan las moscas blancas, las escamas, los piojos blancos y los áfidos o pulgones. Estos insectos son esporádicos en el cultivo y afectan normalmente plantas jóvenes, y en cultivos establecidos atacan los nuevos brotes del follaje. Causan en la planta, como resultado de su alimentación, el encrespamiento del follaje y la proliferación de la fumagina, que reduce la actividad fotosintética de la planta. En algunos casos, moscas blancas y áfidos, se señalan como vectores de enfermedades virosas en muchos cultivos. A continuación se describen las especies de insectos chupadores que, con alguna frecuencia, se observan en el follaje de los cafetos en Colombia.

La mosca blanca lanuda, *Aleurothrixus floccosus* (Maskell) (Hemiptera: Aleyrodidae)

En cafetales de Colombia se presentan varias especies de moscas blancas de los géneros *Tetraleurodes, Aleurotrachelus* y *Aleurothrixus* (Figura 23.1), pero la más frecuente es *Aleurothrixus flocossus* (Maskell) (ICA, 1989). Esta mosca blanca es de distribución neotropical pero se encuentra en casi todas las regiones del mundo, donde ataca de preferencia cultivos de cítricos.

Descripción e historia de vida

Aleurothrixus floccosus (Figura 23.2) como su nombre común lo indica, se reconoce por la abundante masa de lana cerosa que deposita sobre el envés de las hojas. El adulto mide 1,5 mm, se parece a una pequeña polilla blanca, el cuerpo es de color amarillo con un polvo ceroso blanco. Tiene alas estrechas que dejan ver el abdomen. Los huevos son blancos translúcidos, pedunculados y de forma oval; son colocados por la hembra adheridos a las hojas en el envés, formando un círculo o semicírculo. Toman entre 4 y 12 días para eclosionar. El estado de ninfa pasa por tres estadios, es sedentario, con un cuerpo bastante aplanado, de forma oval, transparente y protegido por una masa de bandas cerosas. El primer ínstar es muy pequeño, cerca de 0,3 mm, y es el único móvil. Al finalizar la etapa de ninfa se forma un cuarto estadio que se refiere en algunos casos como pupa de 0,6 mm, para luego dar paso al adulto. Los adultos se localizan en el envés de las hojas jóvenes del café, de las cuales se alimentan de la savia, pueden vivir hasta 25 días y pueden colocar hasta 200 huevos durante su vida. Cuando se sacude la planta atacada comienzan a volar y se detienen en otra planta rápidamente (Kerns *et al.,* 2007).

Las ninfas se fijan a las hojas como cochinillas y se alimentan de la savia, segregan también una sustancia azucarada de la que vive la fumagina y las hormigas melívoras. Las hojas atacadas se observan recubiertas por grandes depósitos algodonosos blancos en el envés, forman grupos compactos en donde se encuentran los adultos, las formas jóvenes y los huevos.

Figura 23.1. La mosca blanca *Aleurothrixus* sp., infestando hojas del cafeto (Foto: A. Bustillo,).

Figura 23.2. La mosca blanca lanuda *Aleurothrixus flocossus* infestando hojas del cafeto, detalles de los estados inmaduros y de un adulto (Foto J. C. Ortiz).

Daño

Debido a la succión que hacen las moscas blancas, se forman manchas amarillas en las hojas, esto se agrava por el desarrollo del hongo *Capnodium* sp., que causa la fumagina y reduce la actividad fotosintética de las hojas, lo que conduce a su marchitamiento y posterior caída.

Manejo de poblaciones

Los ataques de la mosca blanca lanuda son esporádicos en café y normalmente están asociados a brotes que se presentan en otros cultivos, también susceptibles al ataque de este insecto. Cuando se recurre al control con insecticidas normalmente se agrava el problema y si se hace rutinariamente este control puede conducir al desarrollo de resistencia de este insecto a los químicos usados.

Estas moscas blancas son atacadas por varios enemigos naturales que mantienen sus poblaciones bajo control. Los controladores más frecuentes son los hongos *Aschersonia aleyrodis*, *Lecanicillium lecanii*, y los parasitoides de los géneros *Amitus y Encarsia*.

Piojo blanco del café, *Orthezia praelonga* Douglas (Hemiptera: Ortheziidae)

Con el nombre común de piojos blancos se conoce la especie *Orthezia praelonga*, que se encuentra esporádicamente afectando cafetales y especialmente cítricos en Colombia (ICA, 1989). Se encuentra distribuido en Centro y Suramérica. En Brasil y Colombia se registra como plaga de mucha importancia económica en cultivos de cítricos pero los cafetales se consideran un huésped secundario (Mariconi *et al.*, 1994, Corrales y López 1991). Otros huéspedes sobre los cuales se ha encontrado son: marañón, piña, cocotero, aguacate y muchas plantas ornamentales (Corrales y López, 1991; ICA, 1989).

Descripción e historia de vida

Orthezia praelonga (Figura 23.3), tiene el cuerpo de coloración verde y su ciclo de vida lo completa en 70 días, el período de preoviposición es de 19 a 20 días, y el de oviposición de 42 días. Pasa por cuatro estadios

Figura 23.3. El ortézido del café, *Orthezia praelonga* (Foto J. C. Ortiz).

ninfales y la diferencia básica de un estadio con el otro, es el tamaño. Las ninfas recién emergidas se aglomeran alrededor de la madre formando grandes colonias.

Las hembras adultas de *O. praelonga* presentan el cuerpo recubierto por láminas cerosas y blancas. Son ápteras y pueden medir cerca de 2,5 mm. En la parte posterior del cuerpo se encuentran varios bastones de cera que se unen para formar un ovisaco, que llega a medir 8 mm, en donde las hembras alojan sus huevos, que pueden llegar a 200, y las ninfas recién emergidas.

Los machos de *O. praelonga* tienen el cuerpo azulado, ojos robustos, antenas con nueve segmentos, un par de alas bien desarrolladas, muestran en la extremidad abdominal filamentos cerosos, patas finas y delgadas, lo que los hace semejarse a un mosquito. En el campo se observa una gran cantidad de machos volando al atardecer y copulando con hembras que se encuentran en las plantas infestadas. Pueden copular con más de una hembra y la cópula dura de 5 minutos a 1,5 horas. La duración del macho es de cinco días. Los adultos y ninfas de estas especies son móviles y se desplazan por toda la planta y forman colonias muy numerosas.

Daño

Las poblaciones de piojos blancos se incrementan en épocas secas, de baja humedad. Estos insectos se localizan en el envés de las hojas y pueden invadir todas las estructuras de la planta. Hacen el daño al succionar la savia de la planta e inyectar toxinas que causan la distorsión del follaje y aceleran su defoliación. Cuando las poblaciones son altas pueden atacar las inflorescencias y ocasionar la necrosis y caída de los botones florales.

El otro efecto lo causa el hongo negro, *Capnodium* sp., que crece sobre las secreciones azucaradas exudadas por el insecto, produciendo la fumagina y reduciendo así la actividad fotosintética de las plantas. Estos insectos también se encuentran asociados a hormigas que se alimentan de estas secreciones y reciben de ellas protección de otros enemigos.

Manejo de poblaciones

Estos piojos no se desplazan a grandes distancias por sus propios medios y, por lo general, esto ocurre con el traslado de plántulas de vivero infestadas de un lugar a otro.

En cultivos de café no ha sido necesario acudir al control químico; sin embargo, en cultivos de cítricos cuando las infestaciones son muy altas y están causando daño económico se recomienda la aplicación de un insecticida de contacto o sistémico en mezcla con una suspensión de jabón de coco, aplicando este producto con equipos a alta presión. Es importante lograr una buena cobertura, la función del jabón es disolver la cera, para exponer el insecto al insecticida.

También se recomienda colocar cintas pegajosas o con grasa alrededor del tronco del árbol, para evitar que las ninfas que caen con la presión del agua vuelvan a subir al árbol.

A *O. praelonga* la atacan varios enemigos nativos, especialmente predadores que mantienen sus poblaciones bajo control. En varios países como México, Kenia, Uganda, Hawai y Perú, donde la especie *O. insignis* es una plaga severa, se ha acudido al control biológico clásico, con la introducción de una "mariquita" conocida como *Hyperaspis pantherina* Fürsch (Coleoptera: Coccinellidae), la cual se alimenta de los piojos blancos y

mantiene sus poblaciones bajas, a niveles tolerables. Es posible que la causa de que *O. praelonga* no sea plaga en la zona cafetera colombiana se deba a la presencia de predadores eficientes como *H. pantherina* (Booth *et al*., 1995).

En Brasil, *O. praelonga* tiene como enemigos naturales a *Azya luteipes Scymmus* sp. y *Chrysoperla* sp., además están usando los hongos *Beauveria bassiana, Metarhizium anisopliae* y *Lecanicillium lecanii* para su control (Cesnik *et al*., 2002).

La escama verde del café, *Coccus viridis* (Green) (Hemiptera: Coccidae)

Sinonimia: *Eulecanium viridis*, *Lecanium viridis* Green, *Lecanium viride* Green.

La escama verde del café, *Coccus viridis*, es entre los insectos chupadores la plaga más importante del cafeto y causa pérdidas considerables en muchos regiones cafeteras del mundo. Es una plaga bastante cosmopolita, se encuentra en todas las regiones en donde se cultiva el café. En Colombia, además del cafeto ataca aguacate, cítricos, cacao y guayaba (ICA, 1989).

Descripción e historia de vida

La escama verde desarrolla una cubierta gruesa a manera de coraza protectora. Las ninfas de primer ínstar, una vez establecen un sitio de alimentación, permanecen ahí inmóviles.

Las hembras adultas de *C. viridis* son de color verde pálido brillante, el cuerpo es convexo y bastante aplanado, de forma elíptica, de 4 por 2 mm y sin patas (Figura 23.4). Presenta unas manchas negras, cortas y curvadas, en el dorso. Se encuentran muy adheridas a los tejidos vegetales y protegidas por un escudo o cobertura de consistencia poco dura (Roba, 1936). Se reproducen sin los machos y dan lugar a generaciones partenogenéticas. Cada hembra puede depositar entre 100 y 500 huevos, los cuales eclosionan en unas pocas horas.

Pasan por tres ínstares ninfales, similares en apariencia pero cada uno es más grande que el anterior. El primero se caracteriza por su movilidad y por poseer dos estructuras largas en forma de cola. Este estado se desplaza en la planta antes de establecerse en un sitio para iniciar su alimentación. La duración de su ciclo de vida de huevo a adulto toma cerca de 30 a 40 días, y el adulto vive entre 2 y 5 meses (Beardsley y Gonsalves, 1975).

Figura 23.4. Escama verde *Coccus viridis* sobre un brote tierno de café (Foto J. C. Ortiz,).

Las escamas se encuentran en el envés de las hojas, muy adheridas al tejido vegetal a lo largo de la vena central, y también en los tallos y frutos del cafeto, pero son muy comunes en cafetos en levante, colonizando abundantemente los tallos tiernos de las plántulas en crecimiento (Dekle, 1976).

Daño

La escama verde succiona la savia de la planta y debilita el árbol, particularmente cuando estos están jóvenes. La escama secreta una sustancia azucarada referida como rocío de miel, que cubre las hojas y soporta el crecimiento de un hongo negro *Capnodium* sp., denominado comúnmente como fumagina, el cual reduce la actividad fotosintética de la planta.

Las poblaciones de la escama requieren constante monitoreo cuando los árboles de café están jóvenes y en etapa de crecimiento, especialmente en épocas secas o en áreas de poca precipitación. En infestaciones severas las hojas y frutos caen, el crecimiento se detiene y las plantas jóvenes pueden morir.

Manejo de poblaciones

Las poblaciones de *Coccus viridis* están asociadas a hormigas que las protegen de otros enemigos y se considera que son las responsables de que sus poblaciones se incrementen y dispersen. Si se evita que estas hormigas tengan acceso a los árboles de café, la escama verde por lo general, desaparece, controlada por sus enemigos naturales.

El agente de control más eficiente en la reducción de poblaciones de esta escama es el hongo *Lecanicillium* (*Verticillium*) *lecanii*, el cual invade y destruye la escama en dos días (Figuras 23.5 y 23.6). Al cabo de 10 días de la infección, el hongo crece afuera del cuerpo de la escama para producir un micelio blanco característico de *L. lecanii* alrededor del cuerpo de la escama que se puede ver extendiéndose sobre la hoja de café, antes de que el hongo cubra la escama por completo (Bustillo, 2002).

Las esporas del hongo *L. lecanii* requieren alta humedad, para germinar, y de la lluvia, para dispersarse. Aun a 96% de humedad relativa, la germinación se reduce en un 60%, esto explica la falta de actividad del hongo durante épocas secas. Su acción se favorece por altas humedades y temperaturas entre 20 y 30°C (Bustillo, 2002).

Muchos de los enemigos naturales de *C. viridis* son avispitas parasíticas. Se han registrado siete parasitoides que la atacan, pero no son efectivos en climas calientes, secos y con mucho viento. Algunos depredadores se alimentan de la escama verde son *Azya orbigera*, y un número de moscas de la familia Syrphidae (Figura 23.7).

Figura 23.5. *Coccus viridis* en frutos de café e infectado por *Lecaniciliium lecanii* (Foto: A. Bustillo).

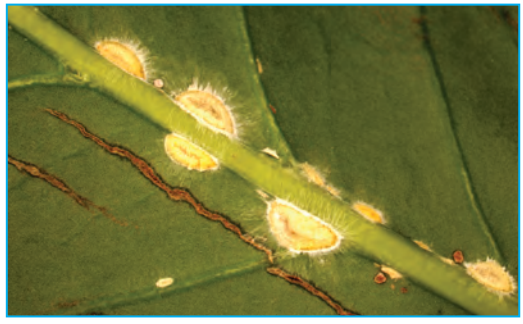


Figura 23.6. *Coccus viridis* sobre una hoja de café, infectado por *Lecanicillium lecanii*, observe el crecimiento blanco del hongo (Foto J. C. Ortiz).

Figura 23.7. Larva de una mosca Syrphidae predando sobre *Coccus viridis* (Foto J. C. Ortiz,).

La escama tortuguita, *Saissetia coffeae* (Walker) (Hemiptera: Coccidae)

Sinonimia: *Coccus coffeae* Kirkaldy, 1902, *Lecanium coffeae* Walker, 1852; *Lecanium hemisphaericum* Targioni - Tozzetti, 1867.*Saissetia hemisphaerica* Hall, 1922.

Saissetia coffeae es un insecto polífago, y en Colombia, además del café ataca muchos cultivos frutales y ornamentales como aguacate, anonáceas, granadilla, mango, pomarrosa, san Joaquín y palmas ornamentales (ICA, 1989). Es común encontrarlo gregario, en altas poblaciones, sobre la corteza de ramas y tallos o en los bordes de las hojas de las plantas huéspedes.

Descripción e historia de vida

Los machos de *Saissetia coffeae* son muy raros en las poblaciones de esta escama, se presume que la mayor parte de la reproducción ocurre por partenogénesis. Los huevos son depositados debajo del caparazón de la hembra. Los huevos son diminutos, translúcidos o blanquecinos recién depositados y más tarde se tornan a un color amarillo pálido a naranja. (Beardsley y Gonsalves, 1975; Dekle, 1965).

El primer estadio es de forma plana, oval, pardo verdoso a ámbar pálido, tienen seis patas y son aproximadamente del tamaño de los huevos. Este es el único estadio móvil, ya que las ninfas se mueven en el follaje del café en busca de un sitio disponible donde alimentarse. Los otros dos estadios ninfales son estacionarios y permanecen en el sitio elegido por el primero.

Figura 23.8. Adulto de la escama tortuguita, *Saissetia coffeae* (Foto J. C. Ortiz,).

El color del cuerpo de los dos últimos estadios varía de un amarillo pálido a un verde pardusco a rosado oscuro. La forma del cuerpo del segundo y tercer estadio tiene un contorno irregular y es plano. Hacia el final del tercer estadio, la escama tiene una fase de crecimiento rápido, hasta que alcanza casi el tamaño del adulto.

La hembra de *S. coffeae* (Figura 23.8), tiene un caparazón convexo, de color marrón claro a oscuro, en forma de casco. El adulto es incapaz de moverse y mide aproximadamente 2 mm.

Las hembras tienen un período de preoviposición de 2 a 3 días, y luego depositan huevos durante 4 a 6 días antes de morir. El promedio de huevos que coloca cada hembra durante su vida es de 250 a 400. Debido a que las hembras no son capaces de moverse, una vez se han establecido e iniciado su alimentación, la dispersión a sitios lejanos es mediante transporte pasivo de material vegetal infestado. A cortas distancias la dispersión sucede cuando el primer ínstar busca lugares para alimentarse y establecerse (Beardsley y Gonsalves, 1975).

El macho adulto tiene alas, pero sólo pueden realizar vuelos cortos o transportarse con ayuda del viento. Los machos solo viven unas pocas horas, emergiendo en las horas de la tarde para copular. Debido a su tamaño tan pequeño, a su corta vida y a la actividad vespertina, es raro encontrar machos adultos en los cafetales (Beardsley y Gonsalves, 1975).

Daño

La escama tortuga se encuentra agregada sobre los retoños, hojas y frutos jóvenes de las plantas de café. A menudo están dispuestas en líneas irregulares cerca al borde de la hoja. Estas escamas se alimentan de la savia de los tejidos y causan el debilitamiento de plantas viejas, deformación de las partes infestadas, pérdida de hojas, retardo en el crecimiento de la planta y aun la muerte de las plantas en viveros.

La mielecilla secretada por la escama forma una película sobre las hojas que aprovecha el hongo de la fumagina para crecer. Frecuentemente, se observa actividad de hormigas protegiendo las escamas y alimentándose de la mielecilla.

Manejo de poblaciones

Saissetia coffeae es principalmente un problema en almácigos de café y cuando los cafetos están recién sembrados en el campo. Normalmente, los ataques de este insecto sucumben a la acción de muchos controladores naturales y no se requiere el uso de insecticidas químicos para su control. Entre éstos se pueden mencionar: las avispitas parasitoides *Scutellista cyanea* Motschulsky y *Lecanobius* sp.; los depredadores *Azya luteipes* Munsant, *Chilocorus cacti* (L) y *Baccha bonleyi* Curran (Posada y García, 1976). Entre los entomopatógenos, como en el caso de *Coccus viridis* el hongo *L. lecanii* juega un papel importante en la regulación de sus poblaciones (Bustillo, 2002).

El pulgón negro, *Toxoptera aurantii* (Boyer de Fonscolombe) (Hemiptera: Aphididae)

Sinonimia: *Aphis aurantii* Boyer de Fonscolombe, *Toxoptera aurantiae*, *Aphis camelliae*.

El pulgón negro de los cítricos, *Toxoptera aurantii*, debe su nombre a su color y a que es una plaga importante de los cítricos, pero también puede atacar cultivos de té, cacao y esporádicamente se puede encontrar en plantas de café. Está distribuido en muchas partes del mundo y se encuentra en todas las regiones tropicales y subtropicales. Su distribución abarca Sur y Centroamérica, Sur de los Estados Unidos, África, India, Este de Asia y Australia, así como el Mediterráneo (Hill, 1983).

Descripción e historia de vida

En el trópico, los pulgones o áfidos solo dan lugar a hembras ápteras y aladas, partenogenéticas y vivíparas. Los adultos de *T. aurantii* (Figura 23.9) miden entre 2,0 y 3,0 mm de longitud, son de forma oval, negros brillantes a negros parduscos, el cornículo y la cauda son negros. Tienen antenas cortas con bandas claras y oscuras. Los individuos alados presentan el abdomen más oscuro y son ligeramente más delgados que las formas ápteras. La incidencia de individuos alados depende de la densidad de la población y la edad de la hoja, esta estrategia se utiliza para la dispersión del insecto a otras plantas o huéspedes (Bustillo y Sánchez, 1981).

La reproducción es partenogenética. Las hembras inician su reproducción tan pronto alcanzan el estado adulto. Son vivíparas, dando lugar a 5 - 7 ninfas por día, hasta un total cercano a 50 ninfas por cada hembra. Las ninfas recién nacidas se encuentran agrupadas, debido a que las madres no se mueven del sitio en donde dan lugar a los nacimientos. Hay cuatro ínstares ninfales, el primer ínstar es aproximadamente de 0,7 mm en longitud y el último de 1,5 mm, y son de color pardo. Las colonias se desarrollan preferentemente en el envés de las hojas jóvenes, pero también pueden encontrarse en los brotes nuevos y en las yemas florales. Una generación del pulgón negro puede durar alrededor de 15 días (Bustillo y Sánchez, 1981).

Este es el único pulgón que produce una estridulación audible causada por la frotación de dos partes de su cuerpo, muy similar a lo que hacen los grillos. Las colonias grandes de este pulgón producen este sonido cuando se las molesta.

Figura 23.9. Colonia del pulgón negro *Toxoptera aurantii* y pulgón verde *Aphis spiraecola*, sobre un brote, asociados a una hormiga que los protege de los enemigos (Foto J. C. Ortiz).

Figura 23.10. Larva de un coccinélido predando ninfas del pulgón verde (Foto J. C. Ortiz).

Figura 23.11. El pulgón negro *Toxoptera aurantii* parasitado por la avispita *Lysiphlebus testaceipes* (Cresson) (Foto J. C. Ortiz).

Daño

El pulgón negro de los cítricos se alimenta succionando la savia de sus huéspedes y causa distorsión y malformación del crecimiento de las hojas y las puntas de los brotes, debido a toxinas que inyectan. En la mayoría de los casos *T. aurantii* es una plaga de menor importancia en café. Por lo general, después de épocas lluviosas, las colonias de este insecto se encuentran en los brotes tiernos y en el envés de las hojas jóvenes de la planta de café. A menudo es una plaga más seria en almácigos de café que en plantaciones.

Estos pulgones producen mielecilla, la cual es apetecida por abejas, avispas, hormigas y otros insectos. La mielecilla sirve como un medio sobre el cual crece el hongo *Capnodium* sp. para producir la fumagina, que con la película negra que queda sobre la hoja, interfiere la actividad fotosintética de la planta.

T. aurantii se convierte en una plaga seria cuando es capaz de diseminar enfermedades virales. Se ha demostrado que en otros países es vector de enfermedades virales en *Coffea liberica*, *Coffea arabica* var. *bullata* ("blister spot") y *Coffea excelsa* ("ring spot"). En Colombia, *T. aurantii* es vector de la "tristeza de los cítricos", el virus del moteado de los cítricos y el virus de la hoja pequeña del limón.

Manejo de poblaciones

Varios enemigos naturales del pulgón negro mantienen sus poblaciones bajo control, lo que hace innecesario el uso de insecticidas. Entre los predadores están *Allograpta obliqua*, *Chrysopa basalis*, *Chrysopa microphya*. Las larvas de muchos coccinélidos se observan frecuentemente entre las colonias de los áfidos, consumiendo sus estados ninfales (Figura 23.10). Los parasitoides incluyen *Aphelinus* sp. y *Lysiphlebus testaceipes* (Figura 23.11). Esta plaga también es atacada por el entomopatógeno *Lecanicillium lecanii* (Posada y García, 1976).

Literatura citada

BEARDSLEY, J. W.; GONSALVES, R. H. 1975. The biology and ecology of armoreds. Annual Review of Entomology, 20: 47-73.

BOOTH, R. G.; CROSS, A. E.; FOWLER, S. V.; SHAW, R. H. 1995. The biology and taxonomy of *Hyperaspis pantherina* (Coleoptera: Coccinellidae) and the classical biological control of its prey, *Orthezia insignis* (Homoptera: Ortheziidae). Bull. Entomol. Res., 85: 307-314.

BUSTILLO, A. E. 2002. Los hongos entomopatógenos en el control de insectos plagas. *In*: Memorias Curso Internacional Teórico – Práctico. Sección I. Entomopatógenos de la broca del café. Cenicafé, Chinchiná, marzo 11 al 15 del 2002, p. 1 – 53.

BUSTILLO, A. E.; SÁNCHEZ, G. 1981. Los áfidos en Colombia. Plagas que afectan los cultivos agrícolas de importancia económica. Editorial Produmedios ICA, Publicación ICA-COLCIENCIAS, Bogotá, 96 p.

CESNIK, R.; PRATES, H. S.; ALVES, S. B. 2002. Controle biológico da *Orthezia praelonga* na citricultura. http://www.cati.sp.gov.br/novacati/tecnologias/

CORRALES, J. A.; LÓPEZ, A. 1991. El piojo blanco (*Orthezia* sp.) grave plaga que amenaza los cítricos. Avances Técnicos Cenicafé, No. 165. Chinchiná, Colombia, 6 p.

DEKLE, G. W. 1965. Arthropods of Florida Vol. 3, Florida Armored Scale Insects. Division of Plant Industry, Florida Department of Agriculture & Consumer Service, Gainesville, 2 p.

DEKLE, G. W. 1976. Green scale, *Coccus viridis (*Green) (Homoptera: Coccidae) Entomology Circular No. 165. Division of Plant Industry, Florida Department of Agriculture, Gainesville, 265 p.

HILL, D. S. 1983. Agricultural insect pests of the tropics and their control. Second edition, Cambridge University Press, 746 p.

ICA. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. 1989. Lista de insectos dañinos y otras plagas en Colombia. Bol. Técnico No. 43, 4a edición, 662 p.

KERNS, D.; WRIGHT, G.; LOGHRY, J. 2007. Wooly whiteflies (*Aleurothrixus floccosus*). *In*: Citrus arthropod pest management in Arizona. Cooperative Extension, The University of Arizona, College of Agriculture. Tucson, Arizona, 5 p.

MARICONI, F. A. M.; NASS, L. L.; PASSOS, H. R. 1994. Chemical control of coccid *(Orthezia praelonga* Douglas, 1891) for orange-trees, with insecticide granulated. Sci. Agric. (Piraçicaba, Brazil), 51 (3): 474 - 480.

POSADA, L.; GARCÍA, F. 1976. Lista de predadores, parásitos y patógenos de insectos registrados en Colombia. Boletín Técnico 41, ICA, Bogotá, Colombia, 90 p.

ROBA, R. P. 1936. La escama verde del cafeto: *Coccus viridis* Green. Revista Cafetalera de Colombia, 6: 2087– 2091.

CAPÍTULO 24
Cochinillas harinosas en cafetales colombianos

Clemencia Villegas García, Álex Enrique Bustillo Pardey, Gustavo Zabala Echevarría, Pablo Benavides Machado, Andrea Amalia Ramos Portilla

Las cochinillas harinosas también conocidas como chinches harinosas o palomillas, constituyen un grupo diverso de hemípteros de la superfamilia Coccoidea, considerados como plaga del café en diferentes países productores del grano. Estos insectos se encuentran en una gran diversidad de ecosistemas y, generalmente, viven agregados en distintas partes de la planta, dependiendo de los hábitos de la especie en cuestión. Mientras algunas cochinillas se localizan en las partes aéreas, como hojas, flores, frutos, ramas o tallo, otras poseen hábitos crípticos, y se localizan en las raíces principal, secundarias o raicillas. Como todos los insectos chupadores, las cochinillas (ninfas y hembras adultas) se alimentan de la savia de las plantas hospederas, debilitándolas y provocando heridas que pueden convertirse en vías de entrada de agentes patógenos como virus, bacterias, hongos y nematodos.

Las cochinillas harinosas son insectos pequeños de forma ovalada o redonda, que a menudo están cubiertos por una capa cerosa blanca en la superficie dorsal. Aunque son predominantemente sedentarias, todos los estados de las cochinillas son móviles; su cuerpo no posee caparazón y es de consistencia blanda. Las hembras adultas son ápteras, con la cabeza y el tórax fusionado (cefalotórax). En la Figura 24.1 se presenta un diagrama sobre las principales estructuras que ayudan en la identificación de las especies.

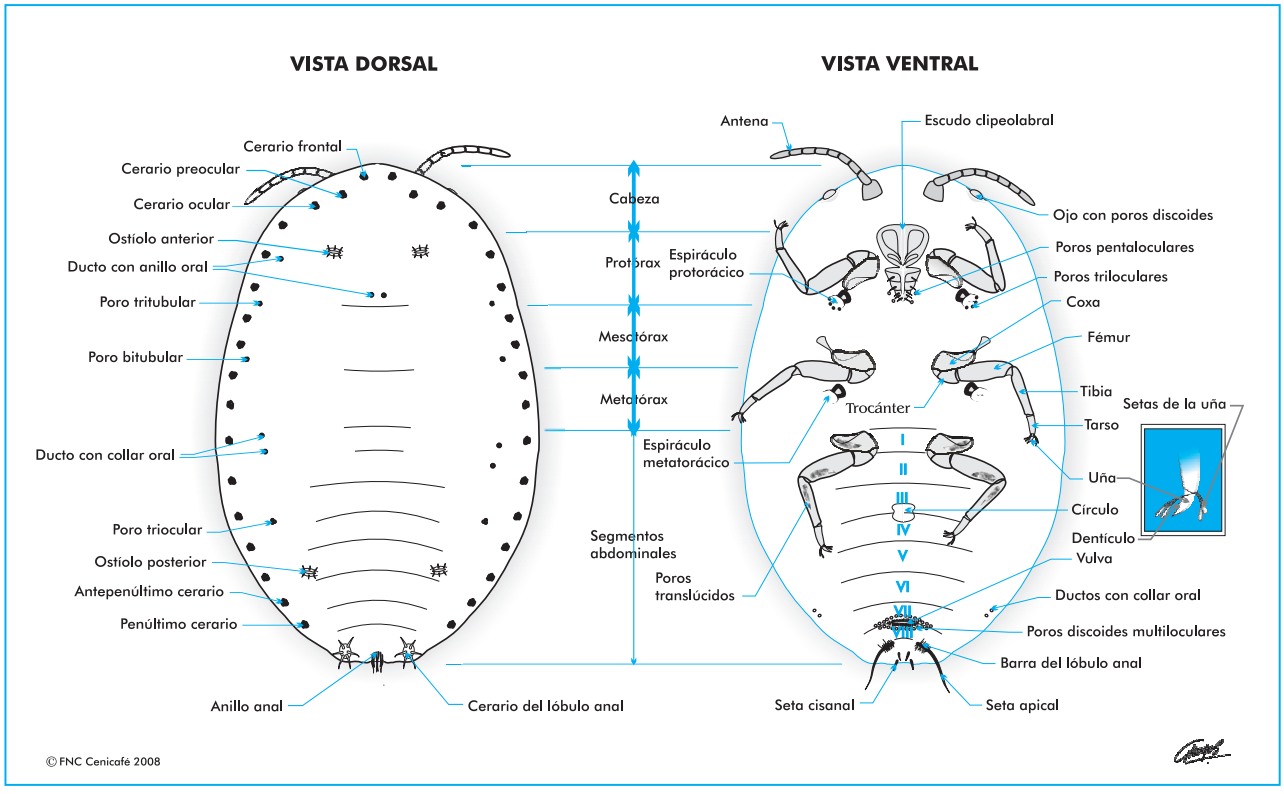


Figura 24.1. Morfología de la cochinilla.

Los machos adultos son alados, carecen de estilete, son más pequeños que las hembras y menos longevos. En algunas especies, las hembras pueden presentar partenogénesis con descendencia sólo de hembras. Los ínstares ninfales se diferencian por su tamaño y movilidad, la longitud de las antenas, y la presencia de filamentos ceríferos alrededor del tórax y el abdomen.

Altas poblaciones de cochinillas harinosas en los cultivos de café pueden causar problemas como la reducción en el crecimiento y vigor de las plantas, la proliferación de retoños y hojas más pequeñas, que finalmente se traducen en frutos de menor tamaño y de inferior calidad. Sólo en casos severos, en almácigos o en árboles menores de un año, el ataque de las cochinillas genera síntomas visibles como clorosis y defoliación, llegando incluso a desencadenar la muerte de la planta.

Uno de los aspectos más interesantes y complejos de la biología de las cochinillas es su estrecha relación con varias especies de hormigas. En estas asociaciones, conocidas específicamente como trofobiosis (Hölldobler y Wilson, 1990), las hormigas se alimentan de la excreción azucarada (miel de rocío) de las cochinillas y en contraprestación, les ofrecen protección contra el ataque de una gran diversidad de parasitoides y depredadores, brindándoles adicionalmente el beneficio de la dispersión (Cárdenas, 1985; Cárdenas y Posada, 2001). Algunas especies de hormigas también crían los huevos de las cochinillas asociados a su propia prole, en cámaras especiales al interior de la colonia (Delabie, 2001; Flanders, 1957). En general, los principales problemas que conllevan estas asociaciones de tipo mutualista en cultivos de importancia económica, se relacionan con la dispersión de la plaga por parte de las hormigas y la protección que éstas brindan a las cochinillas contra el ataque de enemigos que puedan estar ejerciendo un control biológico de manera natural. No obstante, cabe anotar que no existen estudios en café, destinados a cuantificar el daño económico que producen estas asociaciones.

Las cochinillas harinosas son difíciles de identificar a nivel de especie, cuando están vivas. En su mayoría, los especímenes deben ser recolectados en alcohol y posteriormente preparados para montaje en láminas para un examen microscópico (Williams y Watson, 1988).

Dysmicoccus brevipes (Cockerell) (Hemiptera: Pseudococcidae)

Sinonimia: *Dactylopius brevipes* Cockerell, 1893; *Pseudococcus brevipes* (Cockerell), Fernald, 1903; *Pseudococcus missionum* Cockerell, 1910; *Pseudococcus bromeliae* (Bouché), Hempel, 1912; *Pseudococcus pseudobrevipes* Mamet, 1941 (Williams y Granara de Willink, 1992).

Descripción e historia de vida

La mayoría de especies del género *Dysmicoccus* poseen cuerpo de forma ovalada, patas bien desarrolladas y uñas sin dentículo. Las hembras adultas son blancas o rosadas (Figura 24.2a), tienen cuerpo ovalado y el dorso convexo. Tienen una longitud aproximada de 3 mm, poseen patas bien desarrolladas y antenas con ocho segmentos. En la superficie dorsal poseen una capa cerosa blanca, con filamentos laterales y caudales cortos.

En la superficie ventral poseen de 6 a 17 pares de cerarios, usualmente con 5 ó 6 setas cónicas grandes, acompañadas de pocas setas auxiliares. En la superficie dorsal, especialmente en los segmentos abdominales posteriores, poseen poros en forma de discos (discoides) de apariencia cribosa y poros discoides simples junto a los ojos. Una descripción morfológica detallada la presenta Ramos (2006).

Dysmicoccus brevipes (Figura 24.2 b), se reconoce por la presencia de setas dorsales sobre los segmentos VII y VIII, conspicuamente más largas que las setas dorsales restantes (Williams y Watson, 1988; Williams y Granara de Willink, 1992).

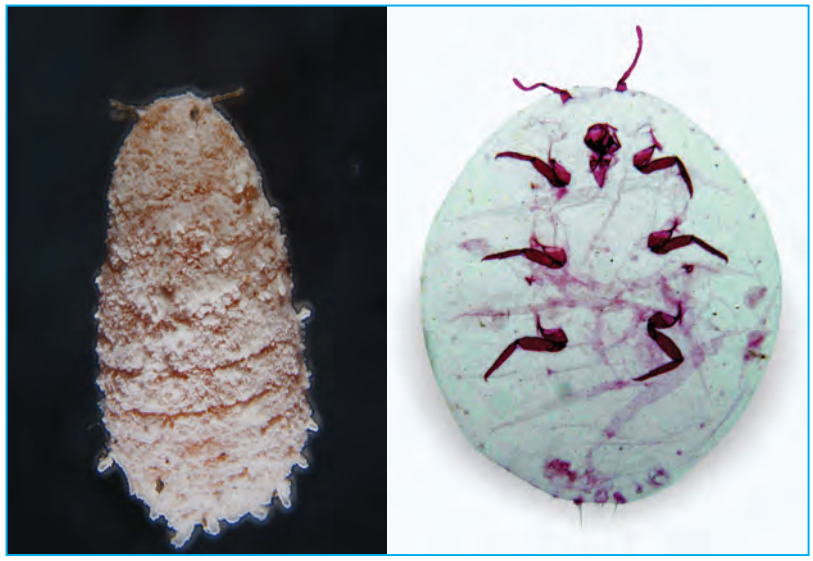


Figura 24.2. *Dismycoccus brevipes*. **a.** adulto con cerosidades; **b.** caracteristicas morfológicas del insecto (Foto J. C. Ortiz).

Esta cochinilla tiene una distribución Pantropical y es una especie común en la mayoría de los países productores de café. Aunque principalmente es una plaga de la piña, también infesta otra gran variedad de especies cultivadas que incluyen maní, garbanzo, cacao, cítricos, plátano, maíz, guanábana, coco, calabaza, palma africana, caña de azúcar, heliconias, aguacate, mango, papa y habas (Williams y Granara de Willink, 1992). En la zona cafetera colombiana, esta especie se ha registrado en los departamentos de Antioquia, Caldas, Cauca, Quindío, Risaralda, Tolima y Valle del Cauca, asociada a *Coffea arabica*, igualmente se ha registrado en raíces de algunas arvenses como cortadera y cuero de sapo.

En los árboles de café, esta cochinilla se encuentra principalmente en frutos, el cuello de la raíz y en raíces primarias y secundarias (Hill, 1983; Saunders *et al.*, 1998). En plátano se encuentra en el seudotallo y en las raíces, y en cacaotero la mayoría de cochinillas se encuentran en el fruto, usualmente en el área de contacto de éste con el tallo (Williams y Granara de Willink, 1992; Ramos, 2006).

La longevidad de las hembras adultas varía entre 31 y 80 días, con un promedio de 56 días. Aunque su reproducción es sexual, éstas también se pueden reproducir por partenogénesis, dando origen sólo a ninfas hembras (Saunders *et al*., 1988). El período de maduración antes de la reproducción dura cerca de 27 días, y el período en que deposita ninfas dura 25 días, en promedio. Durante su vida, las hembras pueden producir cerca de 234 progenies y aproximadamente 1.000 ninfas. Los machos son alados, más pequeños que las hembras y menos longevos. Esta especie es ovovivípara, lo que indica que los huevos eclosionan dentro de los ovisacos de los cuales emergen las ninfas. Durante un breve período, éstas permanecen agregadas bajo el cuerpo de su madre antes de desarrollar la cubierta cerosa. Las ninfas mudan tres veces antes de llegar al estado adulto. El desarrollo de las ninfas varía de 48 a 68 días (Hill, 1983). El primer estadio ninfal, en el cual los insectos son llamados "crawlers" o caminadores, es en gran medida el responsable de su dispersión.

Entre las especies de hormigas asociadas a esta cochinilla, *Solenopsis geminata* y *Pheidole megacephala* son las más comunes en la región Neotropical. Por su agresividad, estas hormigas dificultan el manejo de esta plaga, contribuyendo con su protección y dispersión en los cultivos.

Daños

D. brevipes infesta principalmente las raíces de las plantas, debilitándolas y generando enanismo y el amarillamiento de las hojas. Aunque los cafetos de más de tres años rara vez mueren por una infestación de esta cochinilla, las plantas recién sembradas son más susceptibles y pueden sufrir el ataque de poblaciones muy altas, que generan los síntomas descritos y ocasionan daños que repercuten en su productividad.

Manejo de poblaciones

La principal forma de diseminación de las cochinillas es por medio de los almácigos, bien sea que el suelo que se utilice esté contaminado con las cochinillas o que las hormigas transporten cochinillas hacia estos almácigos. Por esto, es importante mantener los almácigos libres de cochinillas y al momento de la siembra en el cafetal cerciorarse que en los huecos para el transplante no estén infestados por estos insectos. En estos casos se deben tratar los huecos con un insecticida de contacto, antes de la siembra del café.

El control de *D. brevipes* se enfoca normalmente en las hormigas que cuidan de estos insectos en una forma mutualista. Estas hormigas pertenecen a la especies *Solenopsis geminata* y *Pheidole megacephala*, las cuales ofrecen a las cochinillas resguardo, protección de depredadores y parasitoides y las mantienen libres de detritos, que pueden acumularse en la mielecilla que secretan y que pueda ser mortífera para la colonia. Sin las hormigas, las poblaciones de las cochinillas no prosperan mucho para invadir nuevas áreas y el cafetal puede estar libre de una infestación seria de las cochinillas (Benavides y Cárdenas, 1997). Las plantaciones de cafetos deben mantenerse libres de arvenses que puedan albergar las cochinillas. Las arvenses también son fuente de alimento para mantener poblaciones de hormigas en los períodos cuando las poblaciones de las cochinillas son pequeñas.

En la literatura se registran varios enemigos naturales de *D. brevipes*, los parasitoides incluyen *Aenasius colombiensis*, *Anagyrus ananatis*, y entre los predadores están: *Cryptolaemus montrouzieri* y *Scymnus* spp., (Cárdenas y Posada, 2001); sin embargo, es cuestionable el papel que puedan jugar en la reducción de las poblaciones de esta plaga.

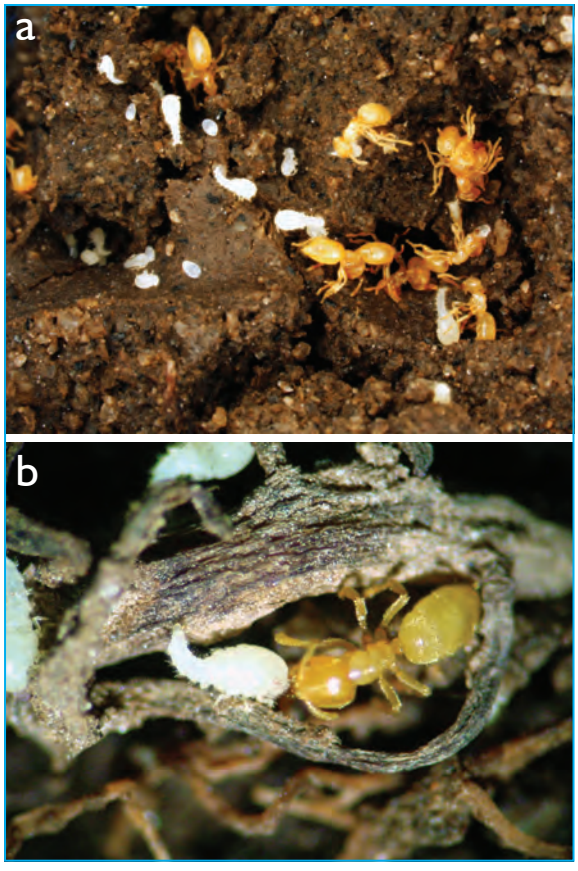


Figura 24.3. *Neochavesia caldasiae*, **a.** en su hábitat con la hormiga *Acropyga fuhrmanni*; **b.** hormiga transportando en sus mandíbulas una cochinilla. (Foto J. C. Ortiz).

Neochavesia caldasiae (Balachowsky) (Hemiptera: Pseudococcidae)

Sinonimia: *Eumyrmococcus* sp., (Roba, 1936), *Chavesia caldasiae* Balachowsky, 1957.

Descripción e historia de vida

Neochavesia caldasiae fue descrita de especímenes recolectados por primera vez en raíces de café, en Chinchiná, Caldas. Las ninfas y adultos de esta cochinilla tienen una apariencia extraña, en forma de pera (Figura 24.3), carecen de ostiolos dorsales y la parte terminal distal es deprimida y en forma de copa. La cabeza es poco visible desde arriba y está confinada por el tórax, el cual es bastante voluminoso. Su aparato bucal picador-chupador es bien desarrollado y el abdomen se va adelgazando desde el tórax hasta la parte distal, y se asemeja a una cola (Roba, 1936).

Esta especie se reconoce particularmente por la presencia de poros triloculares en la cabeza y en el tórax, uñas con una longitud aproximada de 2/3 de la longitud de los tarsos, y lóbulos anales prominentes, largos y anchos (Williams y Granara de Willink, 1992).

El género *Neochavesia* tiene distribución Neotropical y se registra en Brasil, Colombia y Trinidad y Tobago

(Williams, 1998). En estos países, se ha encontrado y catalogado como plaga, principalmente en cultivos de café, cacao y plátano; también se ha encontrado en raíces de algunas arvenses como cortadera, cuero de sapo, escobadura, masequia y diente de león.

En *N. caldasiae* se ha confirmado que la reproducción es sexual. Las cuatro especies de este género son las únicas dentro de Coccoidea en las que el tercer ínstar de la hembra es una pupa. Adultos, huevos y ninfas son objeto de atención obligatoria por parte de hormigas del género *Acropyga*. Hormigas y cochinillas poseen hábitos crípticos y presentan dispersión conjunta. Las hormigas anidan cerca a las raíces que infestan las cochinillas, crían los huevos de estos hemípteros asociados a su propia prole, y brindan protección a ninfas y adultos, transportándolos a lugares seguros cuando se perturba la planta hospedera o la colonia (Williams, 1998; Delabie, 2001). Tal como se ha mencionado, las hormigas se benefician en esta relación alimentándose de la excreción azucarada de las cochinillas, la cual constituye un recurso que no depende de la variación estacional de otros productos de la planta (Mckey y Meunier, 1996). En los vuelos nupciales, las futuras reinas de *Acropyga* transportan en sus mandíbulas una hembra de la cochinilla, garantizando de este modo la permanencia de esta relación. Este comportamiento, denominado trofoforesis (LaPolla *et al.*, 2002; LaPolla, 2004), es posiblemente el resultado de un proceso coevolutivo entre cochinillas y hormigas, según las evidencias registradas en ámbar Dominicano del Mioceno (Johnson *et al.*, 2001).

En Colombia, *N. caldasiae* se ha encontrado asociada a tres de las cinco especies de *Acropyga* que habitan en el país: *Acropyga berwicki* Wheeler, *A. exsanguis* (Wheeler) (antes *A. robae* Donisthorpe) y *A. fuhrmanni*. Estas especies son frecuentes en zonas cafeteras de Antioquia y Quindío, lo que genera preocupación entre los caficultores por su abundancia y por los daños ocasionados por las cochinillas en plantas jóvenes o recién plantadas. El complejo simbiótico entre *A. fuhrmanni*, conocida como "la hormiga de Amagá" u "hormiga hedionda" por su olor característico, y *N. caldasiae*, es el que se encuentra con mayor frecuencia en estos departamentos, y que ocasiona pérdidas en la productividad y se manifesta por medio de síntomas como clorosis, defoliación, enanismo o retraso en el crecimiento.

Daños

Por lo general, *Neochavesia caldasiae* se encuentra en las raicillas de las plantas de café, succionando la savia, debilitándolas y reduciendo su vigor. Aunque no se conocen los efectos en las plantas en relación con el número de cochinillas o el tamaño de las poblaciones, se observa que el daño es más severo en plantas pequeñas, recién transplantadas, y en almácigos, en los cuales se encuentra un gran número de cochinillas asociadas a colonias de *Acropyga* con múltiples reinas y cientos o miles de obreras (Figura 24.3).

Manejo de poblaciones

A pesar de observarse en muchos cafetales establecidos poblaciones muy numerosas de *N. caldasiae*, no se encuentran signos que indiquen su daño en la planta. Es posible que en plantas de café de más de dos años, éstas soporten altas poblaciones. El manejo de *N. caldasiae* se debe centrar en evitar su diseminación por las hormigas, controlándola, y no permitir su transporte a los cafetales mediante almácigos infestados. Se debe procurar que en las resiembras los sitios en donde se hace el hoyado estén libres de las cochinillas.

Planococcus citri (Risso) (Hemiptera: Pseudococcidae)

Sinonimia: *Dorthesia citri* Risso, 1813; *Coccus tuliporum* Bouché, 1844; *Dactylopius citri* (Riso), Signoret, 1875; *Dactylopius destructor* Comstock, 1881; *Dactylopius secretus* Hempel, 1900; *Phenacoccus spiriferus* Hempel, 1900; *Phenacoccus spiniferus* Hempel, 1901; *Pseudococcus citri* (Risso), Fernald, 1903; *Planococcoides cubanensis* Ezzat & McConnell, 1956; *Planococcus cucurbitae* Ezzat & McConnell, 1956 (Williams y Granara de Willink, 1992).

Figura 24.4. La cochinilla de los cítricos, *Planococcus citri* (Foto J. C. Ortiz).

Descripción e historia de vida

Los miembros del género *Planococcus* se caracterizan porque poseen cuerpo de forma ovalada, patas bien desarrolladas y uñas sin dentículo; en la superficie ventral poseen 18 pares de cerarios. Los cerarios abdominales poseen dos setas cónicas y carecen de setas auxiliares. Las setas dorsales son usualmente flageladas y la barra del lóbulo anal siempre está presente. *Planococcus citri* se reconoce particularmente porque posee en la superficie ventral de la cabeza de 14 a 35 ductos tubulares y/o de 7 a 30 ductos en el tórax, cercanos al octavo par de cerarios. En el dorso de la cabeza y junto al octavo par del cerarios, posee entre 15 y 50 ductos bien desarrollados (Williams y Granara de Willink, 1992) (Figura 24.4).

Planococcus citri es una de las cochinillas más comunes en agroecosistemas tropicales y de zonas templadas; es una especie cosmopolita y se encuentra distribuida en casi todos los países que cultivan café. En Colombia, se ha registrado en los departamentos de Antioquia, Nariño y Valle del Cauca (Kondo, 2001; Gallego y Vélez, 1992), asociada principalmente a cultivos de cítricos, plátano, yuca y café. Williams y Granara de Willink (1992), registran para el país otros hospederos como papa, guayaba, espárragos, acanto, dracena y batata.

Durante su desarrollo, los machos de esta especie pasan por cuatro estadios ninfales. El primer estadio dura en promedio 10 días, el segundo 9 días, y el tercero y cuarto estadios, únicamente 3 días. Hacia el segundo estadio el insecto inicia la formación de un capullo alrededor de su cuerpo, el cual incrementa su densidad hasta que los adultos alados, al final del cuarto estadio, están listos para emerger. La hembra de *P. citri* tiene solo tres estadios ninfales; el primero dura 12 días, en promedio, el segundo 8 días y el tercero 9 días. Los machos adultos viven sólo de 2 a 4 días después de la última muda ninfal. Las hembras viven en promedio 88 días y pueden colocar entre 200 y 400 huevos durante toda su vida. El período de oviposición generalmente oscila entre 15 y 26 días. La relación de sexos es muy cercana a la paridad entre machos y hembras. Los huevos son depositados en grupos, cubiertos por un ovisaco hecho de hilos de cera, son cilíndricos a ovoides, de color amarillo y eclosionan en un lapso de 2 a 5 días. Los machos y hembras de esta cochinilla se mueven activamente durante toda su vida (Coffee Board Res. Dept., 1984).

Planococcus citri se asocia frecuentemente con otros insectos dañinos como los áfidos, las moscas blancas y algunas escamas. Los insectos depredadores que se presentan con mayor frecuencia atacando ninfas y hembras de esta cochinilla son el coccinélido *Hyperaspis* sp. y la crisopa *Chrysoperla* sp. En las plantas hospederas se observan habitualmente varias especies de chinches depredadoras de la familia Miridae, que se alimentan de huevos, ninfas y hembras de la plaga (León *et al.*, 2001). En la zona cafetera colombiana se han observado varias especies de hormigas asociadas a *P. citri*, entre las que sobresalen *Solenopsis geminata, Wasmannia auropunctata* y *Paratrechina fulva,* por su abundancia, dominancia en los agroecosistemas y su agresividad para proteger las cochinillas.

Daños

Para *P. citri,* el café en Colombia constituye un hospedero secundario al cual ataca ocasionalmente (Cárdenas, 1985). Las ninfas y adultos de esta especie se agregan en grandes cantidades alrededor de las cerezas y el follaje nuevo del tercio superior de los árboles, produciendo clorosis y la marchitez de las estructuras en los sitios de alimentación. Adicionalmente, las excreciones azucaradas de esta cochinilla proporcionan un

sustrato adecuado para el crecimiento del hongo negro *Capnodium* sp., que promueve el desarrollo de la fumagina, e interfiere con la fotosíntesis.

Manejo de poblaciones

El control biológico por agentes naturales parece ser el mejor medio para que sus poblaciones se reduzcan y no cause daños económicos. En otras partes, se indica que el predador *Cryptolaemus montrouzieri* es un controlador importante de *P. citri*. En Colombia se han observado larvas y adultos de *Chrysopa* sp. y algunos coccinélidos depredando sobre poblaciones de *P. citri* y dos especies de parasitoides del orden Hymenoptera (Cárdenas, 1985). El control de las hormigas que están asociadas a esta plaga ayuda en la reducción de sus poblaciones.

Puto antioquensis (Murillo) (Hemiptera: Putoidae)

Sinonimia: *Ceroputo antioquensis* Murillo, 1931; *Puto antioquensis* (Murillo), Ferris, 1950.

Descripción e historia de vida

Puto antioquensis es una especie descrita por Luis María Murillo a partir de especímenes recolectados en zonas cafeteras de Antioquia (Murillo, 1931). Los miembros de este género se caracterizan por su cuerpo ovalado, antenas usualmente con nueve segmentos, patas bien desarrolladas y uñas sin dentículo. La superficie ventral del insecto tiene ocho pares de cerarios, estructuras por donde secretan la cera que cubre su cuerpo. Las setas dorsales son de forma lanceolada y generalmente presentan el círculo, ubicado en el tercer segmento abdominal. La especie se reconoce por presentar el círculo dividido en dos partes completamente separadas y la presencia de cerarios con ductos tubulares alargados, cuyo ancho es 1,7 veces el ancho de un poro trilocular (Williams y Granara de Willink, 1992).

Esta especie, endémica de Colombia, se ha encontrado principalmente en zonas cafeteras de Antioquia y Quindío. Aunque el café se considera su único huésped primario, también se puede encontrar en maní y en plátano (ICA, 1989).

Poco se conoce acerca de la biología de esta cochinilla harinosa debido a sus hábitos crípticos. Las hembras adultas y los estados ninfales de ambos sexos son blancos y algodonosos, tienen aparato bucal picador-chupador corto y patas amarillas, relativamente cortas. El macho permanece dentro de un saco blanco y cuando completa su desarrollo sale ayudado por las hormigas mutualistas (Medina, 1955).

Daños

Puto antioquensis se localiza predominantemente en las raíces principales y secundarias del café y en ocasiones hasta en la parte del tronco inmediata al suelo. Las plantas afectadas pueden presentar clorosis lenta de las hojas y encrespamiento, cambios de color en los frutos, marchitamiento de las ramas y partes tiernas del follaje, reducción en la producción y en casos de ataques severos, puede producir la muerte de la planta (González, 1951). El daño ocasionado es más evidente en cafetales con suelos pobres. El cafeto afectado presenta un anclaje deficiente y no ofrece resistencia al doblarlo contra el suelo.

Cuando el ataque ocurre en el cuello de la raíz, con frecuencia se encuentran pequeños montículos o galerías protectoras construidas con tierra y materiales vegetales por la hormiga, *Solenopsis geminata*.

Manejo de poblaciones

Este insecto es una plaga endémica que se presenta en ciertas zonas y su incidencia es mayor en las áreas donde existen infestaciones que no se controlan a tiempo, por lo que la plaga se dispersa con la ayuda de

las hormigas mutualistas por medio de almácigos infestados. En la resiembra de cafetales es importante examinar los huecos que se hacen para las nuevas plantas por presencia de las cochinillas, ya que si éstos tienen poblaciones y no se tratan, es posible que causen serios retrasos en el desarrollo del cafeto y su posterior muerte.

Puto barberi (Cockerell) (Hemiptera: Putoidae)

Sinonimia: *Ceroputo barberi* Cockerell, 1901.

Descripción e historia de vida

De las cochinillas que se registran en las raíces del café, las del género *Puto* son las más grandes, ya que pueden medir de 5 a 7 mm (Figura 24.5a).

Puto barberi se reconoce principalmente por la presencia de numerosos poros discoides multiloculares en la superficie ventral; presenta 17 a 18 pares de cerarios con setas numerosas y grandes, y sin ductos tubulares alargados; el círculo es entero, aunque frecuentemente constreñido en su parte media; las uñas con dentículo y setas dorsales distribuidas uniformemente en los segmentos abdominales (Figura 24.6b) (Williams y Granara de Willink, 1992).

P. barberi, probablemente es la más común en la región Neotropical. Actualmente es la más predominante en los cafetales en Colombia, donde se ha registrado en los departamentos de Antioquia, Caldas, Quindío, Tolima y Valle del Cauca, principalmente en zona cafetera, entre 900 y 1.700 m de altitud, infestando *Coffea arabica* y *Citrus sinensis* (Ramos, 2006). En otros estudios realizados en el país, esta cochinilla harinosa se ha registrado sobre zanahoria, clavel, geranio, fresa, yuca, lantana, aguacate, cacao y guandul (ICA, 1989; Gallego y Vélez, 1992).

Puto barberi es una especie polífaga, cuya biología se conoce muy poco. En los árboles de café, las ninfas y adultos de está cochinilla, poseen hábitos crípticos y se localizan en la raíz principal y en las raíces secundarias. Algunas hormigas como *A. exsanguis*, *S. geminata, W. auropunctata* y *Tranopelta gilva*, se encuentran frecuentemente asociadas a esta especie, brindándole protección y dispersándola en los cultivos.

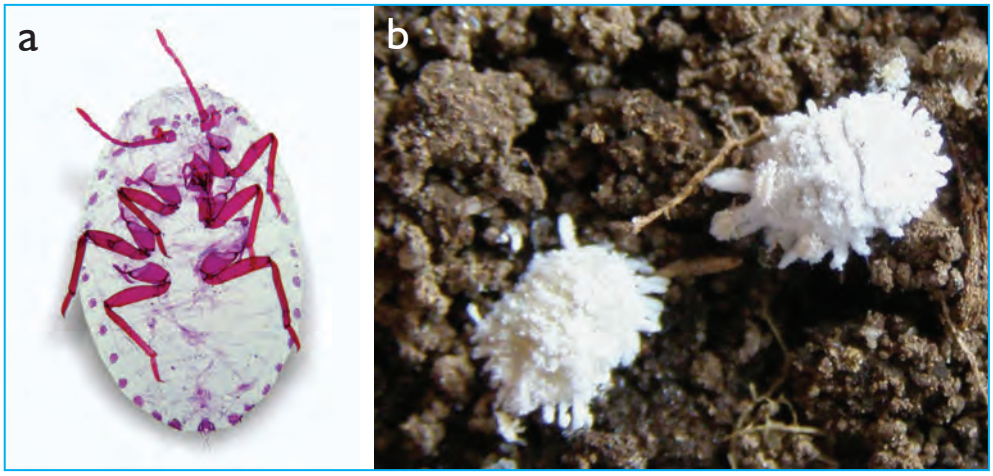


Figura 24.5. *Puto barberi*. **a.** características sin las cerosidades (Fotos J. C. Ortiz). **b.** aspecto del adulto con cerosidades (Foto G. Zabala).

Daños

En los últimos años, la incidencia de *P. barberi* se ha incrementado en cafetales de Antioquia, Caldas, Quindío y Tolima (Ramos, 2006). En almácigos y plantas jóvenes o recién sembradas, altas poblaciones de esta cochinilla ocasionan daños que se manifiestan mediante síntomas como clorosis foliar, defoliación y enanismo. En casos severos de infestación, finalmente se produce la muerte de la planta. Algunas observaciones sugieren que la inexistencia de síntomas manifiestos en algunos árboles, no indican que sus raíces no estén albergando individuos de esta plaga; en estos casos, es posible que la presencia de las cochinillas únicamente repercuta en una reducción de la productividad.

Manejo de poblaciones

Aplican las mismas medidas recomendadas para *P. antioquensis*, especialmente evitando su diseminación en almácigos y en las resiembras estar atento a la presencia de poblaciones de la cochinilla en los huecos que se hacen para las plántulas. En cultivos ya establecidos aparentemente las plantas de café resisten poblaciones más altas, que cuando están jóvenes.

Rhizoecus coffeae Laing (Hemiptera: Pseudococcidae)

Sinonimia: *Rhizoecus lendea* Pickel, 1927; *Neorhizoecus coffeae* (Laing) Hambleton, 1946 (Williams y Granara de Willink, 1992).

Descripción e historia de vida

Los miembros del género *Rhizoecus* se caracterizan por su cuerpo pequeño de forma ovalada. Antenas usualmente cortas, de 5 a 6 segmentos y fuertemente geniculadas. Patas bien desarrolladas generalmente cortas, presenta tarsos con un solo segmento y con uñas largas. El círculo es truncado o cónico, los poros son triloculares y el labio usualmente largo y angosto (Roba, 1936).

La hembra adulta es blanca y tiene una forma ovalada, de 2,3 mm de largo. El cuerpo es blando y estriado, de color amarillento, cubierto de una sustancia harinosa (Figura 24.6). Al igual que *D. brevipes*, esta especie también deposita los huevos en ovisacos visibles sobre las raíces de las plantas. En estos ovisacos los huevos eclosionan en menos de 24 horas después de depositados, luego emergen las ninfas denominadas "crawlers" o caminadoras, que se mueven para buscar en el sistema radicular una raíz secundaria apropiada e iniciar su alimentación con su aparato bucal chupador.

Particularmente, *R. coffeae* se reconoce por la presencia de numerosos poros tritubulares, cada uno aproximadamente del mismo tamaño, así como un poro trilocular ligeramente más grande (Williams y Granara de Willink, 1992).

El ciclo de vida de huevo a adulto puede tomar entre 60 y 120 días, dependiendo de la temperatura. La hembra adulta vive entre 27 a 57 días y puede producir entre 17 y 83 ninfas. Esta cochinilla se dispersa moviéndose de una planta a otra.

Esta especie, distribuida en Brasil, Colombia, Costa Rica y Surinam, se ha encontrado principalmente en zonas productoras de café. En Suriman se ha registrado especialmente en pastos.

En Colombia, *R. coffeae* se ha encontrado en la zona cafetera central asociada a dos especies de hormigas del género *Acropyga. A. exsanguis* (Wheeler) conocida comúnmente como la "hormiga de la Esperanza" (Roba, 1936; Benavides y Cárdenas, 1977), protege y transporta la cochinilla de una raíz a otra cuando lo requiera, y a cambio obtiene como alimento una mielecilla secretada del abdomen de la cochinilla. También se ha

Figura 24.6. Aspecto del adulto de *Rhizoecus coffeae* (Foto L. M. Constantino)

observado conviviendo con "la hormiga de Amagá", *A. fuhrmanni*, aunque esta especie prefiere a *N. caldasiae* (Roba, 1936).

Daño

El daño causado por *R. coffeae* no es muy notorio, ya que los síntomas se presentan con la reducción del crecimiento de la planta, falta de vigor, y subsiguiente muerte. El insecto no es evidente hasta que se examinan las raíces de la planta y se observan los puntos blancos cerosos, en los cuales se encuentran las hembras adultas. Se requieren infestaciones muy altas para que los síntomas se manifiesten y se pueda observar la muerte de la planta.

Manejo de poblaciones

Esta es una especie difícil de controlar debido a que se ubica hacia los extremos de las raíces en los pelos absorbentes; por esta razón sus daños son mayores, ya que limita la capacidad de absorción de las plantas.

No se conocen depredadores naturales de *R. coffeae*. Debido a que este insecto es muy difícil de detectar y controlar se deben hacer esfuerzos para prevenir su dispersión y establecimiento, especialmente controlando sus hormigas mutualistas.

Antes de plantar cafetos, el sitio en el campo debe inspeccionarse previamente para determinar si hay presencia del insecto. De manera similar deben examinarse las plántulas de vivero, removiendo las bolsas. En el campo, las raíces de plantas sospechosas, especialmente las de plantas con crecimiento lento, deben revisarse cuidadosamente y los huéspedes alternos deben retirarse o tratarse con insecticidas sistémicos.

Pseudococcus jackbeardsleyi Gimpel & Miller (Hemiptera: Pseudococcidae)

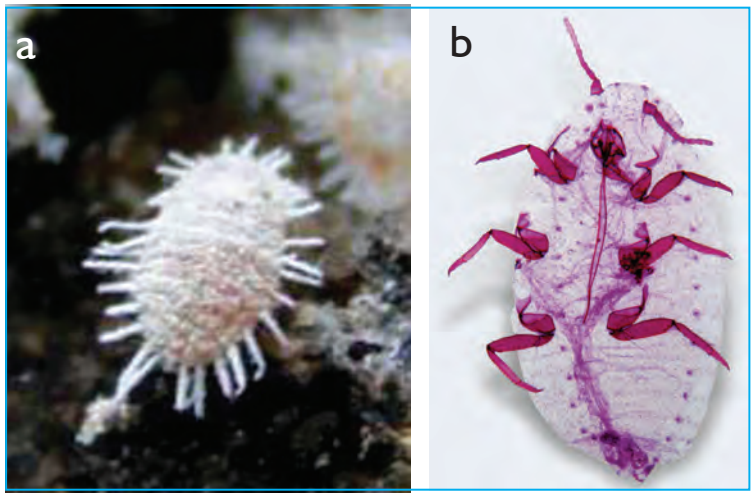


Figura 24.7. *Pseudococcus jackbeardsleyi*. a. aspecto del adulto con cerosidades (Foto G. Zabala); b. características sin las cerosidades (Foto J. C. Ortiz).

Sinonimia: *Pseudococcus elisae* Borchsenius, 1947.

Descripción e historia de vida

Las especies del género *Pseudococcus* se reconocen principalmente porque poseen antenas de ocho segmentos, 12 a 17 pares de cerarios usualmente con dos setas cónicas, setas auxiliares presentes en todos los pares de los cerarios, y ductos tubulares con anillo oral presente en el dorso (Figura 24.7). Dentro del género, *P. jackbeardsleyi* se reconoce principalmente por la presencia de poros discoidales en anillos esclerotizados al lado de los ojos; poros translúcidos sobre

el fémur y la tibia posterior, y ductos tubulares con collar oral sobre el mesotórax, opuestos a cada espiráculo anterior (Williams y Watson, 1988; Williams y Granara de Willink, 1992).

Esta cochinilla tiene una distribución muy amplia en la región Neotropical. En Colombia se ha encontrado en los departamentos de Antioquia, Caldas, Cauca, Quindío, Tolima y Valle del Cauca, asociada a café, plátano, cacao, guayaba y banano (Ramos y Serna, 2004; Ramos, 2006).

La biología de esta especie se conoce poco. Se trata de una cochinilla polífaga, con una gran plasticidad ecológica, según sus hospederos y el amplio rango de distribución. En general, ninfas y adultos se encuentran agregados en microclimas húmedos y oscuros. En café, se alimenta en la raíz primaria, raíces secundarias y en la base del tallo. En plátano y en banano se encuentran frecuentemente bajo la base del pecíolo de las hojas que forman el seudotallo. En cacao se encuentran únicamente en los frutos (Ramos y Serna, 2004).

Daños

En los cafetales colombianos *P. jackbeardsley* no se encuentra con frecuencia, sin embargo, existen algunos registros recientes de la especie en el Quindío, asociada con un hongo basidiomiceto del género *Septobasidium,* el cual es frecuente observar en la base del tallo de los árboles (Figura 24.8).

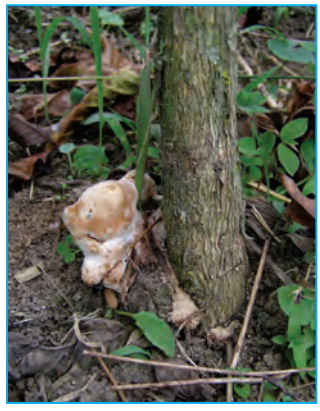


Figura 24.8. Hongo *Septobasidium* sp., (Basidiomiceto) que se encuentra en la base del tallo asociado con el ataque de *P. jackbeardsleyi*.

Figura 24.9. Formación del hongo sobre las secreciones de las cochinillas *Pseudococcus jackbeardsleyi*.

Figura 24.10. Hiperplasia de las raíces ocasionada por el complejo del hongo y *Pseudococcus jackbeardsleyi* (Foto G. Hoyos).

Figura 24.11. Presencia del hongo *Trichoderma* sp., sobre *los nódulos causados por Pseudococcus jackbeardsleyi* (Foto J. C. Ortiz).

Este hongo crece sobre las secreciones de las ninfas y adultos formando una cubierta esponjosa y corchosa sobre las raíces (Figura 24.9), ocasionando una hiperplasia de las mismas (Figura 24.10). Ocasionalmente se ha encontrado el hongo *Trichoderma* sp. (Figura 24.11) sobre los nódulos ocasionados por *P. jackbeardsley.*

Algunos autores habían registrado la asociación de *Septobasidium* con las especies, *Dysmicoccus alazon* Williams y *Dysmicoccus criptus* (Hempel), sin embargo, en estudios recientes se encontró a *P. jackbeardsley*, como la especie que se encontraba asociada a este disturbio. Las plantas afectadas presentan síntomas como clorosis foliar y marchitez; finalmente, los daños conllevan a la muerte de la planta. Asociada a esta cochinilla se registraron las hormigas de los géneros *Monomorium pharaonis* y *Solenopsis geminata.*

Manejo de poblaciones

Esta cochinilla no es una plaga de importancia económica en café, aunque se puede presentar en forma localizada en algunos cafetales. Las prácticas de manejo y control recomendadas para las otras especies aplican para este insecto.

Literatura citada

BALACHOWSKY, A. S. 1957. Sur un nouveau genre aberrant de cochenille radicicole myrmécophile nuisible au caféier en Colombie. Rev. Pathol. Vég. Entomol. Agr. (France), 36: 157-164.

BENAVIDES G., M.; CÁRDENAS, R. 1977. Hormigas de Amagá y de la Esperanza. Avances Técnicos Cenicafé, No. 69, Chinchiná, Colombia. 4 p.

CÁRDENAS, R. 1985. La palomilla de las ramas del cafeto, *Planococcus citri* (Risso). Avances Técnicos Cenicafé, No. 125, 2 p.

CÁRDENAS, R.; POSADA, F. J. 2001. Los insectos y otros habitantes de cafetales y platanales. Comité Departamental de Cafeteros del Quindío y Cenicafé. Armenia, Colombia. 120 p.

COFFEE BOARD RESEARCH DEPARTMENT. 1984. II. Mealybug, p. 66-68. *In:* Thirty-sixth annual detailed technical report 1982-1983. Noresh Traders, printing division, Chikmagalur, India, 198 p.

DELABIE, J. H. C. 2001. Trophobiosis between Formicidae and Hemiptera (Sternorrhyncha and Auchenorrhyncha): an overview. Neotropical Entomology, 30: 501-516.

FLANDERS, S. E. 1957. The complete interdependence of an ant and a coccid. Ecology, 38: 535-536.

GALLEGO, F. L.; VÉLEZ, R. 1992. Lista de insectos que afectan los principales cultivos, plantas, forestales, animales domésticos y al hombre en Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Medellín, Colombia, 142 p.

HILL, D. S. 1983. Agricultural insect pests of the tropics and their control, 2nd edition, Cambridge University Press, 746 p.

GONZÁLEZ M., R. 1951. Algunas consideraciones sobre el complejo simbiótico cóccido – hormiga del sistema radicular del cafeto. Revista Cafetera de Colombia, 10 (121): 3680 – 3690.

HÖLLDOBLER, B.; WILSON, E. O. 1990. The ants. Belknap Press, Cambridge, Massachusetts, 732 p.

ICA. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. 1989. Lista de insectos dañinos y otras plagas en Colombia. Boletín Técnico No. 43, 4a edición, 662 p.

JOHNSON, C.; AGOSTI, D.; DELABIE, J. H.; DUMPERT, K.; WILLIAMS, D. J.; VON TSCHIRNHAUS, M.; MASCHWITZ, U. 2001. *Acropyga* and *Azteca* ants with scale insects: 20 million years of intimate symbiosis. American Museum Noviates, 3335: 1-18.

KONDO, T. 2001. Las cochinillas de Colombia (Hemiptera: Coccoidea). Biota Colombiana, 2 (1): 31-48.

LaPOLLA, J. S. 2004. *Acropyga* (Hymenoptera: Formicidae) of the world. Contributions to the American Entomological Institute, 33: 1-130.

LaPOLLA, J. S.; COVER, S. P.; MUELLER, U. G. 2002. Natural history of the mealybug-tending ant *Acropyga epedana*, with descriptions of the male and queen castes. Transactions of the American Entomological Society, 128 (3): 367-376.

LEÓN, G.; EVANS, G.; CAMPOS, J. C. 2001. Parasitoides de plagas (Homoptera) de los cítricos en el departamento del Meta, Colombia. Revista Colombiana de Entomología, 27 (3-4): 153-146.

McKEY, D.; MEUNIER, L. 1996. Evolution des mutualismes plantes-fourmis: quelques éléments de réflexion. Actes Colloque Insectes Sociaux, 10: 1-9.

MEDINA, J. 1955. La "palomilla" del café. Revista Agricultura Tropical, 11 (9): 743 – 751.

MURILLO, L. M. 1931. Los parásitos de café en el Departamento de Antioquia Revista Cafetera de Colombia, 3: 943-949.

RAMOS, A. A. 2006. Chinches harinosas (Hemiptera: Pseudococcidae y Putoidae) en cinco cultivos de la región andina colombiana. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia – Bogotá, Tesis Magister en Ciencias Agrarias,105 p.

RAMOS, A. A.; SERNA, F. J. 2004. Coccoidea de Colombia, con énfasis en las cochinillas harinosas (Hemiptera: Pseudococcidae). Universidad Nacional de Colombia - Medellín. Revista Facultad de Agronomía, 57 (2): 2383-2412.

ROBA, R. P. 1936. "La hormiga de Amagá". Revista Cafetalera de Colombia, 6: 2023 – 2034.

SAUNDERS, J. L.; COTO, D. T.; KING, A. B. S. 1998. Plagas invertebradas de cultivos anuales alimenticios en América Central. CATIE, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Manual Técnico No. 29, 305 p.

WILLIAMS, D. J. 1998. Mealybugs of the genera *Eumyrmococcus* Silvestri and *Xenococcus* Silvestri associated with the ant genus *Acropyga* Roger and a review of the subfamily (Hemiptera, Coccoidea, Pseudoccidae). Bulletin of the British Museum, Natural History, Entomology, 67: 1 - 64.

WILLIAMS, D. J.; GRANARA DE WILLINK, M. C. 1992. Mealybugs of Central and South America. CAB International, 635 p.

WILLIAMS, D. J.; WATSON, G. W. 1988. The scale insects of the tropical South Pacific region. Part 2, The mealybugs (Pseudococcidae). Wallingford, C.A.B. International, 260 p.

CAPÍTULO 25

Gusanos defoliadores del cafeto (Lepidoptera: Geometridae)

Álex Enrique Bustillo Pardey

En Colombia se registra un numeroso grupo de insectos que pueden causar serias defoliaciones en los cafetales, las especies más comunes pertenecen a la familia Geometridae. Las especies en diferentes regiones del mundo son distintas, pero presentan rasgos y hábitos similares, que pueden ser el resultado de haber tenido ancestros comunes, que por especiación han dado lugar a especies simpátricas, individuos muy similares que no se cruzan, pero que pueden o no ocupar las mismas regiones geográficas. En África, *Ascotis selenaria,* conocida como el medidor gigante del café, es una plaga muy seria en Kenia (Wheatley, 1963). En América varias especies de *Oxydia* hacen un daño similar atacando ocasionalmente los cafetales. Las larvas de todas estas especies se caracterizan por ser grandes, voraces y por desplazarse con un movimiento típico de mide cuartas, lo que les da el nombre común de "medidores".

El medidor gigante, *Oxydia* spp., (Lepidoptera: Geometridae)

El género *Oxydia* es de distribución Neotropical y hábitos polífagos. Varias especies de este género causan ocasionalmente defoliaciones en los cafetales de Colombia, éstas son: *Oxydia vesulia* Cramer, *Oxydia hispata* Cramer, *Oxydia trychiata* (Guenée), *Oxydia obrundata* (Guenée) y *Oxydia noctuitaria* Walker (Benavides, 1974). Normalmente estos ataques ocurren en cafetales donde hay un abuso de insecticidas o donde las plantaciones de café están próximas a brotes de estos insectos en plantaciones de coníferas (Cárdenas, 1976). Estas especies se consideran endémicas, con huéspedes primarios en otra vegetación del ecosistema, que cuando se eliminan, éstas migran a monocultivos causándoles defoliaciones severas (Bustillo, 1979).

Descripción e historia de vida

El ciclo de vida y hábitos de *O. trychiata* han sido estudiados por Bustillo (1977). El adulto es una polilla que semeja una hoja seca o sea de color marrón pajizo. El macho es ligeramente más oscuro que la hembra. Cuando están en reposo, sobre las alas se observa un par de venas muy notorias que forman una "V" invertida, que en las hembras es de color marrón oscuro y en los machos es menos visible (Figura 25.1). Otra característica de las hembras está en la punta de las alas anteriores, que es ligeramente arqueada, lo que no ocurre en los machos. La envergadura alar de los machos es de 45 mm, en promedio, mientras que para las hembras es de 50 mm. La relación de sexos es de 1:1. La polilla es de vuelo rápido y en el día se posan sobre el follaje de las plantas, cuando se intenta capturarlas se dejan caer semejando una hoja seca, pero cuando llegan al suelo emprenden el vuelo. Este medidor es de hábitos nocturnos, se observan en cópula temprano en las mañanas, en lugares oscuros y ovipositan en el follaje (Bustillo, 1976a).

Las hembras adultas depositan masas de huevos en el follaje (Figura 25.2), que pueden contener entre 50 y 200 huevos, pero durante su vida pueden depositar alrededor de 1.000 huevos. Los huevos son esféricos, presentan coloraciones amarillas que se tornan a un color rojo y próximas a emerger la larva son de color gris oscuro.

Figura 25.1. Adultos de *Oxydia trychiata* copulando en el suelo, observe un macho a la izquierda y la hembra a la derecha (Foto A. Bustillo).

Figura 25.2. Grupo de huevos de *Oxydia trychiata* sobre el follaje de una planta (Foto A. Bustillo).

Figura 25.3. Larva del defoliador gigante, *Oxydia trychiata* mimetizada con la rama (Foto A. Bustillo).

Figura 25.4. Pupas de *Oxydia trychiata* en el suelo (Foto A. Bustillo).

Al cabo de unos 8 a 10 días emergen las larvas, que atraviesan por 5 a 7 ínstares, las cuales se alimentan de las hojas de los cafetos infestados. La larva madura es de color marrón claro a oscuro, cabeza marrón oscura y presentan varios pares de tubérculos setales bien desarrollados, pero siempre con un par sobresaliendo hacia la parte posterior. En reposo permanecen rígidas sobre las ramas en forma mimética (Figura 25.3).

El estado larval dura aproximadamente 60 días y las larvas maduras son de color verdoso cuando jóvenes y luego se toman coloraciones marrones. Alcanza una longitud de 60 mm. Cuando completan su desarrollo se descuelgan al suelo para empupar.

La pupa es del tipo obtecta (Figura 25.4) de color marrón oscuro sin brillo y el cremaster es bifurcado, tienen una longitud de 2,8 cm, en promedio, y toma entre 26 y 30 días para que emerja el adulto. El ciclo, desde la eclosión del huevo hasta emergencia del adulto, toma cerca de 90 días (Bustillo, 1976a, 1977).

La mayoría de estas especies se mimetizan en su hábitat, pasando sus estados de larva y adultos desapercibidos.

Daño

La especie *O. vesulia* causó graves defoliaciones en cafetales en el Quindío, en 1969 (Benavides *et al.*, 1969). El daño se manifiesta al consumir el follaje de los árboles, causando defoliación. En infestaciones severas pueden causar la defoliación total de los árboles de café, pero aunque éstos se pueden recuperar, puede registrarse una completa pérdida de la cosecha, si el ataque ocurre en un estado temprano del desarrollo del fruto.

El medidor del ciprés, *Glena bisulca* (Rindge) (Lepidoptera: Geometridae)

Sinonimia: *Catoria unipennaria* Rindge

Con menor frecuencia se han registrado brotes de las especies *Paragonia procidaria* Herrich – Schaefer y *Apicia* sp. (Figura 25.5), especialmente en cafetales en donde se abusa del control químico para el manejo de la broca o el minador. Sin embargo, las defoliaciones causadas por *Glena bisulca* (Rindge) son de mayor magnitud. *G. bisulca* es una plaga

Figura 25.5. Larva de *Apicia* sp., defoliador ocasional en plantaciones de café (Foto: A. Bustillo).

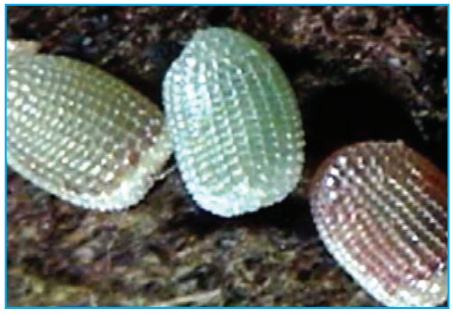


Figura 25.6. Huevos de *Glena bisulca* colocados cripticamente en el tronco del árbol (Foto A. Bustillo,).

Figura 25.7. Larva de último instar de *Glena bisulca* sobre el follaje de ciprés (Foto A. Bustillo).

Figura 25.8. Adultos de *Glena bisulca* posados en el tronco de un árbol de café (Foto A. Bustillo).

importante de coníferas, especialmente ciprés y pino pátula, pero también puede atacar eucaliptos. En algunos casos, en donde hay cafetales adyacentes a estas plantaciones, los insectos pueden migrar al cafetal y defoliarlo completamente.

Descripción e historia de vida

Los adultos de *G. bisulca* colocan los huevos (Figura 25.6) en la corteza de los árboles debajo de las escamas o resquicios, es decir, no son visibles. Los huevos son ovalados, con estriaciones longitudinales y recién depositados son verdosos y toman una coloración grisácea al momento de la eclosión, la cual demora alrededor de 5 días. La larva atraviesa por 5 ó 6 ínstares y toma coloraciones verdosas a marrón claro durante su desarrollo, este estado puede durar aproximadamente 35 días (Figura 25.7). Para empupar la larva fabrica un hilo con el cual se descuelga al suelo. La pupa es del tipo obtecta, de color marrón oscuro brillante y al cabo de unos 25 días emergen los adultos. Los adultos son polillas blancas con marcas negras en todas las alas, que les dan un aspecto grisáceo y un gran mimetismo cuando se posan en los troncos de los árboles, en donde permanecen en reposo durante el día (Figura 25.8); son de hábitos nocturnos y durante la noche copulan y colocan los huevos. El ciclo de huevo a emergencia de adultos, bajo condiciones de la zona cafetera (21°C), toma alrededor de 70 días (Bustillo, 1976b).

Daño

El daño, como en el caso de las especies de *Oxydia*, lo ocasionan las larvas cuando se están alimentando. Se han observado lotes de cafetos completamente defoliados por la acción de *G. bisulca,* los cuales han perdido totalmente la cosecha al "palotearse" el árbol (Figura 25.9). Afortunadamente esta plaga no prospera a otras generaciones y sucumbe por acción de sus enemigos nativos.

Manejo de poblaciones

Los ataques de defoliadores en los cafetales causan daños económicos y esto se debe principalmente al abuso o uso indiscriminado de insecticidas químicos para el control de otras plagas, los cuales eliminan sus enemigos nativos. Por lo tanto, dada la fauna benéfica tan abundante que tienen estas plagas, no se recomienda el control con insecticidas químicos. Se ha demostrado que esta fauna es capaz de

Figura 25.9. Árboles de café defoliados por *Glena bisulca* (Foto: A. Bustillo).

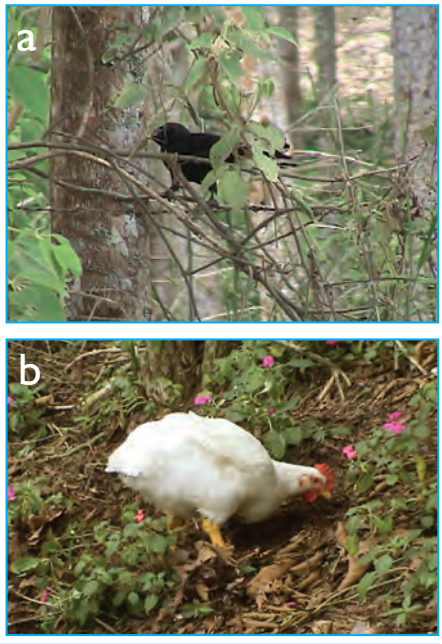


Figura 25.10. a. ave predando sobre adultos **b.** gallina consumiendo pupas en el suelo del defoliador *Glena bisulca* en Colombia. (Foto: A. Bustillo).

Figura 25.11. Larva de *Oxydia trychiata* infectada con un virus poliédrico granuloso. (Foto A. Bustillo).

mantener las poblaciones de los defoliadores a niveles que no causen daño económico (Bustillo y Drooz, 1978).

Estos insectos tienen muchos enemigos entre los grupos de parasitoides predadores y entomopatógenos. Entre los parasitoides, los más importantes son los que atacan el estado de huevo, es común encontrar especies de los géneros *Telenomus* y *Trichogramma*. También se encuentran especies de *Apanteles, Cotesia* y *Casinaria* atacando las larvas de primeros ínstares. En los estados de larva y pupa existe una gama importante de avispas de la familia Ichneumonidae y moscas de la familia Tachinidae realizando el control de estos estados (Bustillo, 1978; Bustillo y Drooz, 1978). Las aves realizan una labor importante en la depredación de adultos y también sobre pupas en el suelo (Figura 25.10).

Es común encontrar entomopatógenos tales como virus poliédricos (Figura 25.11) y hongos del género *Cordyceps*. Si las poblaciones están fuera de control se recomiendan aspersiones con formulaciones de *Bacillus thuringiensis* y del hongo *Beauveria bassiana,* además de liberaciones de parasitoides de huevos como *Telenomus alsophilae* (Drooz *et al.,* 1977; Bustillo y Drooz, 1977).

Literatura citada

BENAVIDES G., M.; SALDARRIAGA, A.; ZENNER - POLANÍA, I. 1969. Gusano medidor del cafeto. Hoja Divulgativa No. 003. ICA, Programa de Entomología, Bogotá, Colombia, 2 p.

BENAVIDES G., M. 1974. Gusanos medidores en cafetales. Avances Técnicos Cenicafé, No. 33, Chinchiná, Colombia, 4 p.

BUSTILLO, A. E. 1976a. Estudio biológico del medidor gigante *Oxydia trychiata*, plaga de coníferas en Colombia. Revista Colombiana de Entomología, 2 (2): 41-61.

BUSTILLO, A. E. 1976b. Diferencias en el ciclo de vida e incidencia en el número de ínstares del *Glena bisulca* (Lepidoptera: Geometridae) a diferentes temperaturas ambientales. Revista Colombiana de Entomología, 2 (3): 99-103.

BUSTILLO, A. E. 1977. Influencia de varias dietas naturales y de la temperatura en el desarrollo del *Oxydia trychiata*. Revista Colombiana de Entomología, 3 (1):1-6.

BUSTILLO, A. E. 1978. Manejo integrado de plagas forestales en Colombia. *In*: Seminario sobre manejo de plaguicidas y protección del ambiente. Bogotá, febrero 13-17 de 1978, p. 251-264.

BUSTILLO, A. E. 1979. ¿Qué causa los brotes de *Glena bisulca*?. Recomendaciones sobre su manejo. *In*: Seminario sobre plagas forestales en Colombia. SOCOLEN, Seccional Antioquia, Medellín, septiembre 6-7 de 1979.

BUSTILLO, A. E.; DROOZ, A. T. 1977. Cooperative establishment of a Virginia (USA) strain of *Telenomus alsophilae* on *Oxydia trychiata* in Colombia. Journal of Economic Entomology, 70 (6): 767-770.

BUSTILLO, A. E.; DROOZ, A. T. 1978. Control biológico del gusano medidor gigante del ciprés. Plegable de Divulgación No. 127. ICA, Regional No. 4, Medellín, 12 p.

CÁRDENAS, R. 1976. Biología del gusano medidor del cafeto. Revista Cenicafé, 27 (1): 45 – 48.

DROOZ, A. T.; BUSTILLO, A. E.; FEDDE, G. F.; FEDDE, V. H. 1977. North American egg parasite successfully controls a different host genus in South America. Science Vol. 197, July 22, 1977, p. 390-391.

WHEATLEY, P. E. 1963. The giant coffee looper, *Ascotis selenaria reciprocaria*. East African Agric. For. Journal, 29: 143 – 146.

CAPÍTULO 26

El minador de la hoja del cafeto, *Leucoptera coffeellum* (Guérin-Méneville) (Lepidoptera: Lyonetiidae)

Álex Enrique Bustillo Pardey

Sinonimia: *Elachista coffeella* Guérin – Meneville 1842, *Leucoptera coffeella* (Guérin – Meneville) 1895. (Roba, 1936), *Perileucoptera coffeella* (Guérin – Meneville).

Varios autores han discutido la validez del nombre científico del minador de la hoja del cafeto, *Leucoptera coffeellum* (Guérin – Meneville), pero se ha llegado a la conclusión de que ni el género *Perileucoptera* ni la especie *coffeella* son apropiados (Cantor y Cárdenas, 2001). Este insecto fue descrito en 1842, de especímenes recolectados en Guadalupe y Martinica, y sólo se lo ha encontrado en cafetales de Centro y Suramérica.

Existen otras tres especies de *Leucoptera* que se alimentan de las hojas del cafeto en África, éstas son: *L. meyricki* (Guesquiere), *L. coma* (Guesquiere) y *L. caffeina* Washbourn. La única especie registrada en Asia es *L. caffeina* (Crowe, 1964, 2004; Lan y Wintgens, 2004).

Descripción e historia de vida

Figura 26.1. Adulto del minador de la hoja del café, *Leucoptera coffeellum*.

Leucoptera coffeellum es una plaga muy importante en la mayoría de las regiones cafeteras de América, se considera monófaga, debido a que sólo es capaz de atacar plantas de café, y su nombre se deriva de la capacidad que tienen de formar minas o galerías en la epidermis de la hoja, como consecuencia ocurre la destrucción del tejido de empalizada por la alimentación de las larvas.

La biología y los hábitos de *L. coffeellum* han sido estudiados en varias partes de América, como Brasil (Guerreiro, 2006), Colombia (Roba, 1936; Reyes, 1973; Cárdenas y Benavides, 1974; Cárdenas 1991) y Centro América (Carrillo y Campos, 1990). Un recuento de estos estudios se presenta a continuación:

El adulto de *L. coffeellum* (Figura 26.1) es un microlepidóptero de hábitos crepusculares. Los adultos son pequeñas polillas blanco plateadas con bordes de color café oscuro en la punta de las alas, poseen antenas largas del tamaño de su cuerpo y miden de 2 a 3 mm en longitud y 6,5 mm de envergadura. Este insecto presenta dimorfismo sexual con una relación de sexos de 1:1.

Las hembras adultas de *L. coffeellum*, depositan los huevos individualmente en la haz de las hojas de café. El huevo tiene un aspecto gelatinoso, es ovalado y translúcido, y es difícil de observar a simple vista. La duración del estado de huevo es de 6 a 10 días.

Después de la emergencia, las larvas de *L. coffeellum* penetran en el tejido de la hoja por la parte inferior del huevo, la cual está en contacto con la epidermis de la hoja. El minador pasa por cuatro ínstares larvales,

Figura 26.2. Larva de *Leucoptera coffeellum*, removida de la mina en una hoja de cafeto (Foto: J. C. Ortiz).

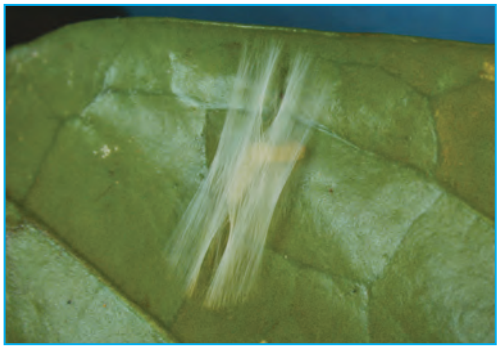


Figura 26.3. Larva de *Leucoptera coffeellum*, construyenado el pupario sobre una hoja de cafeto (Foto: J. C. Ortiz).

Figura 26.4. Daño al follaje del café causado por el minador de las hojas *Leucoptera coffeellum*. (Foto: A. Bustillo)

el estado de larva dura entre 16 a 26 días, a temperaturas de 20ºC, en promedio, y permanecen todo el tiempo dentro de las minas que hacen en las hojas. Las larvas completamente desarrolladas miden cerca de 5 mm de largo (Figura 26.2).

Una vez completa el estado larval, la larva sale de la mina y empupa sobre la hoja, tejiendo previamente un capullo blanco entrelazado en forma de equis (X) en el envés de la hoja (Figura 26.3). Generalmente, la mayoría de las pupas se encuentran en el tercio inferior de la planta. Algunas larvas pueden descolgarse al suelo donde empupan, con la ayuda de un hilo que secretan. El estado de pupa dura cerca de 14 días a 20ºC. El ciclo total de *L. coffeellum*, en función de los cambios de temperatura, varía entre 30 y 45 días en cafetales con temperaturas de 20 a 22°C.

En el campo, los adultos del minador se alimentan de la mielecilla producida por muchas arvenses. La cópula ocurre en la noche, aunque también puede ocurrir en las mañanas. Durante el día se los observa reposando en el envés de las hojas y cuando se disturban realizan vuelos cortos.

El período de preoviposición es de 3,6 días para las hembras que se mantienen a 20ºC. Se ha observado que el insecto no oviposita en zonas con temperaturas por debajo de 18ºC. El número de huevos por hembra es bastante variable, en promedio las hembras colocan 75 huevos en 13 días, y la mayoría de los huevos los colocan al cabo del cuarto día.

Daño

Los brotes de este insecto son comunes en plantaciones de café localizadas a bajas altitudes (< 1.200 m), caracterizadas por ser calientes. Durante épocas secas y cuando se aplican insecticidas a menudo se presentan incrementos notables en las poblaciones del minador.

Muy pronto, después de la emergencia, las larvas perforan la parte superior de la epidermis de la hoja y penetran el mesófilo, alimentándose del tejido de empalizada. Las lesiones que se forman entre la epidermis, también llamadas galerías o minas, tienen formas irregulares en los márgenes, son pálidas a amarillas y luego se tornan de marrones (Figura 26.4).

La superficie necrosada de la hoja reduce la fotosíntesis y la reducción de la producción se debe principalmente a la pérdida de la hoja, provocada por el incremento en el nivel de etileno, principalmente cuando las lesiones están cercanas al pecíolo.

La caída de las hojas minadas es más grande en el tercio superior de la planta y las pérdidas en la producción están directamente relacionadas a la intensidad del ataque y con el período en el cual ocurren. Además del daño directo, un ataque intensivo de *L. coffeellum* provoca el debilitamiento de las plantas. Se estima que una pérdida del 61% de las hojas causa una reducción del 70% de materia seca en el tronco, 60% en las raíces y 50% de la actividad fotosintética en el resto de las hojas.

Manejo de poblaciones

El minador del café se ha vuelto una plaga importante debido al uso irracional de plaguicidas como insecticidas y fungicidas, que eliminan muchos de sus enemigos nativos que habitan en los cafetales. Esto ha sido bien documentado en muchas zonas cafeteras de África y América. Su abundancia es también favorecida durante los períodos secos en sitios con altas temperaturas. Sus ataques son comunes en cultivos localizados por debajo de 1.200 m. Su monitoreo se puede facilitar con el uso de trampas con feromonas que han sido desarrolladas recientemente (Bacca *et al*. 2006).

Las poblaciones se reducen por la acción combinada de las épocas lluviosas y un complejo de enemigos nativos. Entre los predadores se encuentran las avispas *Polybia* spp. y *Polistes* spp., que atacan las larvas dentro de las minas. Por esto es importante favorecer la nidificación de estas avispas. También se observan con frecuencia ninfas de *Chrysoperla externa*, depredando las pupas en formación. Las larvas del minador son atacadas por un complejo de parasitoides considerados los principales reguladores de sus poblaciones, entre éstos se han registrado en Colombia: *Closterocerus coffeellae, Horismenus* sp., *Pnigalio sarasolai, Zagrammosoma zebralineatum, Elachertus* sp., *Aprostocetus* y *Chrysocharis* sp. También ocasionalmente se han encontrado especímenes de adultos del minador infectados por el hongo *Beauveria bassian*a (Cárdenas, 1991).

El fomento de esta fauna benéfica junto con el uso racional de plaguicidas y el mantenimiento de arvenses, cubriendo el suelo de los cafetales, son prácticas muy importantes para que las poblaciones de estos insectos no prosperen.

Si la fauna de controladores naturales está ausente, se pueden tratar los focos con un insecticida sistémico en formulación granular incorporado al suelo, de manera que no afecte a la avifauna de los cafetales (Cárdenas y Posada, 2001), aplicado con un tiempo prudencial o de carencia antes de la cosecha para evitar residuos en el producto final.

Literatura citada

BACCA, T.; LIMA, E. R.; PICANÇO, M. C.; GUEDES, R. N. C.; VIANA, J. H. 2006. Optimum spacing of pheromone traps for monitoring the coffee leaf miner *Leucoptera coffeella*. Entomologia Experimentalis et Applicata, 119: 39-45.

CANTOR, F.; CÁRDENAS, R. 2001. Aclaraciones sobre el nombre científico del minador del café. Revista Colombiana de Entomología, 27 (1-2): 87-88.

CÁRDENAS, R. 1991. El minador de las hojas del cafeto. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Subgerencia General Técnica, Cenicafé, Chinchiná, Colombia, Boletín Técnico No. 14, 31 p.

CÁRDENAS, R.; BENAVIDES G., M. 1974. El minador de la hoja del cafeto (*Leucoptera coffeella*). Avances Técnicos Cenicafé, No. 35, Chinchiná, Colombia. 4 p.

CÁRDENAS, R.; POSADA, F. J. 2001. Los insectos y otros habitantes de cafetales y platanales. Comité Departamental de Cafeteros del Quindío y Cenicafé. Armenia, Colombia. 120 p.

CARRILLO, E.; CAMPOS, O. 1990. Manejo integrado del minador de la hoja del cafeto, *Leucoptera coffeella* (Guer. – Men). Anacafe, Subgerencia de Asuntos Agrícolas, Guatemala, Boletín de divulgación, 6 p.

CROWE, T. J. 1964. Coffee leaf miners in Kenya. Species and life histories. Kenya Coffee, 29: 222 – 227.

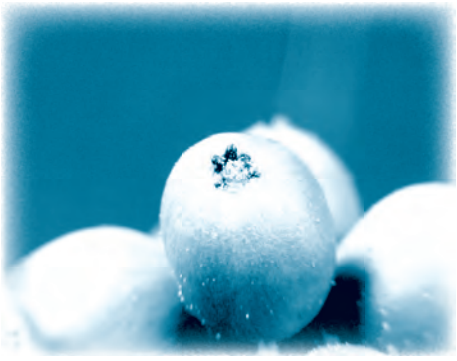
CROWE, T. J. 2004. Coffee pests in Africa. *In*: Coffee: Growing, processing, sustainable production. Part II: Pests and diseases. Ed. J. N. Wintgens, Wiley – VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. p. 421 – 458.

GUERREIRO, O. 2006. Coffee leaf miner resistance. Braz. J. Plant Physiol., 18 (1): 109-117.

LAN, C. C.; WINTGENS, J. N. 2004. Major pests of coffee in the Asia – Pacific Region. *In*: Coffee: Growing, processing, sustainable production. Part II: Pests and diseases. Ed. J. N. Wintgens, Wiley – VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. p. 459 – 473.

REYES, J. A. 1973. Fertilidad, fecundidad, longevidad y vigor sexual de *Leucoptera coffeella* Guerin (Lepidoptera: Lyonetiidae). Acta Agronómica (Colombia), 23 (3 – 4): 19 – 26.

ROBA, R. P. 1936. El minador de las hojas del cafeto *Leucoptera coffeella* Guer. Revista Cafetalera de Colombia, 6: 2035 – 2039.



CAPÍTULO 27

La broca de la cereza del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) Coleoptera: Scolytinae)

Álex Enrique Bustillo Pardey

Sinonimia: *Cryphalus hampei* Ferrari, 1867; *Stephanoderes coffeae* Hagedorn, 1910; *Xyleborus coffeivorus* Van Der Weele, 1910; *Xyleborus coffeicola* Campos Novaes, 1922; *Stephanoderes hampei* (Ferrari) (Ticheler, 1963).

Descripción e historia de vida

Figura 27.1. Adulto de *Hypothenemus hampei*, iniciando el ataque de un fruto (Foto. J. C. Ortiz).

La broca del café, *Hypothenemus hampei*, es la plaga más importante en todos los países donde se cultiva el café. Se distribuyó desde África Central, donde se cree que se originó, atravesando África, Asia y Centro y Sur América, por medio del comercio de este grano. En América llegó a Brasil alrededor de 1913. En 1960 se encontró en Perú, en Guatemala en 1971, en Honduras en 1977, en México y Jamaica en 1978, en El Salvador y Ecuador en 1981, en Colombia en 1988, en Nicaragua y Cuba en 1990, en Venezuela en 1995, en Costa Rica en 2000, en República Dominicana en 2004 y en Panamá en 2005 (Bustillo, 2006). El último registro indica su detección en Puerto Rico, en agosto de 2007.

La broca del café es un Scolytinae negro muy pequeño, mide 1,5 mm en longitud, todos sus estados inmaduros se desarrollan dentro de la cereza del café. La hembra adulta es más grande y robusta que el macho. La relación de sexos favorece a las hembras, en una proporción de 10:1. Los machos copulan con las hembras en el interior de la cereza, pero nunca salen de ésta, no son capaces de volar ni de perforar un fruto de café. El macho vive entre 50 y 75 días, mientras que la hembra puede sobrevivir de 100 a 150 días. La hembra de la broca entra en la cereza por medio de un orificio que ella hace en lo que se conoce como el ombligo del fruto de café (Figura 27.1) (Bustillo *et al.,* 1998).

Una vez adentro, la hembra de la broca hace túneles y deposita huevos a razón de 2 a 3 por día, durante un mes, aproximadamente. El ciclo de vida en cafetales con un promedio de temperatura de 21°C es como sigue:

Los huevos eclosionan en 8 días. Las larvas son blancas, apodas y se alimentan del endospermo del fruto, causando su deterioro comercial o reduciendo su calidad en taza. El estado larval pasa por dos ínstares y dura aproximadamente 25 días. El estado de pupa dura 15 días (Figura 27.2). El desarrollo completo de huevo a emergencia de los adultos de la broca toma de 45 a 60 días, bajo condiciones de 21°C y 18°C, respectivamente (Bustillo, 2006).

Las hembras fertilizadas emergen y vuelan a buscar frutos de café para penetrarlos, depositar huevos e iniciar un nuevo ciclo. Se estima que solo el 65% de todos los adultos emergidos están fertilizados y sólo éstos son capaces de colonizar exitosamente los frutos de café.

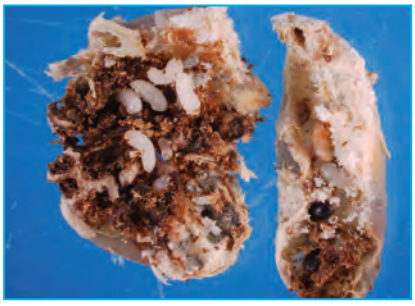


Figura 27.2. Daño dentro del fruto de café causado por las larvas de *Hypothenemus hampei* (Foto. J. C. Ortiz).

Los frutos de café de diferentes edades de desarrollo pueden ser atacados por la broca. Sin embargo, la broca sólo coloca huevos en aquellos frutos que tienen más del 20% de peso seco; en las regiones cafeteras de Colombia esta condición se alcanza entre los 120 y 150 días de desarrollo del fruto, después de la floración. Normalmente el tiempo óptimo para el ataque de la broca en la zona central cafetera es cuando los frutos tienen más de 150 días. La broca realiza la oviposición en estos frutos al cabo de 4 a 5 días de haber penetrado el fruto. Bajo estas condiciones, la broca sólo es capaz de tener dos generaciones durante el proceso de producción del cafeto (Bustillo, 2006), contrario a lo que se indica en la literatura, que en un año pueden presentar hasta siete generaciones.

Por lo general, la broca se dispersa con la ayuda de los cosecheros, pero la dispersión mediante el vuelo de los adultos también es importante, ya que la broca puede mantenerse en el aire hasta por tres horas y el viento la puede llevar a grandes distancias en corto tiempo. Para encontrar las plantas de café, la broca se guía inicialmente por los volátiles emitidos por la planta durante el proceso de desarrollo de los frutos. La orientación dentro de los cafetales también es asistida por la visión, prefiriendo ir a las cerezas rojas (Bustillo, 2005).

Daño

La broca del café causa el daño al perforar y depositar los huevos en el fruto. Las larvas emergen y se alimentan de la semilla de la cereza destruyéndola. El daño económico se da en dos formas: la caída prematura de los frutos jóvenes infestados por la broca, causando su pérdida total, y los frutos más desarrollados infestados que permanecen en el árbol hasta la cosecha, haciendo que ésta sea de menor valor comercial, mediante la disminución de su peso, y reduciendo la calidad de la taza de café. En el mundo se estima que la broca causa pérdidas anuales de 500 millones de dólares (Bustillo, 2006).

Manejo de poblaciones

La broca es difícil de controlarla con aspersiones de insecticidas, ya que gran parte de su ciclo de vida ocurre en el interior de los fruto, donde estos productos no pueden actuar, por lo tanto, se deben desarrollar otras estrategias de control (Villalba *et al*., 1995).

Los métodos de control cultural son la base para el manejo de sus poblaciones, se estima que pueden ser responsables entre el 65 y 75% de la reducción de sus poblaciones (Moreno *et al.,* 2001). Estos incluyen prácticas agronómicas de renovación de cafetales, podas apropiadas, manejo de arvenses, zoqueo a tiempo, evitar el escape de la broca durante la cosecha y en el beneficio del café, y lo más importante, practicar una buena cosecha de todos los frutos maduros para evitar que caigan. En algunos países se recomienda recolectar los frutos caídos, al final de la cosecha, pero esto es laborioso y muy costoso. Por lo tanto, para el manejo de las poblaciones de *H. hampei*, es deseable una muy cuidadosa cosecha del café, sin dejar frutos maduros en los árboles y evitando la caída de frutos al suelo (Benavides *et al*., 2002; Bustillo, 2002).

El enfoque del manejo integrado del cultivo del café es la mejor estrategia para reducir las poblaciones de la broca, a bajos umbrales de daño económico (Bustillo *et al*., 1995, 1998; Benavides y Arévalo, 2002). Ni la aplicación de insecticidas químicos, ni los métodos de control cultural y biológico han probado ser lo suficientemente efectivos, cuando se utilizan como únicos métodos de control (Villalba *et al*., 1995; Bustillo, 2002). Sin embargo, cada uno puede tener una contribución importante en un programa de MIP. Los métodos a usar incluyen el monitoreo del insecto, las buenas prácticas de cosecha, evitar el escape de la broca durante el beneficio del café, la introducción de agentes de control biológico, el desarrollo de estrategias de aumento y liberación de benéficos, y la integración de prácticas culturales tales como el Re-Re y el uso del hongo *Beauveria bassiana* para el control de la broca. Cuando sea necesario, se pueden aplicar insecticidas

Figura 27.3. Adultos de *Cephalonomia stephanoderis* emergiendo de granos de café pergamino infestado por *H. hampei* (Foto: A. Bustillo)

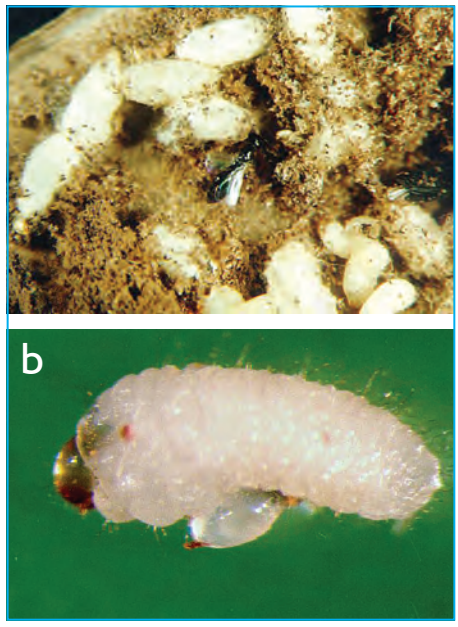


Figura 27.4. a. capullos de *C. stephanoderis* dentro del fruto de café infestado por *H. hampei*. **b.** larva de *H. hampei* siendo parasitada por una larva de *C. stephanoderis* (Fotos: A. Bustillo)

Figura 27.5. Adulto de *Phymastichus coffea*, parasitando un adulto de *H. hampei* (Foto L. M. Constantino).

Figura 27.6. Adulto de *Hypothenemus hampei* parasitado por *Beauveria bassiana* al penetrar el fruto de café (Foto L. M. Constantino).

apropiados, bajo la supervisión de personal técnico y con operarios capacitados (Bustillo, 2002).

Varios parasitoides atacan la broca del café en África, éstos han sido traídos a Colombia y producidos masivamente para su liberación en los cafetales colombianos. La especie *Cephalonomia stephanoderis* fue la primera en liberarse masivamente (Figuras 27.3 y 27.4) y posteriormente *Prorops nasuta* se crió masivamente en el laboratorio para liberarla en cafetales. El parasitoide de adultos, *Phymastichus coffea*, fue la tercera especie producida masivamente y utilizada en el control de la broca. Esta especie complementa la actividad de las otras dos, ya que ataca el estado adulto de la broca (Figura 27.5). Así mismo, se emplea como controlador biológico el hongo entomopatógeno, *B. bassiana*, que ataca directamente el adulto de la broca al momento de penetrar el fruto (Figura 27.6). Los cuatro organismos benéficos se han puesto a disposición de los caficultores colombianos para que los puedan utilizar en un plan de manejo del cultivo, con el fin de mantener las poblaciones de broca en niveles que no causen daño económico (Aristizábal *et al*., 1998; Benavides *et al.,* 1994; Bernal *et al*., 1994; Bustillo y Posada, 1996; Jaramillo *et al*., 2005; Portilla, 2000).

Literatura citada

ARISTIZÁBAL, L. F.; BUSTILLO, A. E.; OROZCO, J.; CHAVES, B. 1998. Efecto del parasitoide *Cephalonomia stephanoderis* (Hymenoptera: Bethylidae) sobre las poblaciones de *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) durante y después de la cosecha. Revista Colombiana de Entomología, 24 (3-4): 149-155.

BENAVIDES, P.; ARÉVALO, H. 2002. Manejo integrado: una estrategia para el control de la broca del café en Colombia. Revista Cenicafé (Colombia), 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

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.

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, 40p.

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 Sociedad Colombiana de Entomología, Socolen, Ibagué 27 – 29 de julio 2005. 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.; VILLALBA, D. A.; 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.; CÁRDENAS, R.; VILLALBA, D. A.; BENAVIDES, P.; OROZCO, J.; POSADA, F. J. 1998. Manejo integrado de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) en Colombia. Chinchiná, Cenicafé. Editorial Feriva S. A., Cali, Colombia, 134 p.

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.

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 Cenicafé (Colombia), 52 (2): 111 – 116.

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.

TICHELER, J. H. G. 1961. Estudio analítico de la epidemiología del escolítido de los granos de café, *Stephanoderes hampei* Ferr., en Costa de Marfil. Traducción: G. Quiceno H. Revista Cenicafé (Colombia), 14 (4): 223 – 294.

VILLALBA, D. A.; BUSTILLO, A. E.; CHÁVES, B. 1995. Evaluación de insecticidas para el control de la broca del café en Colombia. Revista Cenicafé (Colombia), 46 (3): 152-163.

CAPÍTULO 28

El perforador de las ramas, *Xylosandrus morigerus* (Blandford) (Coleoptera: Scolytinae)

Álex Enrique Bustillo Pardey

Xylosandrus morigerus (Blandford) está presente en el mundo en todas las áreas donde se cultiva café. Es una plaga polífaga, que afecta otros cultivos de importancia económica. En Colombia se ha registrado su ataque en aguacate, cacao, guandul, orquídeas y vid, además del cafeto (ICA, 1989).

Sinonimia: *Xyleborus coffeae* Wurth, *Xyleborus morigerus* Blandford, *Xylosandrus coffeae* (Wurth), *Xylosandrus luzonicus* (Eggers).

Descripción e historia de vida

La hembra adulta de *X. morigerus* es de color marrón brillante, con una longitud cercana a los 2 mm, presenta estrías en todo el cuerpo y en los élitros, con puntuaciones claramente impresas en surcos (Figura 28.1).

Las hembras fecundadas abandonan durante el día la galería en donde se desarrollaron y buscan ramas o brotes para perforarlos e iniciar nuevas galerías. El insecto hace un orificio de penetración de 1 mm de diámetro, por lo general en la parte inferior de las ramas, una vez ha barrenado la rama y hacia su parte media, forma una cámara, en la cual deposita los huevos en grupos irregulares. Al perforador le toma cerca de 1 a 3 días para barrenar la rama. Una hembra puede colocar entre 20 a 60 huevos durante 8 a 10 días. Las larvas emergen 8 días más tarde, son blancas, ápodas y vermiformes. *X. morigerus* es un insecto micetófago y sus larvas se alimentan de una capa micelial del hongo ambrosia, *Ambrosiaemyces zailanicus*, que crece en el interior de la galería y es traído por la hembra fundadora (Barrera, 2007b; Benavides, 1961; Benavides y Orozco, 1989; Le Pelley, 1973).

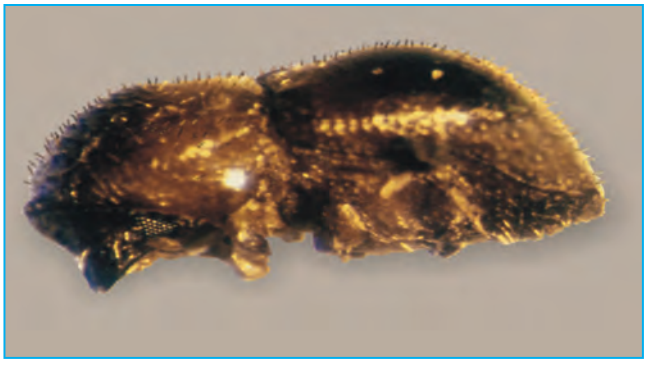


Figura 28.1. Vista lateral del perforador de las ramas del cafeto *Xylosandrus morigerus* (Tomado de: http://www.padil.gov.au.).

El estado de larva pasa por tres ínstares y dura cerca de 10 días, empupa y 10 días más tarde emerge un adulto de color marrón claro. El ciclo completo, de huevo a adulto es de 20 a 40 días. Normalmente, se encuentra un macho por cada 11 a 20 hembras. El apareamiento ocurre dentro o muy cerca de la galería, el macho no tiene alas y nunca deja el huésped en que se crió. La oviposición y expansión de la galería continúa por algún tiempo y esta galería puede llegar a contener hasta 80 descendientes, en varios estados de desarrollo. (Barrera 2007b; Benavides y Orozco, 1989).

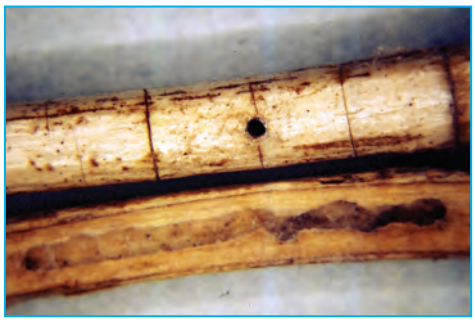


Figura 28.2. Daño causado por *Xylosandrus morigerus* en plantas de café (Tomado de: http://www2.tap-ecosur.edu.mx/mip/fotos/Taladrador%204.jpg).

Daño

El perforador de las ramas es capaz de atacar árboles de café vivos y puede causar daños importantes al barrenar las ramas y tornarlas quebradizas (Figura 28.2). Sin embargo, el daño principal es causado por la asociación con el hongo ambrosia, en los tejidos alrededor de las galerías; en ramas delgadas este hongo puede dispersarse rápidamente sobre la circunferencia de la rama, la cual finalmente se rompe. El daño se reconoce porque el árbol presenta hojas secas en el ápice de la rama infestada, y si la rama tiene frutos éstos son vanos. Cuando el ataque se presenta en varios árboles, éstos tienen las características de un paloteo (Benavides, 1961).

Manejo de poblaciones

El control cultural es la forma más eficiente de reducir las poblaciones de este perforador, mediante la poda de las ramas afectadas y posterior retiro de la plantación.

Sobre *X. morigerus* no se registran parasitoides nativos en algún país de América, aunque en Java se encontró *Tetrastichus xyleborus*. En Ecuador se ha registrado que este insecto ha sido depredado por las hormigas *Crematogaster* spp., *Leptothorax* spp., *Pheidole* spp., *Pseudomyrmex* spp., y *Solenopsis* spp. (Barrera, 2007b). Por otra parte, el hongo *Beauveria bassiana* se ha encontrado atacando adultos, tanto en Ecuador como en Colombia, sin embargo no hay información sobre programas de control biológico de esta plaga.

Literatura citada

BARRERA, J. F. 2007b. Proyecto Taladrador de las ramas del café robusta. Grupo de investigación de Ecosur en zonas cafetaleras. http://www2.tap-ecosur.edu.mx/mip/mip.htm.

BENAVIDES G., M. 1961. El *Xyleborus morigerus* Blandford en Colombia. Revista Cenicafé, 12 (1): 17 – 28.

BENAVIDES G., M.; OROZCO, J. 1989. El pasador de las ramas del cafeto. Cenicafé, Avances Técnicos No. 142, Chinchiná, Colombia. 4 p.

ICA. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. 1989. Lista de insectos dañinos y otras plagas en Colombia. Bol. Técnico No. 43, 4a edición, Bogotá, Colombia, 662 p.

LE PELLEY, R. H. 1973. Las plagas del café. Editorial Labor, S. A., Barcelona. Traducción: Subirana, Aliberas y León. 693 p.

CAPÍTULO 29

La hormiga loca, *Paratrechina fulva* (Mayr) (Hymenoptera: Formicidae)

Álex Enrique Bustillo Pardey y Zulma Nancy Gil Palacio

Sinonimia: *Prenolepis fulva* Mayr**,** *Nylanderia fulva* (Mayr).

Antecedentes

La hormiga loca, *Paratrechina fulva*, que debe su nombre común a que su desplazamiento es muy rápido y sin un rumbo definido, es un insecto introducido a Colombia en los años 70 del siglo pasado, con la esperanza de que sirviera como controlador biológico de la hormiga arriera, *Atta* spp., y de las serpientes en las zonas ganaderas (Zenner-Polanía, 1992). Esta hormiga es originaria del Brasil, país donde no es plaga, sino que es considerada como un enemigo natural muy eficiente de serpientes y de otras hormigas, que causan daños a cultivos agrícolas. En Colombia este insecto se ha constituido en una plaga seria, con repercusiones ambientales, sociales y económicas.

Distribución en Colombia

La hormiga loca se encontró inicialmente en los municipios de Fusagasugá, El Colegio y San Antonio del Tequendama (Cundinamarca). Posteriormente en Puerto Boyacá (Boyacá), Gamarra (Cesar), Sonsón (Antioquia), La Dorada (Caldas) y Anapoima (Cundinamarca), así como en barrios del Noroccidente de Bogotá. Los últimos registros la localizan en: Landázuri y Cimitarra (Santander), en Buga y Palmira (Valle del Cauca), y en la cuenca del río Suárez entre Barbosa, Santana y Moniquirá (Boyacá) (Cárdenas, 1982).

En la zona central cafetera se encontró en 1984, en Marsella (Risaralda), y en 2001 en el casco urbano y algunas fincas de Chinchiná, Palestina y Manizales (Caldas) (Posada *et al.*, 2002).

Todo lo anterior indica que la hormiga loca actualmente se encuentra distribuida en una vasta región de los departamentos de Cundinamarca, Valle del Cauca, Caldas, Antioquia, Santander y Boyacá, en un gradiente altitudinal de 150 a 2.600 m (Arcila *et al.,* 2002).

Descripción e historia de vida

A semejanza de los insectos sociales, la hormiga loca posee tres castas: reinas (Figura 29.1)., obreras y machos. Su reproducción es sexual y pasa por los estados de huevo, larva, pupa y adulto. Los huevos son ovoides, blancos, con una longitud de 0,3 mm y los deposita la reina en grupos de 17 a 25, en el suelo o debajo del material vegetal en descomposición. La larva es cilíndrica, blanca y alcanza 1,8 mm de largo. La pupa es de tipo exarata, blanca y con una longitud de 2,1 mm (Zenner-Polanía, 1992).

Las obreras presentan diferentes tonalidades de color marrón, tres ocelos pequeños, ojos compuestos, antena de 12 segmentos y las mandíbulas son más largas que la mitad de la cabeza (Figura 29.2). Los machos se distinguen de las obreras porque presentan dos pares de alas bien desarrolladas, el tórax es más robusto y el abdomen más largo y delgado, y tienen distintas tonalidades de marrón. El cuerpo está cubierto de muchas setas largas, y las patas y las antenas son largas. Las reinas son de color marrón, más oscuro que las obreras y los machos, y sus patas y antenas son largas. Las antenas tienen 12 segmentos (Zenner-Polanía, 1992).

Figura 29.1. Reina de la hormiga loca, *Paratrechina fulva* (Foto G. Hoyos).

Figura 29.2. Obrera de la hormiga loca, *Paratrechina fulva* (Foto G. Hoyos).

Figura 29.3. Nido de la hormiga loca, *Paratrechina fulva*.

Figura 29.4. Asociación entre insectos chupadores y la hormiga loca, *Paratrechina fulva*.

La biología y hábitos de *P. fulva* ha sido documentada por Arcila *et al.* (2002) y Gómez *et al.* (2002). Las obreras pasan por tres ínstares larvales mientras que los machos y las reinas pasan por cuatro ínstares. En la colonia, las obreras tienen la función de conseguir el alimento y atender todos los estados inmaduros, alimentándolos, limpiándolos y transportándolos a los sitios más apropiados para su desarrollo. El promedio de la duración de los estados de las obreras es como sigue: huevo de 9 a 21 días, larva entre 7 y 15 días, y pupa de 7 a 14 días. El estado larval de la reina toma de 43 a 70 días y la pupa entre 6 y 13 días.

Este insecto es poliginio, es decir que sus colonias tienen un número variable de reinas, a diferencia de otras especies de hormigas que sólo tienen una reina en el hormiguero. En relación con su reproducción se ha encontrado que hay mayor producción de huevos en colonias poliginias que en monoginias. Las colonias poliginias son más estables, con un menor porcentaje de mortalidad en el estado larval y más individuos llegan al estado adulto (Gómez *et al.,* 2002; Arcila *et al.,* 2002).

Las colonias de la hormiga loca también se caracterizan porque los individuos de una colonia pueden vivir o ser aceptados sin problema en otra colonia. La cópula entre reinas y machos ocurre en la colonia, sin vuelo nupcial. Una reina puede colocar una tasa de 21 huevos/día. Los huevos fecundados dan origen a obreras, pero si la colonia lo decide pueden producir reinas. Los huevos no fecundados dan origen a los machos. Cuando la colonia queda huérfana de reinas, éstas se pueden producir por medio de mecanismos no conocidos, utilizando cualquier tipo de larvas. Se ha encontrado que una colonia de hormiga loca se puede desplazar en un cultivo agrícola a una velocidad de 20 m por mes (Gómez *et al*., 2002).

En sus desplazamientos, una casta de obreras lleva consigo estados inmaduros (larvas y pupas), los cuales son descargados en sitios estratégicos dentro del área de invasión; se cree que estos desplazamientos los hacen para proveer una alimentación adecuada a las larvas. Tan pronto la colonia se molesta, todas las hormigas huyen llevando en sus mandíbulas larvas o pupas, las cuales descargan en otro punto de reunión (Zenner-Polanía, 1992).

La hormiga loca no construye nidos elaborados como la mayoría de las otras hormigas. Construye dos tipos de nidos, los transitorios y los permanentes (Figura 29.3). Los transitorios prevalecen durante la época de lluvia y áreas de reciente colonización. Se encuentran en cualquier sitio del suelo que esté protegido, sobre o entre la hojarasca. Los permanentes, siempre se encuentran en el suelo, en áreas bien drenadas y protegidas, prevalecen durante la época seca. Son sitios siempre ocupados por una colonia grande y abarcan áreas mayores a 1 m^2 de superficie y 40 cm de profundidad aproximadamente, de acuerdo con la edad del nido se pueden encontrar de 1 a 14 reinas (Zenner-Polanía, 1992).

La hormiga loca se alimenta de sustancias líquidas y sólidas. La porción líquida consiste en secreciones azucaradas de insectos chupadores (Figura 29.4), jugos de fruta y néctar de flores o de nectarios de ciertas

plantas, y la sólida de proteína animal. Estas hormigas guardan una asociación mutualista con varias especies de insectos chupadores que excretan sustancias azucaradas. La hormiga recibe el alimento de ellos y los insectos reciben protección del ataque de enemigos naturales (Zenner-Polanía y Ruiz, 1985).

La proteína la obtienen al alimentarse de otros insectos y animales como aves, animales domésticos, culebras y lagartijas. Las regiones colonizadas por la hormiga loca se caracterizan por una marcada reducción de insectos herbívoros, colonias de termitas y otras hormigas, y ausencia de aves, serpientes y lagartijas (Cárdenas y Posada, 2001).

Daño

Recientemente en la zona cafetera se han detectado ataques serios de la hormiga loca en cafetales. Esta hormiga no pica, sino que causa muchas molestias a los animales y al hombre al invadirlos por las fosas nasales, boca, oídos, ojos o cualquier herida que tengan. El daño que causa la hormiga a las plantas es indirecto y se debe a la simbiosis con insectos chupadores como: escamas, áfidos, moscas blancas. La hormiga traslada a lugares apropiados y protege a los chupadores de la fauna enemiga, logrando que sus poblaciones se incrementen considerablemente, causando una gran proliferación de fumagina y por ende reducción en la capacidad fotosintética de la planta. A su vez la hormiga se beneficia alimentándose de las excreciones azucaradas que ofrecen estos insectos.

En relación con la fauna, la hormiga loca por ser un depredador generalista, causa desequilibrio biológico del ecosistema al atacar todo tipo de animales, reducir la biodiversidad e influyendo negativamente sobre el empleo de la mano de obra humana en las explotaciones agrícolas.

Manejo de poblaciones

Los estudios hechos sobre el impacto de este insecto (Zenner-Polanía y Martínez, 1992) demuestran que el daño que causa sobrepasa los posibles efectos benéficos en el control de otras hormigas y serpientes. Por lo tanto, es importante establecer programas de control basados en estrategias de manejo que involucren toda una región en donde esté distribuida la plaga. Lo anterior se debe al continuo movimiento de la hormiga de un sitio a otro.

Posada *et al*. (2002) presentan varias acciones que se pueden implementar en la finca para reducir las poblaciones de la hormiga. En general, prácticas agrícolas adecuadas como desyerbas, podas y regulación del sombrío, desfavorecen las poblaciones de la hormiga, así como la remoción y destrucción de toda clase de basuras y residuos vegetales.

En un plan de manejo es importante, primero estar seguro de que se trata de la hormiga loca y realizar muestreos para su detección, usando trampas a las cuales son atraídas las hormigas, basadas en proteínas animales como atún, pescado y salchicha, en recipientes colocados en los lotes (Posada *et al.,* 2002). Estas se deben colocar en un número representativo, que cubra el área infestada en la finca.

Si las poblaciones son muy grandes es importante, inicialmente bajarlas aplicando insecticidas de contacto en todo el lote. Finalmente, estas medidas deben ir acompañadas de prácticas de manejo durante un período de unos tres meses con cebos. El uso de cebos ha sido evaluado por diferentes investigadores en el pasado (Zenner - Polanía y Ruiz, 1982; Chacón *et al*., 2000; Gutiérrez y Calderón, 1977; Gómez y Lastra, 1997). Estos se componen esencialmente de un portador que puede ser un salvado, al cual se le adiciona harina de pescado, que es altamente atractiva a la hormiga, además se le incorpora un insecticida de baja toxicidad en dosis bajas, para que pueda ser llevado por las hormigas al nido y así causar su muerte. En la actualidad el Instituto Colombiano Agropecuario-ICA recomienda el siguiente cebo[1], el cual ha dado resultados satisfactorios de control:
- 9 kg de salvado de trigo bien fino o bagazo de caña bien molido

[1] Comunicación personal con la Dra. Andrea Amalia Ramos, ICA, Sanidad Vegetal, Manizales, enero 2008.

- 3 kg de harina de pescado
- 150 cc de fipronil
- 5 L de agua

La preparación del cebo empieza con la mezcla del bagazo o mogolla con la harina de pescado, hasta lograr la homogeneización. Se recomienda molerlo para conseguir un menor tamaño de partícula, que facilita el transporte por las hormigas, luego se adiciona el fipronil, insecticida que actúa por contacto y por ingestión. Finalmente, se adiciona el agua y se mezcla todo hasta obtener el cebo de consistencia suelta, que permita su dispersión al voleo o en bandas.

Los cebos se deben aplicar hacia el final de las épocas lluviosas y durante el verano. El cebo se puede volver a aplicar unas dos o tres veces, con intervalos de un mes, monitoreando sus poblaciones con las trampas, para así lograr un control satisfactorio de esta plaga. La experiencia indica que después de un tiempo de su aparición y realizando estos controles, las poblaciones de la hormiga sucumben, posiblemente debido a factores climáticos o bióticos que se desconocen (Zenner-Polanía, 1992).

Literatura citada

ARCILA, A. M.; GÓMEZ, L. A.; ULLOA-CHACÓN, P. 2002. lmmature development and colony growth of crazy ant *Paratrechina fulva* under laboratory conditions (Hymenoptera: Formicidae). Sociobiology, (39): 2: 307 – 321.

CÁRDENAS, R. 1982. La hormiga loca. Avances Técnicos Cenicafé, No. 101, Chinchiná, Colombia 4 p.

CÁRDENAS, R.; POSADA, F. J. 2001. Los insectos y otros habitantes de cafetales y platanales. Comité Departamental de Cafeteros del Quindío - Cenicafé, Armenia (Colombia), p. 148-153.

CHACÓN DE ULLOA, P.; BUSTOS, J.; ALDANA, R. C.; BAENA, M. L. 2000. Control de la hormiga loca *Paratrechina fulva* (Hymenoptera: Formicidae) con cebos tóxicos en la Reserva Natural Laguna de Sonso (Valle, Colombia). Revista Colombiana de Entomología, 26 (3-4): 151 - 156.

GÓMEZ, L. A.; ARCILA, A. M.; LASTRA, L. A.; CHACÓN, P. A. 2002. Algunas bases biológicas para el manejo de la hormiga loca, *Paratrechina fulva* (Hymenoptera: Formicidae). Carta Trimestral, Cenicaña, 24 (1): 12 – 13.

GÓMEZ. L. A.; LASTRA, L. A. 1997. Avances en el manejo de la "hormiga loca" *Paratrechina fulva* (Hymenoptera: Formicidae) en el cultivo de la caña de azúcar, Memorias IV Congreso Colombiano de la Asociación de Técnicos de la Caña de Azúcar. TECNICAÑA, Cali, Colombia, p. 121 - 131.

GUTIÉRREZ, Y.; CALDERÓN, H. 1997. Uso de bagacillo como componente del cebo para el control de Hormiga loca *Paratrechina fulva* (Mayr) (Hymenoptera: Formicidae). Memorias IV Congreso Colombiano de la Asociación de Técnicos de la Caña de Azúcar. TECNICAÑA, Cali, Colombia, p. 63-73.

POSADA, F. J.; VÉLEZ, M.; HOYOS, J.; CÁRDENAS, R.; PELÁEZ, J. J. 2002. Reaparece la hormiga loca, *Paratrechina fulva*, en la zona central cafetera. Avances Técnicos No. 302, Cenicafé, Chinchiná, Colombia), 8 p.

ZENNER-POLANÍA, I. 1992. Aspectos biológicos y manejo de la hormiga loca. *In:* Seminario: Hormigas: características, daños y manejo. Memorias: Miscelánea Sociedad Colombiana de Entomología, No. 24, Palmira, Colombia, p. 32 – 41.

ZENNER-POLANÍA, I.; MARTÍNEZ, O. 1992. Impacto ecológico de la hormiga loca, *Paratrechina fulva* (Mayr), en el Municipio de Cimitarra (Santander). Revista Colombiana de Entomología, 18 (1): 14-22.

ZENNER-POLANÍA, I; RUIZ, N. 1982. Uso de cebos contra la hormiga loca *Nylanderia fulva* (Mayr) (Hymenoptera: Formicidae). Revista Colombiana de Entomología, 8 (1-2): 24-31.

ZENNER-POLANÍA, I; RUIZ, N. 1985. Hábitos alimenticios y relaciones simbióticas de la "hormiga loca" *Nylanderia fulva* con otros artrópodos. Revista Colombiana de Entomología, 11: 3- 10.

CAPÍTULO 30

La chinche de la Chamusquina del café *Monalonion velezangeli*, nueva plaga del café en Colombia

Hilary Johana Ramírez Cortés, Álex Enrique Bustillo Pardey,
Zulma Nancy Gil Palacio, Pablo Benavides Machado

Antecedentes

En la zona cafetera del departamento del Huila se ha registrado desde 1998 un disturbio no identificado antes, en cafetales de los municipios de La Plata, La Argentina, Paicol y El Pital el cual inicialmente fue atribuido a un daño por un hongo del género *Phoma*. El problema se inició en la vereda La Palma del municipio de La Plata y luego se dispersó al resto de los municipios señalados con anterioridad. La zona afectada se caracteriza porque pertenece al Ecotopo 213B y estos municipios se encuentran a lo largo de la Vertiente Oriental de la Cordillera Central, en la Serranía de Las Minas, la cual está influenciada por las corrientes frías del Parque Natural del Puracé. Es una zona limítrofe con el departamento del Cauca, con altas precipitaciones y humedades que pueden llegar al 97%. Las temperaturas durante el día se caracterizan porque son bajas en la mañana y en la noche, alrededor de los 15°C, y alcanzan los 22°C hacia el medio día. La caficultura afectada por este disturbio se encuentra entre 1.650 y 2.000 m de altitud (Campos, 2008).

El problema se ha observado en todas las variedades cultivadas en las regiones afectadas como son: Típica, Caturra y Variedad Castillo®, y la mayoría de los productores tienen planes de producir cafés especiales, son de escasos recursos y con una tenencia de tierra inferior a 1,5 ha, en promedio (Campos y Castro, 2007).

El daño se presenta en los brotes nuevos de las hojas, en donde se ven numerosas lesiones y, finalmente, éstas se secan y se rompe el tejido foliar. Las lesiones al unirse forman áreas grandes de tejido necrosado y dan la apariencia de hojas quemadas, razón por lo cual los agricultores la denominan "chamusquina". El disturbio induce a la planta a una producción continua de follaje, causando un menor crecimiento en las plantas y proliferación de hojas, pero con escasa formación de frutos.

El problema de la chamusquina en el Huila, permaneció mucho tiempo confinado a una área de cafetales muy pequeña, pero a partir del año 2000 se incrementó y empezó a causar alarma entre los caficultores, que debido a su desconocimiento, empezaron a aplicar fungicidas e insecticidas en forma indiscriminada para lograr su control, con resultados poco satisfactorios. Para el año 2007, se estimó que en estos municipios habían 22 veredas con cerca de 1.300 ha de cafetales afectados, en mayor o menor grado, por la chamusquina (Campos, 2008).

A comienzos del año 2008, el mismo disturbio se registró en cafetales de Roldanillo y Bolívar en el Valle del Cauca, localizados a alturas por encima de los 1.700 m. Los caficultores indican que la presencia de la chamusquina data de hace casi dos años. Se estima que en esta zona hay cerca de 28 ha de cafetales afectados por este problema y se relaciona con el incremento de cultivos de aguacate en zonas cercanas a los cafetales.

Debido al desconocimiento sobre las causas de la chamusquina, los estudios se enfocaron inicialmente a considerarlo como un problema fitopatológico, después de muchas pruebas no se pudo encontrar ningún agente causal, por lo tanto se procedió a probar la hipótesis de que se trataba de una reacción provocada por el ataque de un insecto chupador (Cenicafé, 2007). El estudio se llevó a cabo usando la estrategia de Investigación Participativa con Agricultores (IPA), para lo cual se aislaron árboles sanos y se dispusieron en

Figura 30.1. Hembra adulta de la chinche de la chamusquina, *M. velezangeli* (Foto L.M. Constantino).

Figura 30.2. Daño ocasionado por la chinche de la chamusquina en frutos de aguacate (Foto A. Bustillo).

jaulas, se realizaron muestreos de insectos en árboles afectados en varios municipios, se seleccionaron especies potenciales y se hicieron pruebas para la recuperación de síntomas en plantas sanas de café. Los resultados de esta investigación (Ramírez, 2008), permitieron determinar que el agente causal de la chamusquina, es una chinche perteneciente al género *Monalonion* del orden Hemiptera y la familia Miridae, a la cual se le dio el nombre común de "la chinche de la chamusquina del café" (Ramírez *et al*., 2008) (Figura 30.1). Este es el primer registro en el mundo de una especie de *Monalonion* atacando árboles de café.

El género *Monalonion* pertenece a la familia Miridae y es de distribución Neotropical, a donde parece estar confinado. Este género presenta características bien marcadas que evitan que sea confundido con cualquier otro de esa familia. La cabeza es ancha y flexionada en su parte anterior, el surco con el tórax es amplio, la unión basal de la antena es corta y robusta, las uniones siguientes se van adelgazando gradualmente y son notoriamente muy pilosas; el cuneo es mucho más largo que ancho (Herrich- Schaeffer, 1873; Distant, 1893). Hasta el momento existen al menos 16 especies de *Monalonion* descritas y son especialmente plagas en cacao, banano y aguacate, en Centro y Suramérica (Abreu, 1971; Carvalho, 1977; Villacorta, 1977; Vargas, 2005). En Colombia, en cacao se presentan las especies: *Monalonion annulipes* Signoret, *M. atratum* Distant, *M. collaris* Distant, *M. dissimulatum* Distant, *M. illustris* Distant y *M. megistan* Kirkaldy (ICA, 1989; Vélez, 1997). Sobre aguacate sólo se ha encontrado la especie *Monalonion velezangeli* (Carvalho y Costa) (Carvalho y Costa, 1988; Vélez, 1997; Quintero, 2006).

Monalonion velezangeli se registró por primera vez en el municipio de Jardín (Antioquia) en 1984, y más tarde se observó en Caldas, La Ceja, Rionegro, Santa Bárbara y Sonsón (Antioquia) (Arango *et al.,* 1991). En Villamaría (Caldas) en la finca "El Guamal", en un cultivo de aguacate localizado a 2.000 m de altura, este insecto es una plaga de importancia económica. La especie no está confinada solamente a aguacate, también se ha encontrado atacando mora de Castilla, *Rubus glaucus* Benth (Cárdenas y Posada, 2001). Todas estas zonas donde se encuentra la chinche están a alturas entre 1.800 y 2.100 m, son bastante frías, con altas precipitaciones y corresponden a la formación ecológica de bosque húmedo montano bajo.

En aguacate, *M. velezangeli* coloca los huevos, insertándolos en las hojas tiernas del tercio superior del árbol. El daño lo realizan las ninfas y adultos al alimentarse de las yemas, cogollos y frutos pequeños del aguacate. Dejan como signo de su alimentación manchas irregulares que con el tiempo necrosan la parte afectada del fruto (Figura 30.2). Esta especie se diferencia del resto de especies relacionadas por las manchas rojizas que tiene sobre sus hemiélitros, es un poco más grande y de coloración más oscura que *M. dissimulatum*. Es diferente de *M. annulipes* por su coloración castaño clara y la ausencia en esta última de las manchas rojizas en sus hemiélitros (Arango *et al.,* 1985).

Descripción de *Monalonion velezangeli*

La descripción taxonómica de esta especie fue hecha por Carvalho y Costa (1988). Los especímenes de *Monalonion* recolectados en cafetales del Huila, presentan características morfológicas idénticas a las relacionadas por Carvalho y Costa, de *M. velezangeli.* Al examinar y comparar los insectos recolectados en el Huila con especímenes paratipos depositados en el Museo Entomológico "Francisco Luis Gallego" de la Universidad Nacional en Medellín, se llegó a la conclusión de que son la misma especie. Otros especímenes recolectados sobre aguacate en Villamaría (Caldas), también resultaron pertenecer a la especie *M. velezangeli*.

A continuación se presentan características constatadas al examinar detalladamente adultos de los especímenes recolectados en café:

- Las antenas son más largas que la longitud del cuerpo, negras, cubiertas de setas o pilosidades muy numerosas, presentan cuatro segmentos o artejos. El primer artejo es corto, ancho y glabro, el resto se van adelgazando hacia su parte terminal. Las setas en el segmento II, son más largas que el ancho de la antena, la densidad de las setas es menor en los otros segmentos.

- La cabeza es negra en ambos sexos, alargada y presenta ojos compuestos prominentes. El protórax es negro tanto en el macho como en la hembra; el meta y mesotórax en la hembra es pardo rojizo, y varía en los machos de completamente negro a algunas manchas negras en el mesotórax.

- El aparato bucal o rostro es del tipo picador-chupador y se extiende ventralmente entre el primer y segundo par de coxas. Es de color oscuro en sus extremidades y más claro en la parte media.

- Las alas anteriores son del tipo hemiélitro, con la porción basal denominada corium, de forma alargada y engrosada, con un cuneus más largo que ancho. La parte apical es membranosa y de color gris claro en las hembras y más oscuro en los machos. Las alas en reposo sobresalen sobre el abdomen, como mínimo 1/3 de su longitud. En la parte distal membranosa presentan tres sectores con manchas rojizas irregulares tanto en hembras como en machos, que caracterizan y diferencian esta especie de otras cercanas como *M. atratum*. Cuando se observan en reposo, los hemiélitros son amarillo anaranjados con la parte distal más oscura, notándose sobre éstos las manchas rojizas.

- Las patas son negras con una banda blanca en la mitad del fémur, la cual es más visible en el tercer par de patas. Esta característica la separa de *Monalonion parviventre* Herrich – Schaeffer (Carvalho y Costa, 1988). El fémur del tercer par de patas es engrosado hacia sus extremidades. La tibia del primer par de patas, es de color negro en su base y color claro a blanco en la parte distal. Los machos presentan en las tibias muchas pilosidades (setas), las cuales son menos densas en las hembras.

- El abdomen de la hembra adulta es de color marrón claro a rojizo y el del macho un poco más oscuro. El ovipositor es de color marrón oscuro y alcanza una longitud cercana a la mitad de la longitud del abdomen.

- Las hembras adultas miden de 12 a 13 mm de largo, la cabeza es de color negro brillante, el rostro o aparato bucal es amarillo claro, las antenas son negras (Figura 30.3a). Los machos adultos miden aproximadamente 10 mm, la cabeza es negra, el rostro amarillo anaranjado o completamente negro; los hemiélitros son más oscuros que en las hembras y el abdomen es de color rojizo o amarillo (Figuras 30.3 b y c). Las ninfas son de color amarillo claro con algunas partes o sectores de la cabeza, el abdomen, las patas y las antenas de color rojo; su tamaño varía entre 1,5 mm (primer ínstar) hasta 12 mm en el quinto ínstar (Figura 30.4).

Figura 30.3. Adultos de *Monalonion*; **a.** hembra; **b y c.** machos (Fotos L. M. Constantino y H. Ramírez).

Figura 30.4. Ínstares ninfales de *Monalonion velezangeli* (del primero al quinto ínstar) (Fotos L. M. Constantino).

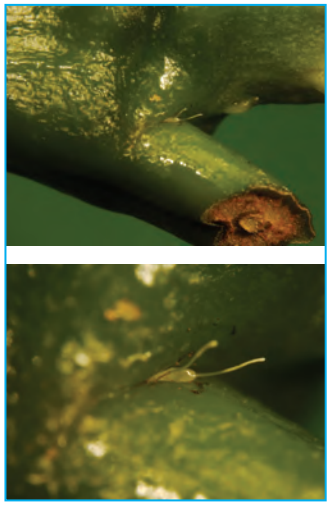


Figura 30.5. Huevos de *Monalonion velezangeli* insertados en el vértice de ramas del cafeto. Observe dos espiráculos aéreos saliendo del huevo (Foto J. C. Ortíz).

Ciclo de vida y hábitos

Monalonion velezangeli presenta metamorfosis incompleta, es decir, que su ciclo de vida pasa por los estados de huevo, ninfa y adulto. Las ninfas pasan por cinco ínstares (Figura 30.4).

En aguacate, los adultos de *M. velezangeli* viven entre 8 y 12 días, los huevos los colocan insertándolos en el tejido y eclosionan al cabo de 14 días. Los huevos son de color crema, pero a medida que el embrión comienza a desarrollarse se tornan anaranjados. El estado ninfal dura 15 días, en promedio. Los adultos aunque son buenos voladores son fáciles de capturar, se observan en ambientes sombreados, con altas humedades y presencia de arvenses en el cultivo. El ciclo de vida de huevo a adulto toma cerca de 40 días, a una temperatura de 22°C (Quintero 2006). En café, la hembra inserta los huevos en el vértice de la parte terminal de la rama, son de color crema y sólo se pueden observar dos filamentos largos y blancos, por los cuales respiran (Figura 30.5). En cafetos no se conoce la duración de su ciclo vida, sin embargo se espera que bajo las condiciones ambientales de la zona infestada por esta plaga en el Huila, la duración del ciclo de huevo a adulto tome unos 50 a 60 días.

La chinche de la chamusquina del café, es fácil de encontrar en los lotes afectados debido a que es de hábitos libres. Las ninfas se desplazan caminando entre las ramas del tercio superior del cafeto y se ocultan en el envés de los brotes nuevos, cuando se están alimentando. Los adultos son de vuelo corto y se desplazan a los árboles vecinos para alimentarse del follaje tierno. Igual que las ninfas, prefieren ocultarse sobre los brotes tiernos para alimentarse. Las lesiones frescas de chamusquina en los árboles (Figuras 30.6 y 30.7) permiten localizar las ninfas que se encuentran en el envés de las hojas. Si el daño fresco está presente en un grupo de árboles vecinos, es muy probable que el adulto se encuentre en alguno de éstos sobre el envés o la haz de las hojas de los brotes afectados.

Daño en cafetos

Tanto las ninfas como los adultos se alimentan principalmente de los brotes tiernos de la planta, insertando su aparato bucal, que tiene la forma de un estilete, en la hoja, en la cual a los pocos minutos aparece una mancha clara que más tarde se torna de color café (Figuras 30.6 y 30.7). Una sola chinche por árbol puede causar hasta 10 lesiones de este tipo en una hoja, en un período aproximado de 30 minutos, y se ha observado que en un período de 24 horas puede atacar todos los brotes tiernos del árbol. De lo anterior se puede inferir que el nivel de umbral económico es muy bajo y no se pueden permitir poblaciones de la chinche superiores a un individuo por planta. La chinche tiene una gran actividad nocturna, aunque se puede observar haciendo daño en días fríos y de alta nubosidad.

Los adultos también se alimentan de brotes florales y ocasionan el necrosamiento y pérdida de la flor (Figura 30.8). Como consecuencia del ataque, la planta de café presenta una apariencia de achaparramiento con reducción de las floraciones y por ende, de su producción.

Figura 30.6 Ninfa alimentándose de hojas tiernas de cafeto. Obsérvese las manchas producidas (Foto: L. M. Constantino).

Las lesiones de chamusquina presentan variación en la forma y el tamaño, dependiendo principalmente del estadio ninfal de la chinche. Las lesiones recién hechas son de consistencia húmeda y cafés, mientras que las lesiones viejas son de consistencia seca, de color oscuro y las hojas afectadas presentan necrosamiento y enroscamiento (Figura 30.9).

Plantas hospedantes

M. velezangeli es una chinche polífaga. En zonas cercanas a los cafetales afectados en el Huila se han observado otras plantas con lesiones muy similares a las de chamusquina en cafetales. Éstas son: hojiancho (*Ladenbergia magnifolia*), siempreviva (*Tripogandra cumanensis*), mango (*Mangifera indica*), guayabo (*Psidium guajava*) y sietecueros (*Tibouchina lepidota*) (Ramírez *et al.,* 2008). A los anteriores registros se les adiciona el aguacate, el cafeto y la mora de Castilla.

Figura 30.7. Lesiones recién hechas por *Monalonion velezangeli* (Foto H. Ramírez).

Enemigos nativos

En lotes afectados por la chinche de la chamusquina del café, se encontraron algunos enemigos naturales como arañas depredando ninfas y un hongo entomopatógeno sobre los adultos (Figura 30.10). Pruebas de laboratorio indican que existen cepas de *Beauveria bassiana* activas contra esta plaga, lo que sugiere la posibilidad de desarrollar programas de control biológico con entomopatógenos. En Antioquia

Figura 30.8. Lesiones en brotes florales ocasionados por *Monalonion velezangeli*, **a.** adulto en brote floral; **b.** daño inicial; **c.** daño final, (Fotos H. Ramírez).

Figura 30.9. Lesiones viejas ocasionadas por *Monalonion velezangeli* (Foto L: M: Constantino).

Figura 30.10. Adulto de *Monalonion velezangeli*, infectado por un hongo entomopatógeno (Foto P. Marín).

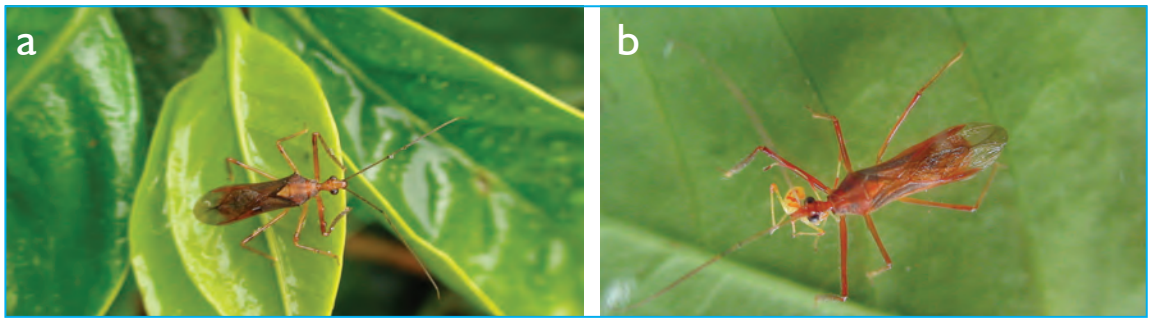


Figura 30.11. a. Adulto de *Zelus* sp. (Hemiptera: Reduviidae); **b.** predando una ninfa de *M. velezangeli* (Fotos L. M. Constantino).

se registra la presencia de chinches de la familia Reduviidae depredando ninfas de *M. velezangeli* (Arango *et al.,* 1991). En Roldanillo, se observó una chinche del género *Zelus* (Hemiptera: Reduviidae) depredando ninfas de *M. velezangeli* (Figura 30.11).

Manejo de poblaciones de la chinche de la chamusquina

El control de este insecto debe estar enmarcado en una estrategia de manejo integrado del cultivo, que permita reducir las poblaciones de la chinche y además, mantener el equilibrio bioecológico de las zonas afectadas. La estrategia debe involucrar actividades de monitoreo, control cultural, controles físicos, fomento de la fauna benéfica y uso racional de insecticidas cuando se requieran (Ramírez *et al.,* 2008).

El manejo comprende los siguientes pasos:

- Inicialmente se deben adecuar todos los lotes infestados con la chinche de la chamusquina, dejando prosperar las coberturas de arvenses y aprovechar cuando se hagan renovaciones, el establecimiento de cultivos intercalados, con el objetivo de que la chinche encuentre otras fuentes de alimentación diferentes al café. Se deben seguir las recomendaciones de Cenicafé (Hincapié y Salazar, 2007), sobre el uso del selector de arvenses, para lograr coberturas que además de proteger el suelo, proporcionen refugio a la fauna benéfica.

- El manejo se inicia con una evaluación de la infestación causada por la chinche en el cafetal, con una periodicidad inicial de 15 días. Para esto se recomienda recorrer el lote infestado observando todas las plantas y contabilizando el número de árboles con lesiones frescas sobre el número total de árboles del lote.

- A medida que se hace la evaluación y el registro de la plaga se debe hacer una recolección manual de ninfas y adultos de la chinche, en los árboles con lesiones frescas de chamusquina, buscándolos alrededor de estas lesiones. Es necesario hacer seguimiento cada 15 días para determinar la efectividad de la práctica.

- Si el control cultural no funciona y la población de la chinche amenaza una floración o un crecimiento vegetativo importante, se recomienda la aplicación de insecticidas químicos de categoría III, rotando productos como: malation, pirimifos metil, fenitrotion o clorpirifos en concentración comercial de 4 cc/L, en mezcla con 2 cc/L de un aceite agrícola emulsivo, utilizando 300 L de mezcla por hectárea y realizando una aspersión con un buen cubrimiento.

- Esta aplicación debe ser localizada, sobre los árboles con daños frescos. Se recomienda seguir las prácticas de manejo seguro de plaguicidas y los principios sobre la calibración de equipos de aspersión y operarios.

Literatura citada

ABREU, J. M. de. 1971. Ensaios de insecticidas no combate ao *Monalonion bondari* Costa Lima, praga do cacaueiro na Bahia. Cocoa Research Institute, Tafo (Ghana). *In*: Proceedings, 3. International Cocoa Research Conference. Accra (Ghana). 23-29 Nov 1969, p. 222-226.

ARANGO, A. E.; ARROYAVE, H. D.; VÉLEZ, R. 1991. Ciclo de vida y hábitos de la chinche del aguacate *Monalonion velezangeli* (Carvalho y Costa) (Hemiptera: Miridae) en Antioquia. XIX Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología, Socolen, Resúmenes. Manizales, Colombia, julio 15 – 17, 1991, p. 26.

CAMPOS, G. E. 2008. Diagnóstico del problema denominado "chamusquina" en cafetales de altura del departamento del Huila. Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Tesis Agrozootecnista, Popayán, Colombia, 71 p.

CAMPOS, G. E.; CASTRO, B. L. 2007. Diagnóstico de la "chamusquina" en cafetales. *In*: Memorias XXVIII Congreso de la Asociación Colombiana de Fitopatología y Ciencia Afines, Palmira, Colombia, Octubre 3 a 5 de 2007. s. p.

CÁRDENAS, R.; POSADA, F. J. 2001. Los insectos y otros habitantes de cafetales y platanales. Comité Departamental de Cafeteros del Quindío y Cenicafé. Armenia, Colombia, 120 p.

CARVALHO, J. C. M. 1984. Miridos neotropicales, CCXLIII: Nuevas especies de la República de Colombia (Hemiptera). Revista Gallesciencia, 1: 11 – 20.

CARVALHO, J. C. M.; COSTA, L. A. A. 1988. Mirideos neotropicales, CCXCVII: Duas novas espécies do genero *Monalonion* Herrich – Schaeffer (Hemiptera). Rev. Brasil. Biol., 48 (4): 893 – 896.

CENICAFÉ. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. 2007. Estudio de los insectos asociados a un nuevo disturbio en café denominado chamusquina. *In*: Resumen del Informe Anual de Actividades 2007, Cenicafé. Chinchiná (Colombia), p. 91 – 92.

DISTANT, W. L. 1893. Biologia Centrali – Americana. Insecta. Rhynchota. Hemiptera: Heteroptera. American Museum of Natural History, 1: 246 – 247.

HERRICH-SCHAEFFER, G. A. W. 1873. *Monalonion*. Ins. IX. p. 168; Walk. Cat. Het. VI, p. 47.

HINCAPIÉ, E.; SALAZAR, L. F. 2007. Manejo integrado de arvenses en la zona cafetera central de Colombia. Cenicafé, Avances Técnicos 359, Chinchiná, Colombia, 8 p.

ICA. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. 1989. Lista de insectos dañinos y otras plagas en Colombia. Bol. Técnico No. 43, 4a edición, Bogotá, Colombia, 662 p.

QUINTERO, A. D. 2006. Plagas de aguacate en Colombia. *In:* Encuentro nacional de la cadena productiva de aguacate, Medellín, noviembre 16 –18, 2006. http://www.politecnicojic.edu.co/ encuentroaguacate/ memorias/16/

RAMÍREZ, H. J. 2008. Estudio de los insectos asociados a un nuevo disturbio en café denominado chamusquina., Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, Tesis Ingeniería Agroforestal, San Juan de Pasto, Colombia, 90 p.

RAMÍREZ, H. J.; GIL, Z. N.; BENAVIDES, P.; BUSTILLO, A. E. 2008. *Monalonion velezangeli*, la chinche de la chamusquina del café. Cenicafé, Avances Técnicos 367, Chinchiná, Colombia, 8 p.

VARGAS, A. 2005. Evaluación del impacto del chinche (*Monalonion dissimulatum* Dist.) en la producción de cacao orgánico (*Theobroma cacao* L) en Alto Beni. Tesis Ingeniero Agrónomo, UMSA, La Paz, Bolivia, 98 p.

VÉLEZ, R. 1997. Plagas agrícolas de impacto económico en Colombia: Bionomía y manejo integrado. Segunda edición, Editorial Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia, p. 20-25.

VILLACORTA, A. 1977. Algunas observaciones sobre la biología de *Monalonion annulipes* Sig., en Costa Rica. Anais da Sociedade Entomologica do Brasil, 6 (2): 173-179.

CAPÍTULO 31

Las babosas en cafetales

Zulma Nancy Gil Palacio

Las babosas se encuentran dentro del reino animal, Phylum Mollusca del orden Gasteropoda, no presentan caparazones o a veces tienen pequeños caparazones internos, en contraste con los caracoles, que tienen una prominente concha. Algunas especies de gran tamaño reciben el nombre de limaco (Bruño, 1978).

Las babosas son herbívoras y de distribución mundial, pueden alimentarse de gran variedad de plantas cultivadas, entre las cuales se encuentran: hortalizas, frutales, flores, papa, fríjol, maíz, soya, fresa, pastos, cebolla, repollo y coliflor, entre otros (Fernández, 1982). Se conocen generalmente como plagas en jardines y en plantas ornamentales y hortalizas sembradas en exteriores o en invernadero.

En cafetales se han registrado ataques de babosas en Guatemala, el Salvador y en Colombia. Específicamente en Colombia, en el departamento de Quindío, se registraron ataques de babosas desde la década de los setenta, pero nunca se habían intensificado como en la década de los noventa, cuando en algunas fincas ocurrieron daños en un 15% de plantas jóvenes recién sembradas. Los ataques de babosas tienen una amplia distribución en la zona cafetera colombiana. También se han registrado en Antioquia, Cesar, Risaralda, Cundinamarca y Caldas. En la zona cafetera se han encontrado varias especies de los géneros *Limax* sp., *Deroceras* sp. y *Vaginulus* sp., que atacan en la etapa de almácigo, a las plantas recién transplantadas y a los chupones de las plantas renovadas por zoca (Posada *et al.,* 2001).

La especie que causa el anillamiento del tallo y que ha sido encontrada con mayor frecuencia en la zona cafetera es *Veronicela* sp. (Stylomatophora: Veronicellidae) (Vélez, 2002) (Figura 31.1).

Descripción e historia de vida

Las babosas son caracoles sin concha y el vestigio de ésta se llama manto. Cuando se desplazan, el cuerpo adquiere la máxima longitud y proyectan dos pares de tentáculos en la cabeza. En el par superior se encuentran los ojos y en el inferior los órganos táctiles y olfatorios. Cuando se arrastran, desprenden una baba o mucus, que es una sustancia viscosa que da visos plateados al incidir en ella directamente la luz (Vélez, 2002).

Son de hábitos nocturnos y su actividad varía de acuerdo a la época del año, según la temperatura y la humedad. El ciclo de vida de las babosas, la velocidad de reproducción y crecimiento dependen de las condiciones climáticas, de la luz y de la disponibilidad de alimento, factores que también determinan la densidad de la población. Las épocas lluviosas no muy intensas favorecen la supervivencia de los huevos, los estados juveniles y su desarrollo. En cambio, épocas muy secas y frías pueden limitar su reproducción (Vélez, 2002).

En la noche se observan caminando por todas partes: en el suelo, sobre plantas, residuos orgánicos o cualquier otro material que se encuentre en el campo, y pueden incluso observarse en las viviendas. En el día es posible observarlas dirigiéndose a lugares húmedos, temprano en la mañana o en días con lluvia y opacos (Posada *et al*., 2001).

Figura 31.1. Adulto de babosa (Foto G. Hoyos).

En cuanto a la reproducción, las babosas son hermafroditas, es decir, macho y hembra a la vez, pero no simultáneamente. Primero se activan los órganos masculinos, posteriormente los órganos femeninos. El sistema hormonal regula el inicio de cada fase de la actividad sexual (Wikipedia, 2007).

La duración de la incubación de los huevos está directamente vinculada a las condiciones climáticas, en particular a la temperatura. A 5°C la incubación tarda hasta tres meses, mientras que a 20°C, se reduce hasta dos semanas. La humedad del suelo debe estar entre 40 y 80%. Al salir de los huevos las babosas miden algunos milímetros y son transparentes. Viven de 9 a 18 meses, según la especie y la región donde se encuentren. Las babosas pueden tener una o dos generaciones por año, y en algunos casos una generación cada dos años (Wikipedia, 2007).

Daño causado por *Veronicela* sp.

El ataque de *Veronicela* se presenta con más frecuencia en siembras nuevas o en brotes de las zocas de café, generalmente en árboles menores de un año y sobre tallos menores de 2 cm de diámetro, también se ha observado que atacan almácigos y plantas recién transplantadas (Posada *et al*., 2001).

El daño consiste en la remoción de la corteza del tallo con su aparato bucal de tipo raspador, el cual recibe el nombre de rádula. Se alimentan del tallo reiteradamente, haciendo pequeñas heridas hasta completar el anillado (Figura 31.2) En algunas situaciones causan heridas leves y en otras, el anillado puede ser parcial o completo. A causa de éste, se remueve la corteza y el floema, con lo que se suspende el transporte de asimilados de las hojas a las raíces y la planta empieza a marchitarse. En observaciones de campo se encontró que si el anillado no es completo la planta puede sobrevivir. Plantas con daño después de ser aporcadas emiten en la parte superior al daño nuevas raíces y se restablecen. La altura a la cual ocurre la herida es muy variable, lo que indica que las babosas no siguen un patrón definido. La altura de la herida a partir del suelo ocurre a 1,9 ± 1,5 cm, en promedio. Igualmente, el ancho de la herida puede variar entre 0,5 y 6 cm, con un promedio de 2,5 ± 1,1cm (Posada *et al.,* 2001).

Figura 31.2. Daño de las babosas en plantaciones de café. **a.** anillado parcial; **b.** anillado total. haciendo daño en plantas de café. (Foto G. Hoyos).

En el campo el daño se reconoce por la desuniformidad en el desarrollo de las plantas, es posible que los árboles atrasados en su desarrollo presenten problemas de raíces o daños en el tallo. Como este síntoma también se puede asociar a llaga macana o al ataque de cochinillas de las raíces, es necesario una revisión detallada para determinar la causa de su marchitez. Si se encuentran estos síntomas y condiciones favorables para el ataque de babosas, se recomienda hacer trampas, utilizando hojas de plátano secas colocadas en los intermedios de los surcos o en las orillas de los lotes, para atraer las babosas y removerlas de los cafetales (Posada *et al.,* 2001).

Manejo de poblaciones

Las poblaciones de babosas se incrementan durante épocas lluviosas y de alta humedad. El ataque se favorece con las desyerbas drásticas, ya que las babosas al no encontrar sustratos vegetales en el lote, terminan por atacar el cafeto. La presencia de basuras como bolsas plásticas de almácigo, también favorecen sus poblaciones ya que les sirven de refugio.

Control cultural

Existen muchas prácticas que el cafetero puede implementar para mitigar el ataque de las babosas (Caballero *et al.,* 1991; Posada *et al*., 2001):

- Recolectar manualmente las babosas. Esta práctica se recomienda especialmente para áreas pequeñas.

- Recolectar los residuos de cosecha, basuras, piedras, troncos, bolsas plásticas, etc., que sirven de albergue a las babosas.

- Revisar el material de siembra que entre a la finca, ya que puede llevar babosas adultas, jóvenes o posturas.

- Evitar el uso indiscriminado de herbicidas y de insecticidas de alta toxicidad, porque se elimina la fauna benéfica como aves, batracios, reptiles e insectos benéficos, que depredan babosas.

- Realizar prácticas agronómicas que ayudan a prevenir o disminuir el daño de las babosas. Por ejemplo, hacer los almácigos en la finca para evitar la introducción de las babosas.

- Lograr que las plántulas tengan un buen sistema radical para que puedan resistir mejor el ataque de estos organismos. La fertilización adecuada y oportuna puede contribuir a la recuperación de las plantas atacadas.

Control físico

Consiste en colocar trampas dentro de los lotes afectados. Las trampas más efectivas son aquellas que se construyen con hojas de plátano secas, debido a que atraen las babosas, les brindan alimento y refugio, lo que facilita su recolección (Posada *et al.,* 2001).

Control biológico

Las babosas tienen diversidad de enemigos naturales entre los que se encuentran: aves, larvas de coleópteros de la familia Lampyridae y adultos de coleópteros de la familia Carabidae; también se pueden encontrar parasitoides (Vélez, 2002). Se recomienda estimular la fauna benéfica de batracios (sapos), reptiles (lagartos) y aves como: el cucarachero (*Troglodytes aedon*), la mirla pantanera (*Turdus ignobilis*) y la gallina ciega (*Caprimulgus longirostris*).

Control químico

Los productos químicos más utilizados son los cebos comerciales, que tienen como ingrediente activo metaldehido y carbamatos, pero son muy tóxicos y afectan la fauna benéfica como invertebrados, peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos (Vélez, 2002).

Literatura citada

BRUÑO, G. M. 1978. Moluscos. *In:* Bruño, G. M., ed. Historia natural; anatomía y fisiología del hombre, zoología, botánica, geología. París, Procuradaria General, p. 163-166.

CABALLERO, R.; SABILLÓN, A.; ANDREWS, K.; MADRID, T. 1991. Uso de estractos botánicos para evitar daño de la babosa *S. plebeia* F. en fríjol común, *Phaseolus vulgaris* . Ceiba, 32 (2): 187-200.

FERNÁNDEZ DE V., J. 1982. Contribución al conocimiento de las babosas y sietecueros (Mollusca: Gastropoda) que causan daños a la agricultura en Venezuela. Revista Facultad de Agronomía (Maracay), 12 (3-4): 353-386.

POSADA, J. F.; CÁRDENAS, R.; ARCILA, J.; GIL, F.; MEJÍA, C. G. 2001. Las babosas causantes del anillado del tallo del cafeto. Avances técnicos Cenicafé, Chinchiná, Colombia, No. 289, 8 p.

WIKIPEDIA, 2007. Las babosas. Consultado en: http://es.wikipedia.org/ wiki/Babosa Diciembre 20, 2007.

VÉLEZ, C. P. 2002.Bioecología y manejo del complejo de babosas en el cultivo del café, *Coffea arabica*: Palmira (Colombia), Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de Colombia,

CAPÍTULO 32

El gorgojo del café almacenado, *Araecerus fasciculatus* (De Geer) (Coleoptera: Anthribidae)

Álex Enrique Bustillo Pardey

Sinonimia: *Curculio fasciculatus* De Geer, *Araecerus coffeae* (Fabricius), *Anthribus coffeae* Fabricius, *Amblycerus japonicus* Thunberg.

Descripción e historia de vida

Figura 32.1. Adulto del gorgojo del café *Araecerus fasciculatus* (Foto J. C. Ortiz).

Figura 32.2. Daño del *Araecerus fasciculatus* en granos de café verdes. (Foto G. Hoyos).

Araecerus fasciculatus tiene una distribución Pantropical, es una plaga seria del café almacenado (Mphuru, 1974). Este insecto no ataca sólo café sino que también se puede encontrar en semillas de cítricos, cacao, maní, sorgo, soya, badea y en harina de yuca (ICA, 1989). En otras partes del mundo se señala una gran cantidad de huéspedes de este gorgojo (Woodruff, 1972).

El adulto tiene un cuerpo robusto, el macho tiene de 2,5 a 3,0 mm de longitud y las hembras alcanzan entre 3,5 a 4,5 mm en longitud, tienen una gran capacidad de vuelo y son muy activos. Son de color marrón oscuro, con setas sobre el cuerpo en forma de escamas blanquecinas a amarillentas y un *rostrum* corto y amplio. Las alas son ligeramente más cortas que el abdomen. Las antenas tienen los tres segmentos terminales engrosados (Figura 32.1).

Estos gorgojos colocan en el café pergamino huevos solitarios, este estado dura entre 4 a 7 días. El estado larval dura de 33 a 40 días a 23ºC, la larva es blanca y ápoda, similar a la de los curculiónidos; inicialmente se alimenta del pergamino y luego perfora la semilla. La pupa es blanca con numerosas setas en todo el cuerpo y demora entre 5 a 11 días. En el laboratorio pueden vivir hasta 115 días. La cópula ocurre después de 4 a 5 días de la emergencia de los adultos, las hembras colocan casi inmediatamente los huevos insertándolos en las semillas de café almacenadas. El promedio de huevos depositados es de 52, con una tasa de tres huevos por día (Benavides y Cárdenas, 1983; Le Pelley, 1973).

Daño

Araecerus fasciculatus debido a su gran capacidad de vuelo puede infestar los productos en el campo y continuar

su desarrollo durante el almacenamiento. Cuando infesta las bodegas hace el daño al grano del café almacenado, especialmente cuando está viejo y guardado bajo condiciones de alta humedad. El adulto perfora el grano seco de café, deposita los huevos y luego la larva se desarrolla internamente y destruye el grano completamente (Figura 32.2). Las pérdidas más importantes son causadas por la contaminación, debido al crecimiento de microorganismos en la parte afectada del grano, lo que reduce considerablemente su valor comercial.

En el pasado Cabal (1956) indica de infestaciones muy serias de estos insectos en las bodegas de Almacafé, donde se mencionan tratamientos para controlar esta plaga en 1,3 millones de sacos, a unos costos muy elevados.

El insecto también se puede encontrar en los cafetales y normalmente ataca los frutos guayaba secos, que no se cosechan y quedan adheridos al árbol. La presencia de pasilla en las fincas sirve de reservorio para la reproducción de estos gorgojos.

Manejo de poblaciones

Para controlar el gorgojo, el café debe almacenarse en áreas secas. Así mismo, secar el café al sol puede matar el insecto, ya que no puede sobrevivir a altas temperaturas, por encima de 37ºC. El café pergamino con humedades menores a 12%, es raramente atacado por este gorgojo. Entre las medidas directas de control se contemplan la limpieza de las bodegas de almacenamiento, la regulación de la humedad del grano y las fumigaciones. Estas últimas ofrecen un buen control, pero no eliminan la contaminación de los granos de café. El bromuro de metilo y el dibromuro de etileno son efectivos, pero están siendo retirados del mercado por consideraciones ambientales y de salubridad.

Los enemigos nativos, como los parasitoides *Anisopteromalus calandrae*, *Cephalonomia gallicola* y *Plastanoxus* sp., se encuentran comúnmente atacando los estados larvales de esta plaga, pero su impacto no es suficiente para ejercer un control satisfactorio (Le Pelley, 1973).

Literatura citada

BENAVIDES G., M.; CÁRDENAS, R. 1983. El gorgojo del café, *Araecerus fasciculatus* (DeGeer). Avances Técnicos Cenicafé, No. 114, Chinchiná, Colombia, 4 p.

CABAL, C. A. 1956. Biología y control del gorgojo del café, *Araecerus fasciculatus* (De Geer). Rev. Fac. Nal. De Agronomía, Medellín, 17 (49): 49 – 72.

ICA. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. 1989. Lista de insectos dañinos y otras plagas en Colombia. Bol. Técnico No. 43, 4a edición, 662 p.

LE PELLEY, R. H. 1973. Las plagas del café. Editorial Labor, S. A., Barcelona. Traducción: Subirana, Aliberas y León, 693 p.

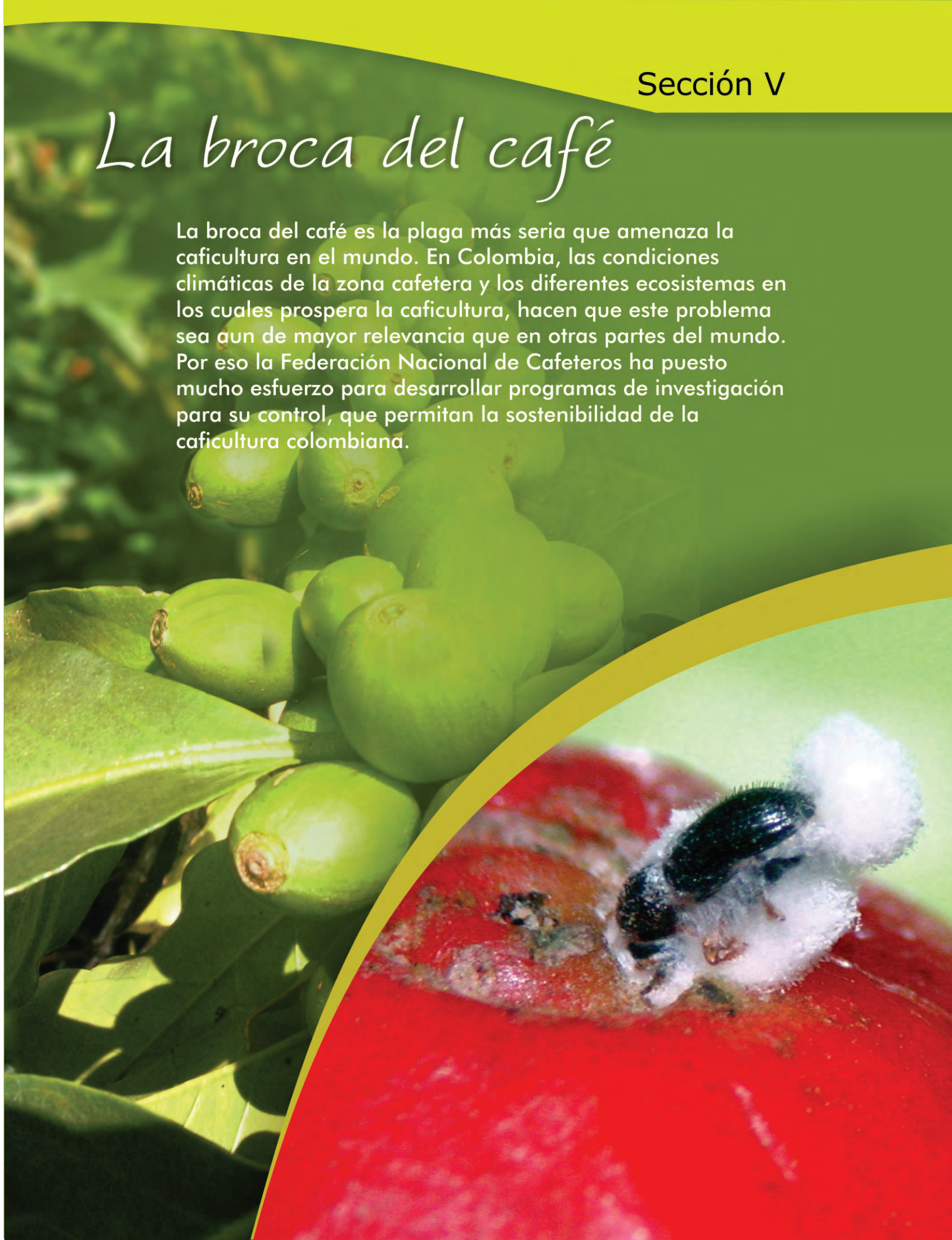
MPHURU, A. N. 1974. *Araecerus fasciculatus* (DeGeer) (Coleoptera: Anthribidae): a review. Tropical Stored Products Information, 26: 7 – 15.

WOODRUFF, R. E. 1972. The coffee bean weevil, *Araecerus fasciculatus* (De Geer), a potential new pest of citrus in Florida (Coleoptera: Anthribidae) Florida Department of Agriculture and Consumer Services, Division of Plant Industry, Entomology Circular No. 117, 2 p.

Sección V

La broca del café

La broca del café es la plaga más seria que amenaza la caficultura en el mundo. En Colombia, las condiciones climáticas de la zona cafetera y los diferentes ecosistemas en los cuales prospera la caficultura, hacen que este problema sea aun de mayor relevancia que en otras partes del mundo. Por eso la Federación Nacional de Cafeteros ha puesto mucho esfuerzo para desarrollar programas de investigación para su control, que permitan la sostenibilidad de la caficultura colombiana.



CAPÍTULO 33

Aspectos sobre la broca del café, *Hypothenemus hampei*, en Colombia

Álex Enrique Bustillo Pardey

En 1988 se detectó en Colombia la presencia de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae), 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, y causa la pérdida total del grano y en muchos casos, su caída prematura; además, reduce la calidad del producto final (Cárdenas, 1991; Bustillo, 1991). Actualmente, se encuentra infestando cerca de 800.000 hectáreas de café y afecta el patrimonio de más de medio millón de familias cafeteras colombianas.

La caficultura colombiana se ha mantenido libre de problemas de insectos durante todo su desarrollo como explotación comercial. Solamente se han registrado ataques esporádicos de insectos como: *Leucoptera coffeella* (Guerin - Méneville), *Coccus viridis* (Green), *Planococcus citri* (Risso), *Dysmicoccus brevipes* (Cockerell), *Puto antioquensis* (Murillo), *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 y posee buena biodiversidad, lo que favorece el desarrollo de la fauna benéfica, que mantiene en equilibrio las plagas potenciales presentes en los cafetales.

Por otra parte, en las zonas cafeteras no se han usado indiscriminadamente los insecticidas, y se considera que Colombia es el único país en el mundo en el cual la caficultura se manejó con muy poco uso de insecticidas, hasta la llegada de la broca (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 de África probablemente de Etiopía, e introducida accidentalmente al continente americano en 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 y alcanza 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 sólo son eficientes cuando se aplican oportunamente, esto ocurre cuando el insecto está 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 florece en múltiples ocasiones (Camayo y Arcila, 1997), lo que origina que en zonas como el eje cafetero, existan 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 mediante aspersiones de insecticidas químicos, las cuales traerían como consecuencias: 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).

La aplicación continuada de insecticidas también conduce al desarrollo de resistencia, como ha sido comprobado para el endosulfán, 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, prácticas de manejo agronómico del cultivo del café que reduzcan sus poblaciones, el fomento de la fauna benéfica, la introducción de enemigos biológicos como parasitoides y entomopatógenos, desde su sitio de origen, 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 (Bustillo, 1991, 1995; Benavides *et al*., 1994; Orozco, 1995; Orozco y Aristizábal, 1996).

El anterior enfoque está enmarcado dentro del concepto de **Manejo Integrado de Plagas** (MIP) (NCA, 1969; Rabb y Guthrie, 1970; Andrews y Quezada, 1989). El MIP proporciona una serie de principios y conceptos sobre el 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 y 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) (Bustillo *et al*., 1995; Bustillo 2002; Benavides y Arévalo, 2002), se ha enfocado dentro del siguiente marco teórico: "El uso de una serie de medidas de control (culturales, biológicas y químicas) 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". Este enfoque actualmente se amplía hacia el **Manejo Integrado del Cultivo**, incluyendo además de lo anterior, todas aquellas prácticas agronómicas que no están dirigidas directamente al combate de la broca, pero que si se llevan a cabo pueden contribuir indirectamente a la reducción de sus poblaciones (Figura 33.1).

Figura 33.1. Esquema del rompecabezas del manejo integrado de la finca con sus diversos componentes.

Origen de la broca del café

La broca es originaria del África ecuatorial, pero el sitio exacto aún se desconoce. La información que atribuye su origen a Etiopía es puesta en duda por las informaciones de Silvain (1955, 1958), quien afirma que en sus recorridos por la zona cafetera de Etiopía no observó la broca, ni signos de su daño. Esto también fue corroborado por el entomólogo Greathead (1968), quien en forma conclusiva indica que no encontró signos de ataque de broca en los cafetales de Etiopía, para la época de su visita. Debido a que Etiopía es considerado el centro de origen de *Coffea arabica*, la ausencia de *H. hampei* en este país hacia el año 1968, abre la hipótesis de que este insecto se originó en otra parte del mundo, sobre *Coffea canephora,* cuyo centro de origen es el Occidente de África (Waller *et al*. 2007), lugar de donde llegó la broca a Asia y América.

Por otra parte, la mayoría de las incursiones en países africanos para conseguir enemigos nativos de la broca, se han hecho desde Costa de Marfil, Togo y Uganda, en donde el principal cultivo es *C. canephora*.

Distribución de la broca del café

La broca fue introducida al continente americano en Brasil, en 1913. Se encuentra en prácticamente todos los países productores de café (Le Pelley, 1968) (Tabla 33.1). En Colombia se registró por primera vez en el Sur del departamento de Nariño, hacia 1988, y su dispersión fue rápida, ya que encontró condiciones muy favorables debido especialmente al clima, a la continuidad de la zona cafetera y a su grado de tecnificación, que le aseguraron suministro permanente de alimento (Bustillo, 1991). Además, su dispersión se agilizó debido a la aparición simultánea del insecto en muchos sitios (Ancuya, Nariño; La Plata, Huila; Remedios, Antioquia; Ansermanuevo, Valle del Cauca) y al movimiento ilegal de productos vegetales, desde países como Perú y Bolivia.

Lo anterior está documentado por estudios de Benavides (2005b) y Benavides *et al.* (2005), quienes al analizar la distribución de la broca en el mundo, con herramientas moleculares y la amplificación de cientos de *loci*, a partir de muestras de broca provenientes de 17 países de tres continentes (África, Asia y América), indican que la broca primero invadió Asia y luego América, con insectos procedentes del Occidente 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 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 está refugiada en otros cafetales, donde no se están haciendo prácticas para reducir su población (Baker, 1984). Además, es muy difícil que los insecticidas sean efectivos cuando la broca ya ha ingresado al endospermo del fruto del café (Villalba *et al.,* 1995). Por lo tanto, una vez la broca aparece en una zona hay que tratar de convivir con ella; hasta el momento no ha sido posible erradicarla de los lugares donde ha llegado.

En la selva tropical, donde se originó la broca hace mucho tiempo, se supone que había una gran diversidad de especies y, por lo 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. También puede mantenerse libremente hasta una hora y media o más de tres horas en vuelos sucesivos (Baker, 1984).

En un estudio realizado 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 la broca en los lotes de una hectárea, era de 5,8 millones, y se observó que su reproducción continuaba aún después de tres meses de estar en el suelo. Es así como en los primeros 30 días emergió del suelo la mayor cantidad de adultos de broca y se triplicó 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,

Tabla 33.1. Años en los cuales se detectó la broca del café en países de Centro y Suramérica.

Año	País	Año	País
1913	Brasil	1984	Bolivia
1960	Surinam	1988	Colombia
1962	Perú	1990	Nicaragua
1971	Guatemala	1990	Cuba
1977	Honduras	1995	República Dominicana
1978	México	1995	Venezuela
1978	Jamaica	2000	Costa Rica
1981	El Salvador	2005	Panamá
1981	Ecuador	2007	Puerto Rico

y se registraron 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 a retirar de los árboles los frutos con broca, antes de cortar las ramas, y usar árboles trampas en los cuales se deben cosechar oportunamente los frutos (Cenicafé, 1995a). Recientemente se ha encontrado que esta actividad se hace más eficiente con el uso de guantes de cuero, para retirar todos los frutos de los árboles antes del zoqueo[1].

Generalidades sobre la biología de la broca

Inicialmente, la broca es atraída a los cafetales por el "olor" (metabolitos secundarios que produce el cafeto en su proceso de formación del fruto) y luego, por el color y la forma del fruto. Las brocas que llegan posteriormente, son atraídas por los mismos factores, pero también por los volátiles liberados por el fruto del café infestado por la primera broca. Hay evidencias que en los desechos fecales se producen sustancias que atraen a otras hembras. Las hembras tienden a agregarse al llegar a un cafetal y se concentran en ciertas ramas y árboles (Baker, 1984).

La preferencia de la broca del café por el color fue estudiada por Mendoza (1991), usando frutos en diferentes estados de maduración y frutos simulados, constituidos por bolas de icopor. Se evaluaron frutos con colores verde, amarillo, rojo y negro. Este investigador pudo comprobar que la broca tiene marcada preferencia por el negro y el rojo, tanto en frutos naturales como en frutos simulados. En India, Dharmadasa (1997) en experimentos controlados, también demostró sin lugar a dudas, la atracción visual de la broca del café por el color rojo.

Mathieu *et al.* (1997), al liberar 3.000 hembras de broca dentro de un recinto cerrado, recapturaron el 45% usando trampas de embudos múltiples cebadas con la mezcla metanol-etanol, en proporción 1:1. Las trampas de color rojo y con la menor tasa de liberación del atrayente (0,5 g/día) fueron más eficientes. En el campo, González y Dufour (2000) demostraron que el color rojo atrae más a la broca, por lo que recomiendan su uso como atrayente visual para reforzar el efecto atractivo de los volátiles de la mezcla de alcoholes.

En la literatura, se indica que la broca es un insecto muy abundante bajo condiciones de sombra, pero esto no significa que sus poblaciones sean mayores en este hábitat. Es cierto que este insecto está adaptado a condiciones de sombrío, ya que en África, el cafeto es una planta que en su estado natural se encontraba bajo sombra, proporcionada por árboles grandes en la selva (Baker, 1984). Sin embargo, en ecosistemas bajo sombrío la producción de frutos es menor que a libre exposición. En Colombia, en cafetales a libre exposición, plantados en altas densidades, de la variedad Caturra y la Variedad Castillo®, se produce un auto-sombrío que favorece el ataque de la broca, pero debido a las altas producciones de frutos, bajo estas condiciones se pueden generar más brocas por unidad de superficie (Bustillo *et al.,* 1998)

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, mientras que las hembras copulan con sus hermanos antes de salir de los frutos para 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.

[1] BENAVIDES, P.; MEJÍA, C. G. 2006. Informe interno de labores. Disciplina de Entomología. Cenicafé, Chinchiná, Colombia.

Ninguno de los siete cromosomas presentes en su forma haploide (Brun *et al*., 1995) han sido ligados a la determinación sexual, por lo tanto, se sugiere que probacterias del género *Wolbachia,* encontradas recientemente como un endosimbionte en la broca, son las causantes 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 (Corbett, 1933; Bergamin, 1943; Ticheler, 1963; Baker, 1984; Muñoz, 1989; Decazy, 1990a; Baker *et al*., 1992a), con resultados muy disímiles, debido a las condiciones de temperatura y ambiente en donde se han realizado los estudios. En Colombia se han llevado a cabo varios estudios de laboratorio y campo (Montoya y Cárdenas, 1994; Gaviria *et al*., 1995; Ruiz,1996; Ruiz *et al*., 1996). El adulto hembra de la broca del café una vez emerge de la pupa está listo para aparearse, pero dependiendo del desarrollo del fruto puede iniciar la oviposición después de unos 4 a 5 días. Su período de oviposición es de unos 20 a 30 días y coloca entre dos y tres huevos/día. La incubación del huevo dura 8 días (23°C) y el estado de larva dura 15 días para los machos y 19 días para las hembras, la prepupa dura 2 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 a 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 21°C en promedio, y de unos 60 días para una temperatura de 18°C. La relación de sexos es aproximadamente de 1:10 a favor de las hembras (Ruiz, 1996). La información sobre la duración de los estados en grados-día y a 21°C, se presenta en la Tabla 33.2.

El macho completa su ciclo de vida antes que la hembra, y copula con las hembras que van emergiendo. Se especula que las hembras no fertilizadas pueden dar origen a una pequeña proporción de huevos fértiles (<0,3%) (Montoya y Cárdenas, 1994; Muñoz, 1989; Barrera *et al*., 1995), o sea por partenogénesis del tipo teliotoquia; sin embargo, esto no se ha comprobado experimentalmente (Álvarez y Cortina, 2004).

El adulto macho de la broca solamente tiene función reproductora, es incapaz de perforar un fruto, es de menor tamaño y debido a que los músculos de sus alas se encuentran atrofiados no puede volar por lo que siempre se encuentra en el interior de los frutos. Este comportamiento explica porque no es viable el uso de atrayentes 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 colombiana 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 requieren 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.

Tabla 32.2. Duración de los estados biológicos de *Hypothenemus hampei* en grados-día* y en días, a una temperatura de 21°C en promedio (Ruiz 1996).

Estado	grados–día	Días
Huevo	43,8	9
Larva	82,1	19
Pupa	65,9	11
Melanización del adulto	35,4	7
Total	**237,2**	**46**

* Según temperatura base de 16,5°C para todos los estados.

En estudios realizados en Colombia en cafetales establecidos entre 1.200 y 1.350 m de altitud, 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 del fruto hasta el momento de 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) (Tabla 33.3) (Ruiz 1996). También se debe tener en cuenta la diferencia de tiempo que existe en el desarrollo de los frutos del café en Colombia, que haría variar estos datos. Cuando se encuentra el cafetal a unos 1.200 m de altura (22°C), el desarrollo desde floración a cosecha puede tomar siete meses, pero a 1.800 m de altura (19°C) este desarrollo puede ser de nueve meses (Jaramillo y Guzmán, 1984; Vélez *et al*., 2000).

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 ésta 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.,* 2007).

La información anterior muestra la importancia de realizar a tiempo las labores de control dirigidas a los adultos, ya que una vez la broca alcanza el endospermo sólo puede controlarse 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 cafeto suele florecer después de las lluvias que siguen a un período de sequía (déficit hídrico), en la región cafetera central se presentan al año dos períodos definidos de floraciones, correspondientes a la cosecha principal del segundo semestre y a la "mitaca" o cosecha del primer semestre. El primer período va de mediados de marzo a finales de mayo y el segundo, desde principios de septiembre hasta finales de noviembre (Arcila *et al*., 1993; Camayo y Arcila, 1997; Vélez *et al*., 2000).

Estudios sobre el desarrollo del fruto del café en la zona central cafetera de Colombia (Salazar *et al*., 1993; Jaramillo y Guzmán, 1984), han mostrado que entre la antesis y la maduración del fruto para cosechar 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 a partir de los 60 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 (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 ésta toma hasta 90 días cuando ataca frutos de 60 días de edad (Tabla 33.3).

El registro de las floraciones en las fincas 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 para lograr una mayor eficiencia para controlar las poblaciones de la broca que estén penetrando los frutos.

Tabla 33.3. Período de preoviposición de la broca del café en frutos de café Variedad Castillo®, de diferentes edades de desarrollo (Ruiz 1996).

Edad fruto	Consistencia del fruto	Peso seco del fruto (%)	Período preoviposición (Días)
60	acuoso	10,9	91
90	semilechoso	14,6	63-77
120	lechoso	20,0	9-14
150	consistente	26,7	4-5
210	duro	34,2	4
240	duro-maduro	33,1	4

Efecto de la humedad y la temperatura sobre la broca

La humedad afecta la mortalidad y el potencial reproductivo de la broca. A bajas humedades ocurre alta mortalidad mientras que la máxima fecundidad se registró entre 90 y 93,5% de humedad relativa (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 períodos prolongados de sequía en los cafetales causan una maduración acelerada de los frutos, por lo que la almendra es más pequeña y deformada por la falta de agua, lo que da como resultado café de calidad inferior. También, se puede producir la caída de frutos y si éstos están infestados con la broca, ésta continúa reproduciéndose en su interior. La broca, como se dijo antes, no emerge de los frutos durante los períodos secos, solamente inicia su salida cuando comienzan las lluvias. Durante los períodos lluviosos, la emergencia de adultos de broca es continua pero en cantidades bajas, debido a que por efecto de las precipitaciones la broca no permanece mucho tiempo en los frutos y su reproducción es menor (Cenicafé, 1997, 1998).

Efecto de la broca sobre la producción de café

El daño que ocasiona la broca consiste en perforaciones a los frutos y caída de éstos cuando atacan cerezas jóvenes. Se encontró que cuando la broca ataca frutos de dos meses de edad, más del 50% de los frutos afectados se caen 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 de 18,1%, en promedio, y los frutos que fueron atacados tempranamente se maduraron antes de tiempo, lo cual repercutió en un manchado del pergamino de los granos sanos (Alzate[2]).

Componentes del manejo integrado de la broca del café

Muestreo y umbrales de daño económico

El daño causado por la broca hace que se deban tomar medidas de control eficientes, en el momento oportuno y cuando el insecto amenace con 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 (Cochran, 1977; Elliott, 1977; Southwood, 1978; Taylor, 1984). 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 (tamaño de la muestra) y en cada sitio se escoge un árbol y en éste se selecciona una rama en la zona productiva, que tenga entre 30 y 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 está basada en la calibración de la población de frutos en una rama por medio de una medida. Este muestreo es más rápido y la información generada es estadísticamente igual al muestreo de las ramas (Bustillo y Mejía, 2003; Trujillo *et al.,* 2006).

Estos planes de muestreo son apropiados y aconsejables para evaluar niveles de infestación de la broca, siempre y cuando se realicen 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).

[2] ALZATE, V. A. 1993. Rendimiento y porcentaje de infestación del café cereza atacado por broca. Cenicafé, Informe de labores no publicado, Cenicafé, Chinchiná, 14 p.

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 *et al*., 1998; Bustillo, 2002).

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 el café pergamino, significa que los cafetales al momento de la cosecha no deben tener más del 5% de infestación. El 5% de infestación de café cereza produce 2,5% de infestación en el 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 de beneficio del café un 20% del café brocado se puede separar, lo que resulta en 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 de infestación durante los períodos entre cosechas no debe sobrepasar el 2%, con el fin de no correr riesgos. Datos de infestación de broca en cafetales se han relacionado con la infestación al momento de beneficiar el grano de café pergamino. En la Tabla 33.4, se observa como esta relación es menor a medida que los niveles de infestación en el campo se incrementan.

Tabla 33.4. Porcentajes de infestación por broca en cafetales (IC) y en café pergamino seco (ICPS) y su relación por cada punto porcentual de infestación en CPS.

IC	ICPS	IC / ICPS
1,4	0,4	3,5 : 1,0
6,2	1,6	3,9 : 1,0
11,4	6,5	1,8 : 1,0
12,1	6,6	1,8 : 1,0
18,5	9,9	1,9 : 1,0
25	10,7	2,3 : 1,0
37,1	14	2,7 : 1,0
41,7	26,6	1,6 : 1,0
63,4	45,3	1,4 : 1,0

Con frecuencia, los cafeteros afirman que los niveles de infestación en el campo no se correlacionan con las mediciones al momento de la venta de café. Sin embargo, esto se puede explicar debido a diferentes circunstancias como: 1) las evaluaciones no se realizan 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 pases de cosecha, por lo tanto muchos frutos brocados caen y posteriormente dan lugar a la emergencia de brocas y al incremento de los niveles de infestación en los frutos que maduran 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 han evaluado trampas cebadas con mezclas de alcoholes para detectar los vuelos de broca. Se ha demostrado que la broca del café es atraída a trampas cebadas con una mezcla de alcoholes (metanol y etanol, en proporción de 3:1) y los datos de las capturas muestran que estas trampas localizadas en los cafetales sirven como una herramienta de alerta a los caficultores, para conocer cuándo la broca está volando en busca de nuevos frutos (Dufour, 2002; Posada *et al.,* 2003; Bustillo y Jiménez, 2003). En estudios previos se ha documentado la atracción que ejercen las 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 (Mendoza, 1991; Cárdenas, 2000).

En experimentos de libre elección, las hembras adultas de la broca prefirieron las cerezas rojas a las verdes y fueron más atraídas a volátiles emitidos por las cerezas rojas (Giordanengo *et al.,* 1993; Mendoza *et al.,* 1999). En un estudio Ortiz *et al*. (2004) encontraron que la emisión de volátiles de frutos de café era mayor en aquellos 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. Los frutos sobremaduros tienen emisiones de volátiles más altas y muestran una composición en la que predominan los ésteres seguida de alcoholes, quetonas y aldehídos. Los compuestos de niveles más bajos fueron los monoterpenos. En varios estados de maduración del fruto del café se encontró el 2 metil-furán; este compuesto no se había registrado con anterioridad como un volátil de la cereza del café (Ortiz *et al.,* 2004). Cabe anotar que en este estudio los investigadores no utilizaron equipos o técnicas para el registro del metanol. Otros investigadores han encontrado monoterpenos diferentes, como: ß-mirceno, 1-fellandreno, α-terpineno, ß-ocimeno y (+)-2-careno (Mathieu *et al*., 1998). Es posible que la capacidad de atracción de la broca a estas trampas se pueda incrementar con la adición de alguno de estos monoterpenoides.

Recientemente se ha desarrollado un difusor plástico para el atrayente de la broca, que permite la liberación de los alcoholes a una tasa específica (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, Costa Rica (Borbón *et al.,* 2002) y Colombia (Bustillo y Jiménez, 2003). 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 (Figura 33.2).

En Colombia, las evaluaciones muestran que estas nuevas trampas capturan más brocas que las convencionales que se venían evaluando con difusores de los alcoholes en pequeños recipientes, con capturas que se multiplican por 200 (Bustillo, 2004a). Las trampas cebadas con atrayentes para la captura de la broca son una herramienta importante para estudiar la dinámica de los vuelos de ésta en los cafetales (Figura 33.2). Por medio 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 éstos 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 esté perforando los frutos de café (Bustillo, 2004a).

En las localidades en donde la cosecha principal se presenta 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 registran entre marzo y abril. Si se logra establecer una red de trampas en una región y se centraliza el análisis de la información, ésta se puede convertir en un mecanismo de alerta para el caficultor en las diferentes regiones cafeteras (Bustillo, 2005). Recientemente, Cenicafé inició la publicación de boletines de alerta sobre la broca, basados en la captura de adultos en trampas diseminadas en varios lugares del país. También se adelantan investigaciones para determinar densidades óptimas de trampas por área, con el fin de establecer su viabilidad en la reducción de los 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, juegan 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 están dejando frutos para que la broca continúe con su reproducción. Por otra parte, aunque la broca se considera una plaga de la parte aérea del árbol, 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 caídos infestados es capaz de atacar frutos sanos, que también se encuentren en el suelo (Bustillo *et al*., 1998). Los frutos infestados por la broca que caen al suelo constituyen el mayor problema para el caficultor. Avances recientes de la investigación muestran como el equipo para la cosecha manual asistida de café "Aroandes" puede ser una herramienta muy importante para reducir la caída de frutos al suelo (López *et al.,* 2006). En caso de que se presente un alto número de frutos en el suelo, se puede acudir a su recolección con la ayuda de una aspiradora Cifarelli, cuya eficacia ha sido validada en muchas fincas[3] (Figura 33.3).

[3] LÓPEZ, H. A.; OLIVEROS, C.; BUSTILLO, A. E.; DUQUE, H. 2005. Evaluación de la Recolección de frutos de café caídos en la cosecha con la aspiradora Cifarelli V77S en esquema de Investigación Participativa (IPA). Informe interno Cenicafé. 15 p.

Figura 33.2. Trampa "Brocatrap" cebada con el atrayente Brocalure para la captura de adultos de broca del café (Foto A. Bustillo).

Figura 33.3. Máquina aspiradora Recmax para recolectar frutos de café del suelo (Foto G. Hoyos).

Los frutos que normalmente los cosecheros no recolectan en el tercio inferior de los árboles, aunque pocos, también son un reservorio muy importante para la reproducción de la broca. Estudios en Cenicafé han mostrado que estos cafetales con mucho follaje en su tercio inferior, se pueden podar apropiadamente para evitar esta infestación[4]. La práctica de los cosecheros de arrojar al suelo los frutos verdes de su dispositivo de recolección se puede obviar con el uso del Aroandes, ya que con esta herramienta no tienen la opción de retirar de su masa de café recolectada los frutos verdes (Figura 33.4).

Figura 33.4. Dispositivo Aroandes para asistir la cosecha manual del café, el cual reduce la caída de frutos al suelo, y las poblaciones de frutos infestados por broca (Fotos G. Hoyos).

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

Los frutos sobremaduros y especialmente los secos, constituyen el reservorio de donde surgen las poblaciones que van a dañar la siguiente cosecha. En los frutos secos denominados "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 sobremaduros y secos (repase) después de la cosecha, como práctica fundamental para mantener bajos niveles de daño por broca en la finca (Cenicafé, 1994b).

[4] CASTRO, B. 1998. Poda de ramas en el tercio inferior de cafetos. Informe interno Cenicafé, Chinchiná, Colombia.

Los frutos "guayaba" recolectados se deben 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, estos frutos se pueden secar a 55°C, durante unos 30 minutos. En caso de que no se pueda realizar lo anterior, otra alternativa es hacer una fosa en la finca y depositar los frutos en ella, cubriéndolos con una capa de tierra de unos 10 cm de espesor (Cenicafé, 1994a, 1995b).

En Colombia, se demostró que las prácticas de cosecha oportuna 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 (Saldarriaga, 1994; Peralta, 1995). Estudios posteriores indican que es factible que los cosecheros reduzcan el número de 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 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 y alrededor de las tolvas recolectoras (Cenicafé, 1994a). Por lo tanto, las labores de control se deben intensificar en la evaluación y control de las poblaciones de broca 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 comprobado en estudios sobre el 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 el beneficio y en sus alrededores 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 y que contribuyen a la reducción de las poblaciones de broca, a continuación se discuten las más importantes (Bustillo, 2002).

La siembra de la Variedad Castillo®, además de ser resistente a la roya (Alvarado y Moreno, 1999), presenta ventajas en relación con la broca, especialmente porque permite un mejor establecimiento del hongo *B. bassiana*, al no tener que hacer aplicaciones de 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.

La disposición de los árboles en el campo es muy importante (Mestre y Salazar, 1995), ya que permite a los jornaleros desplazarse eficientemente dentro de los cafetales, para hacer labores de Re-Re, evaluación de infestaciones y aspersiones para el control de la broca. Por otra parte, las labores de poda y deschuponamiento en los cafetales, hechas oportunamente, permiten que la cosecha y el Re-Re se ejecuten de la mejor forma. Se considera que en siembras nuevas se utilicen distancias de 2 m entre calles y 1 m entre plantas, con dos tallos por planta.

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 realizar el Re-Re, por lo que se quedan muchos frutos maduros en los cafetales y se caen al suelo muchos frutos infestados. Bajo estas condiciones, en un programa de renovación por lotes, normalmente los lotes de 4 y 5 años son los más viejos y con problemas de broca, en el resto el insecto se controla con labores de buena recolección y prácticas agrícolas apropiadas, como se mencionó anteriormente. Esto quiere decir que el control de la broca se concentra sólo en el 40% de la finca (Bustillo, 2002).

El uso del selector de arvenses (Figura 33.5) para aplicar herbicidas en una forma selectiva y así controlar plantas indeseables (arvenses agresivas), 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, ya que parasitoides como *C. stephanoderis,* han mostrado que se alimentan del néctar de las arvenses nobles, favorecidas por el selector (Salazar y Baker, 2002).

En el proceso de beneficio son muchas las actividades que se pueden hacer para evitar que la broca vuelva a los cafetales. Una es mantener las tolvas de recibo cubiertas con una tapa impregnada con grasa, para que las brocas que salgan queden atrapadas (Aristizábal *et al*., 2002). El despulpado del café sin agua (Álvarez, 1991), permite reducir los caudales de agua y evita que la broca salga flotando por los 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 éstos. El tener un silo para secar el café, 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 (Oliveros *et al*., 1995; Oliveros y Roa, 1995), es muy importante para evitar que la broca escape durante el proceso. 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 pergamino infestado (Figura 33.6).

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 afectar sus poblaciones. Estos estudios permitieron identificar la presencia de nueve entomopatógenos, un parasitoide de adultos y ocho depredadores, lo que demuestra la biodiversidad del ecosistema cafetero colombiano y especialmente al tratarse de una plaga como la broca de reciente introducción a este hábitat (Bustillo, 1995). Esto confirma la importancia de preservar el ecosistema con medidas de control que no afecten la fauna benéfica y así el cafetero se favorece al tener que hacer menos esfuerzos físicos y económicos para el control de la plaga (Bustillo *et al*., 1998, 2002).

Es importante anotar el papel que juegan las hormigas predadoras de la broca del café. Vélez (2002) estudió el comportamiento y efecto que tienen varias especies de hormigas sobre poblaciones de la broca, las más importantes son: *Solenopsis geminata*, *Dorymyrmex* sp., *Pheidole* sp., *Mycocepurus smithii* y *Gnamptogenys* sp. Algunas de ellas como la última especie, son capaces de trepar a los árboles y predar adultos que están intentando dañar los frutos (Figura 33.7), otras se introducen en los frutos infestados y depredan

Figura 33.5. Selector de arvenses para mantener coberturas que eviten la erosión del suelo y a la vez favorecer la biodiversidad de la fauna benéfica. (Foto A. Bustillo).

Figura 33.6. Sistema Becolsub para el beneficio del café, contribuye a un menor escape de la broca del café durante el proceso de beneficio del café. (Foto A. Bustillo).

Figura 33.7. Hormiga del género *Gnamptogenys* predando adultos de la broca que están penetrando los frutos de café (Foto G. Hoyos).

sobre todos los estados de broca que encuentran en su interior, y existen otros grupos que sólo actúan a nivel del suelo y afectan las poblaciones de broca que se encuentran en frutos caídos. Vélez *et al.* (2006), también evaluaron el impacto de la depredación de hormigas en el café pergamino infestado por la broca durante el proceso de secado al sol. De ahí la importancia de reconocer estas especies y proteger sus nidos. Recientemente, Armbrecht y Gallego (2007) probaron experimentalmente la alta depredación de hormigas que habitan el suelo sobre la broca del café, ésta fue mayor en cafetales con sombrío de árboles y en la época de lluvias, en el municipio de Apía (Risaralda, Colombia).

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 conocía 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, 1995; Portilla y Bustillo, 1995; Orozco y Aristizábal, 1996; Bustillo *et al*., 1996; Orozco, 2002). 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 de los parasitoides para poder iniciar las liberaciones de avispitas en fincas cafeteras infestadas con la broca (Figura 33.8). De estos parasitoides se liberaron más de 1.700 millones, en cafetales de todo el país en un período de cinco años, por medio 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).

El comportamiento de *C. stephanoderis* y *P. nasuta* es bastante similar. Estos parasitoides 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 ínstar y posteriormente, paralizan las larvas de segundo ínstar, las prepupas y las pupas, sobre las cuales ovipositan y se desarrollan (Bustillo *et al*., 1996). Debido a este comportamiento estas especies se liberan en cafetales que tengan frutos maduros, sobremaduros y secos que no fueron recolectados y se quedaron en el árbol. Por lo tanto, las épocas más oportunas para liberar las avispitas 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), y en el caso de *P. nasuta* estos niveles están entre el 60 y 70% de depredación (Bacca, 1999).

Estudios de campo han mostrado el potencial de *C. stephanoderis* y *P. nasuta* como controladores, con reducción de los niveles 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* depende 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 *P. nasuta* y *C. stephanoderis*, comprobaron la presencia de ambas especies en los cafetales. Sin embargo, *P. nasuta* demostró mayor 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 adelantó con *Phymastichus coffea,* parasitoide de adultos de la broca (Figura 33.9). Para esta especie también se desarrolló un proceso de producción masiva (Orozco y Aristizábal, 1996; Orozco, 2002) y después de comprobar su selectividad a especies de la subfamilia 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, y es un complemento ideal para las otras dos especies. En el campo se ha comprobado una alta capacidad de búsqueda de *P. coffea* sobre poblaciones de la broca (Vergara *et al.,* 2001a; Echeverry, 1999), aun en presencia de poblaciones de broca por debajo del 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, y encontraron que es mayor cuando la broca aún se encuentra en posición de penetración del fruto y además, la edad de éstos está entre los 70 y 170 días

Figura 33.8. Adulto de broca con orificio en la parte distal del abdomen por donde emergió el parasitoide *Phymastichus coffea* (Foto G. Hoyos).

Figura 33.9. Laboratorio de producción masiva de los parasitoides de la broca del café, *C. stephanoderis, P. nasuta y P. coffea* (Foto A. Bustillo).

después de la floración. Por otra parte Aristizábal *et al.* (2004b), por medio de investigación participativa con caficultores, afirman 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 están mostrando la recuperación solamente de la especie *P. nasuta,* en cafetales de varios departamentos, en algunos casos con altos niveles de parasitismo (Maldonado y Benavides, 2008). 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, Brasil.

Uno de los cuellos de botella para masificar el uso de los parasitoides de la broca ha sido el costo de su producción. Los procesos de cría, utilizando café cereza y pergamino, han tratado de reemplazarse por dietas artificiales (Ruiz *et al*., 1996; Portilla y Bustillo, 2005). Estudios en los últimos años han mostrado avances en la optimización de la dieta artificial con la producción de muchas generaciones continuas (> 80) en el laboratorio, en estos sustratos (Portilla, 1999a, 1999b, 2000; Portilla *et al.* 2000). Sin embargo, los intentos por lograr una mecanización de estos procesos para reducir la mano de obra han sido infructuosos, y han dado como resultado sistemas de producción que requieren una gran y sofisticada infraestructura, la cual eleva 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. Cenicafé posee 102 aislamientos procedentes de diferentes países y recolectados localmente, de los cuales aproximadamente la mitad han mostrado actividad contra la broca (Posada y Bustillo, 1994). Con el fin de masificar el uso de este hongo, la investigación inicial se centró en los procesos de producción artesanal (Antía *et al*., 1992; Marín y Bustillo, 2002) e industrial (Morales *et al*., 1991). Esto permitió adelantar evaluaciones sobre su eficacia en los cafetales y tener el inóculo 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 en la industria se ha transferido a productores particulares, para que se encarguen de la producción del hongo.

En la actualidad existen más de 30 laboratorios comerciales, muchos con licencia del ICA, que suministran el hongo formulado para el control de la broca. Durante 1992 se utilizaron cinco toneladas de hongo a una concentración de $1x10^8$ 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 con al menos $1x10^9$ esporas/gramo. Con estas cantidades se logró inocular toda la zona cafetera, en donde la broca hacia su aparición.

El desarrollo de bioensayos (González *et al*., 1993; Posada *et al.,* 2002) 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 (Figura 33.10).

Una broca muerta infestada por *B. bassiana* (Figura 33.11) y completamente cubierta con cuerpos fructíferos del hongo puede producir unas 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 ésta 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* en la broca, en el laboratorio se completa en 8,2 días, en promedio, 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 y 30 días. Se ha demostrado también la importancia de pasar el hongo *B. bassiana* a través de insectos para reactivar su virulencia. Cuando se cultiva el hongo

Figura 33.10. Formulaciones comerciales del hongo *Beauveria bassiana* para el control de la broca del café (Fotos P. Marín).

Figura 33.11. Hongo *Beauveria bassiana* principal factor de mortalidad de la broca del café. Una broca completamente esporulada puede producir 10 millones de conidias (Foto G. Hoyos).

en medios artificiales por tres o más generaciones su virulencia se reduce considerablemente, y el promedio del tiempo para causar mortalidad en la mitad de la población se incrementa, en comparación con el hongo activado sobre la broca (González *et al*., 1993).

En otros estudios se ha explorado el efecto de la radiación solar sobre *B. bassiana* (Vélez y Montoya, 1993), y se encontró 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 (Bustillo *et al*., 1991, 1995; Bustillo y Posada, 1996; Flórez *et al*., 1997). Los resultados son muy variables y están influenciados por las condiciones climáticas y del cultivo, los niveles de control pueden fluctuar entre valores muy bajos, por ejemplo 20%, hasta niveles del 75%. Las investigaciones sobre equipos para asperjar el hongo *B. bassiana* demostraron que éste se puede aplicar eficientemente con todos los equipos disponibles para el cultivo del café (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 ésta es independiente del porcentaje de infestación de broca. En relación con la sombra, se encontró que la eficacia del hongo se incrementaba con la sombra; no obstante, esta respuesta 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 al relacionarla 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 bajeras, debido probablemente a una mayor condición de humedad y de menor radiación solar. Mediciones previas de la radiación fotosintéticamente activa (RFA), mostraron que los dos tercios superiores del árbol reciben significativamente más RFA que el inferior (Arcila *et al*., 2006).

Así mismo, se evaluó la permanencia o residualidad de *B. bassiana* Bb9205 en una preparación sin formular en el cafetal, infestando con broca las ramas del árbol el mismo día y 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 de Bb9205, entre $1x10^8$ y $5x10^9$ esporas/árbol, 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 (Bustillo 2004b).

Efecto de hongos sobre la broca en frutos en el suelo

Se evaluó el efecto de aspersiones de *Beauveria 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 a los 25 días de nuevo alcanzó un pico 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, las cuales 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.* La eficacia lograda en este estudio se podría mejorar con otro tipo de formulaciones del hongo, por ejemplo: una formulación granulada que permitiera una mayor permanencia en el suelo, para evitar la lixiviación o arrastre causada por las lluvias.

Por medio 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 *B. bassiana* está 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 la 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 y con el ambiente, y orgánicos, entre otros, se considera que organismos como *B. bassiana* son una alternativa muy valiosa en la reducción de los problemas de plagas.

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 (Jiménez, 1992; Bernal *et al*., 1994), sus características fisiológicas y de reproducción (Valdés *et al.,* 1999; Vélez *et al*., 1999, 2001), por medio de técnicas moleculares (Valderrama *et al.,* 2000; Gaitán *et al.,* 2002). 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 *et al*., 2000; Góngora, 2005; Rodríguez y Góngora, 2005), pero aún 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 pueden lograr controles más eficientes de la broca en los cafetales (Cárdenas *et al*., 2007).

Compatibilidad de los parasitoides con otros métodos de control

Los hongos *B. bassiana* y *M. anisopliae* cuando se expusieron en el campo, sobre 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 la aplicación de los hongos y la liberación de los parasitoides sea de ocho días, para disminuir los riesgos de infección en el parasitoide (menores al 7%). El riesgo de la infección en los parasitoides se reduce si éstos se liberan antes de asperjar los hongos (Reyes *et al*., 1995; Mejía *et al*., 2000).

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 (Guzmán, 1996; Bustillo *et al.,* 1998).

Los entomonematodos y la broca del café

Debido a la condición de la broca de estar presente en los frutos que se encuentran en el suelo y a que ésta es la mayor dificultad para el cafetero en el manejo de este insecto, se ha considerado que los entomonematodos, 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 de dos registros de nematodos atacando poblaciones de broca en el campo, uno de 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 *et al*. (2002) encontraron un nematodo parasitando adultos de broca que estaban en frutos provenientes del suelo en cafetales. Este entomonematodo ha sido descrito como nueva especie, *Metaparasitylenchus hypothenemi* Poinar (Nematoda: Allantonematidae), y se indica que esteriliza parcial o totalmente la hembra de *H. hampei* (Poinar *et al*., 2004).

Las investigaciones con los nematodos *Steinernema colombiense* López y *Heterorhabditis bacteriophora* Poinar, encontrados en los ecosistemas cafeteros en Colombia (López *et al*., 2008; López y Stock, 2007), se han enfocado a determinar la patogenicidad de éstos sobre la broca del café, su comportamiento y estrategias de búsqueda del huésped (Molina y López, 2002, 2003), ciclo de vida (López, 2002), evaluación

de sistemas de aplicación (Lara y López, 2005) y evaluaciones en invernadero y en el campo, en pequeña escala (Giraldo, 2003; Lara *et al.,* 2004). También se han estudiado las relaciones evolutivas y de diversidad de especies de nematodos en Colombia (López *et al.,* 2007a). Algunas de estas especies, como las mencionadas arriba, han mostrado ser capaces de llegar a los frutos infestados por la broca en el suelo y reducir sus poblaciones (Lara *et al.,* 2004).

No obstante los avances en producción masiva de entomonematodos en el entorno mundial durante los últimos 15 años, 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 que 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 (Villalba *et al.*, 1995; Bustillo *et al*., 1998; Posada *et al.*, 2004).

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 aumentó el tiempo después de la infestación de la broca. También se encontró que existen otras formulaciones diferentes al endosulfán, de igual o mayor eficacia en el control de *H. hampei*, como pirimifos metil, fenitrotion, clorpirifos, fention, 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, 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 ésta 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 conoce 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 (Tabla 33.5). 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*., 2007).

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 realizadas en la zona cafetera central se demostró que la eficacia de algunos insecticidas se puede incrementar usando coadyuvantes, en proporción de 0,75 L/ha, y reduciendo sus dosis de 1,5 a 1,0 L/ha[5]).

Tabla 33.5. Eficacia de insecticidas para el control de *Hypothenemus hampei* en frutos infestados de diferentes edades (Villalba *et al*., 2007).

Insecticidas	Edad del fruto en días					
	60	90	120	150	180	210
fenitrotion	100 a*	100 a	99,7 a	99,7 a	93,0 a	72,3 b
fention	100 a	98,6 a	100 a	80,8 b	78,8 b	75,7 b
clorpirifos	100 a	100 a	100 a	99,7 a	91,2 a	94,0 a
pirimifos metil	100 a	100 a	99,7	90,6 a	93,4 a	95,7 a
endosulfán	100 a	100 a	100 a	98,9 a	98,8 a	91,8

* Datos con letras distintas indican diferencia estadística de acuerdo con la prueba de comparaciones Tukey al 5%.

[6]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.

El uso irracional de insecticidas puede causar muchos problemas, como es el caso del desarrollo de resistencia del insecto a estos productos. 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 explica la resistencia de la broca a los insecticidas organoclorados, encontrada inicialmente en Nueva Caledonia (Brun *et al*., 1989). Esta resistencia luego fue comprobada mediante pruebas moleculares (Ffrench-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 se favoreció en Nueva Caledonia, a través de procesos de selección, cuando insecticidas del grupo de los ciclodienos (DDT, lindano y endosulfán), se aplicaron de manera constante y generalizada a partir de 1966. En menos de 20 años los niveles de infestación por broca alcanzaron sus máximos históricos y se documentó la resistencia genética (Brun *et al*., 1989). Esta resistencia se ha detectado en Colombia (Góngora *et al.,* 2001), comprobándose que en la población de broca existe la mutación que confiere resistencia al endosulfán, la cual con prácticas de control no apropiadas en los cafetales se encarga de incrementar la frecuencia del gen en la población.

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, con la reducción de las poblaciones de la broca en los cafetales y la producción de café para exportación (Benavides y Cárdenas, 1995; Benavides *et al*., 2002). 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 ésta 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 avispita (Cantor *et al*., 2008).

El uso de insecticidas es eficaz para el tratamiento de áreas en cafetales o "focos" donde la broca está 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 endosulfán, se encuentra prohibido en Colombia y en otros países, como los pertenecientes a la Unión Europea y Brasil[6]. 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 para prevenir la contaminación ambiental y los riesgos sobre las 560.000 familias cafeteras.

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, al tratarse de un concepto o filosofía de manejo de plagas bastante complejo para ser asimilado fácilmente por los agricultores (Duque y Cháves, 2000). Los resultados de las investigaciones para el control de la broca se han extendido a 800.000 hectáreas 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.,*

[6] Consejo de Estado. República de Colombia, Diario Oficial Expediente 5483/01 de 23 de marzo de 2001.

2004a, 2004b). Esta estrategia actualmente está siendo institucionalizada por el Servicio de Extensión de la Federación Nacional de Cafeteros.

El impacto de estos resultados de investigación lo soportan las estadísticas de Almacafé, organización del sector cafetero encargada del almacenamiento y la exportación del café en Colombia. Los niveles de café pergamino infestado por la broca del café que llegan a estos silos, se han reducido considerablemente (Figura 33.12). En 1993, en el país los promedios de los niveles de infestación por broca alcanzaban el 16% del café almacenado. En los últimos años, los niveles se han mantenido bajos, es así como para el 2004 eran menores del 3,2% (Abisambra, 2004) y en el 2007 estaban en 2,1% (FNC, 2007). Esto ha permitido que la producción de café colombiano se siga comercializando hacia el exterior sin problemas y ha favorecido enormemente la economía del sector cafetero colombiano, que teniendo en cuenta los precios actuales (marzo 2008) del café en el mercado internacional, se estima que representan ahorros cercanos a US $ 150 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 los 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 sólo desean una buena taza de café sino que esté libre de residuos tóxicos, provenientes de malas prácticas durante su producción y procesamiento.

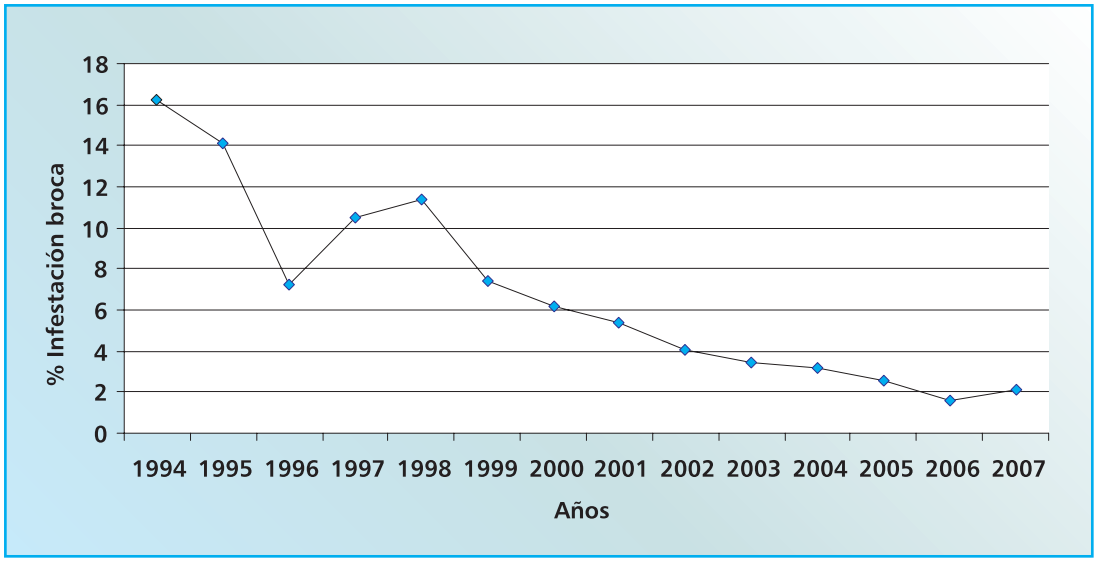


Figura 33.12. Registros de porcentajes de café pergamino seco infestado por *H. hampei*, recibido en las bodegas de Almacafé entre 1994 y 2007 (Informes Almacafé - FNC).

Consideraciones finales

La broca del café es un problema muy serio para los caficultores y las investigaciones se han enfocado abarcando múltiples aspectos, con el fin de enmarcarlas dentro de un esquema de manejo integrado que reduzca las poblaciones de la broca, 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 aún 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 alimentarios y de anidación, para que se puedan manipular y lograr que prosperen en sitios donde no estén presentes.

La producción masiva de parasitoides usando dietas artificiales para producir en ellas la broca en una forma continua, requiere del desarrollo de procesos mecanizados y demostrar que se puede producir la broca y sus parasitoides a costos más reducidos que los actuales.

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. Se requiere más investigación en tecnología de aspersiones, para determinar los volúmenes de aplicación por área, debido a que se supone que las cantidades utilizadas con insecticidas químicos no son apropiadas para las formulaciones basadas en hongos.

Los entomonematodos pueden llegar a ser una herramienta para el control de poblaciones de la 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.

Uno de los factores clave en el manejo de la broca son los frutos que caen al suelo por actividades que se realizan en los cafetales, especialmente durante la cosecha. Recientemente, Cenicafé a través de la disciplina de Ingeniería Agrícola ha desarrollado equipos para cosecha manual y aspiradoras para recoger los frutos del suelo, que pueden contribuir enormemente a subsanar el problema de los frutos infestados por broca en el suelo.

En general, los niveles de infestación de la broca en Colombia se han reducido bastante debido a la acción de la FNC a través del Servicio de Extensión, que ha logrado llevar el mensaje resultante de los esfuerzos de investigación a los caficultores, para que puedan afrontar el problema de la broca en una forma más racional sin degradar el ecosistema cafetero colombiano. Sin embargo, la investigación continúa tratando de lograr avances que hagan más fácil y rentable la vida del caficultor colombiano.

La información de Almacafé y FNC (Figura 33.12) muestra cómo ha variado la infestación de la broca a nivel nacional, en el café pergamino comercializado en Colombia, entre 1994 y 2007, la cual se ha reducido a través de los años a niveles del 2,1%. Esto ha permitido que Colombia siga produciendo café de buena calidad para exportación, en presencia de la broca.

Literatura citada

ABISAMBRA, A. 2004. Informe Gerente General, ICA. Oficina Asesora de Comunicaciones del ICA, Comunicado, Bogotá, Colombia, febrero 23, 2004, 2 p.

ALVARADO, G.; MORENO G. 1999. ¿Cómo se distribuye anualmente la cosecha de las variedades Caturra y Colombia?. Cenicafé, Avances técnicos No. 260, Chinchiná, Colombia, 4 p.

ÁLVAREZ, J. 1991. Despulpado de café sin agua. Cenicafé, Avances técnicos No. 164, Chinchiná, Colombia, 6 p

ÁLVAREZ, J. E.; CORTINA, H. A. 2004. ¿Presenta partenogénesis *Hypothenemus hampei* Ferrari (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae)? Fitotecnia Colombiana (Colombia), 4 (1): 107-111. 2004.

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. Cenicafé, Avances técnicos No. 182, Chinchiná, Colombia, 12 p.

ARCILA, J.; JARAMILLO, A.; BALDIÓN, V.; BUSTILLO, A. E. 1993. La floración del cafeto y su relación con el control de la broca. Cenicafé, Avances Técnicos, No.193, Chinchiná, Colombia, 6p.

ARCILA, A.; BUSTILLO, A. E.; CHAVES, B. 2007. Estudio de la cepa Bb9205 de *Beauveria bassiana* en el control de la broca del café. Revista Cenicafé, en prensa. 20 p.

ARISTIZÁBAL, L. F. 2005. Investigación participativa en el manejo integrado de la broca del café. *In*: Memorias XXXII Congreso Sociedad Colombiana de Entomología, Socolen, Ibagué 27 – 29 de julio 2005, p. 65 – 71.

ARISTIZÁBAL, L. F.; BAKER, P. S.; OROZCO, J.; CHAVES, B. 1997. Parasitismo de *Cephalonomia stephanoderis* Betrem sobre una población de *Hypothenemus hampei* (Ferrari) con niveles bajos de infestación en campo. Revista Colombiana de Entomología, 23 (3-4): 157-164.

ARISTIZÁBAL, L. F.; BUSTILLO, A. E.; BAKER, P. S.; OROZCO, J.; CHAVES, B. 1998a. Efecto depredador del parasitoide *Cephalonomia stephanoderis* (Hymenoptera: Bethylidae) 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.; CHAVES, B. 1998b. Efecto del parasitoide *Cephalonomia stephanoderis* (Hymenoptera: Bethylidae) 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, Colombia, 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.

ARMBRECHT, I.; GALLEGO, M. C. 2007. Testing ant predation on the coffee berry borer in shaded and sun coffee plantations in Colombia. Entomologia Experimentalis et Applicata, 124 (3): 261–267.

BACCA, R. T. 1999. Efecto del parasitoide *Prorops nasuta* Waterston (Hymenoptera: Bethylidae) 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.

BARRERA, J. F.; GÓMEZ, J.; ALAUZET, C. 1995. Can the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) reproduce by parthenogenesis. Entomol. Exp. Appl. 77: 351-354.

BENAVIDES, P. 2005a. Aspectos genéticos de la broca del café, *Hypothenemus hampei*. *In*: Memorias XXXII Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología, Socolen, Ibagué (Colombia), Julio 27-29, 2005, p. 23-26.

BENAVIDES, P. 2005b. Distribución global de la broca del café: la versión molecular. *In*: Memorias XXXII Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología, Socolen, Ibagué (Colombia), Julio 27-29, 2005, 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 Sociedad Colombiana de Entomología, Socolen. Bogotá, julio 26 - 28, p. 74-78.

BENAVIDES, P.; ARÉVALO, H. 2002. Manejo integrado: una estrategia para el control de la broca del café en Colombia. Revista Cenicafé (Colombia), 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.; ROMERO-SEVERSON, 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 Biologico, 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, O.; MORA, A. O.; OEHLSCHLAGER, A. C.; GONZÁLEZ, L. M. 2002. Proyecto de trampas, atrayentes y repelentes para el control de la broca del fruto de cafeto, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae). Informe ICAFE, San José, Costa Rica, 18 p.

BRUN, L. O.; MARCILLAUD, C.; GAUDICHON, V.; SUCKLING, D. M. 1989. Endosulfán 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, (USA), 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. *In*: 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, Chinchiná, Colombia, 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 Sociedad Colombiana de Entomología, Socolen, Ibagué 27 – 29 de julio 2005, 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, A.; MEJÍA, 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. Cenicafé, Chinchiná, Colombia, marzo 2003, 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. Chinchiná, Colombia, 2 p.

BUSTILLO, A. E.; CASTILLO, H.; VILLALBA, D. A.; MORALES, E.; VÉLEZ, P. E. 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, (USA), p. 679-686.

BUSTILLO, A. E.; VILLALBA, D. A.; CHAVES, B. 1993. Consideraciones sobre el uso de insecticidas químicos en la zona cafetera en el control de la broca del café, *Hypothenemus hampei. In*: Memorias XX Congreso Socolen, Cali, p.152-158.

BUSTILLO, A. E.; VILLALBA, D. A.; OROZCO J.; BENAVIDES, P.; REYES, I. C.; CHAVES, 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 Cenicafé (Colombia), 47 (4): 215-230.

BUSTILLO, A. E; CÁRDENAS, R.; VILLALBA, D. A.; BENAVIDES, P.; OROZCO, J.; POSADA, F. J. 1998. Manejo integrado de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) en Colombia. Chinchiná, Cenicafé, Editorial Feriva, Cali, Colombia, 134 p.

BUSTILLO, A. E.; BERNAL, M. G.; CHAVES, B.; BENAVIDES, P. 1999. Dynamics of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* infecting *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) populations emerging from fallen coffee berries. Florida Entomologist, 82 (4): 491-498.

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 cafeto en condiciones de la zona cafetera colombiana (Chinchiná – Caldas). Cenicafé, Avances Técnicos, No. 245. Chinchiná, Colombia, 8 p.

CANTOR, F.; VILELA, E.; CURE, J. R.; BUSTILLO, A. E.; ARISTIZÁBAL, L. F. 2008. 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, R. 1983. La arañita roja del cafeto, *Oligonychus yothersi* McGregor. Cenicafé, Avances Técnicos No. 110, Chinchiná, Colombia, 2 p.

CÁRDENAS, R. 1985.La palomilla de las ramas del cafeto *Planococcus citri* (Risso) (Homoptera: Pseudococcidae.). Cenicafé, Avances Técnicos, No. 125, Chinchiná, Colombia, 2 p.

CÁRDENAS, R. 1991. La broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari 1867). *In*: 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). *In*: SIMPOSIO Latinoamericano de Caficultura, 19. San José (Costa Rica), Octubre 2-6, 2000. Memorias. ICAFE-PROMECAFE, p. 369-379.

CÁRDENAS, A. B.; VILLALBA, D. A.; BUSTILLO, A. E.; MONTOYA, E. C.; GÓNGORA, C. E. 2007. Eficacia de mezclas de cepas del hongo *Beauveria bassiana* (Bálsamo) Vuillemin en el control de la broca del café. Revista Cenicafé, en prensa.

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 Sociedad Colombiana de Entomología, Socolen, Manizales 26 – 28 de julio 2006. p. 133.

CASTAÑO, A.; BENAVIDES, P.; BAKER, P. S. 2005. Dispersión de *Hypothenemus hampei* en cafetales zoqueados. Revista Cenicafé (Colombia), 56 (2):142-150.

CASTILLO, A.; INFANTE, F.; BARRERA, J. F.; CARTA, L.; VEGA, F. E. 2002. First field report of a nematode (Tylenchida: Sphaerularioidea) attacking the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae) in the Americas. Journal of Invertebrate Pathology, 79: 199–202.

CENICAFÉ. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. 1994a. ¡Cuidado con los frutos secos en su cafetal! Brocarta No. 26, Chinchiná, Colombia, 2p.

CENICAFÉ. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. 1994b. Recomendaciones para manejar el grano cosechado en el Re - Re de los lotes más infestados con broca. Brocarta No. 25, Chinchiná, Colombia, 1 p.

CENICAFÉ. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ.1995a. ¿Cómo renovar cafetales que presenten infestaciones de la broca del café?. Brocarta No. 21, Chinchiná, Colombia, 4 p.

CENICAFÉ. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. 1995b. Cosecha de lotes calientes. Brocarta No. 28, Chinchiná, Colombia, 2 p.

CENICAFÉ. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. 1997. Influencia de las lluvias sobre la dispersión de la broca. Brocarta No. 32, Chinchiná, Colombia, 2 p.

CENICAFÉ. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. 1998. La broca del café y su relación con los fenómenos climáticos. Brocarta No. 34. Chinchiná, Colombia, 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 Cenicafé (Colombia), 46 (3): 164-175.

COCHRAN, W. G. 1977. Sampling techniques. 3rd ed., John Wiley and Sons, New York, 428 p.

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.

DHARMADASA, M. 1997. Population distribution and host preference of coffee berry borer, *(Hypothenemus hampei*, Coleoptera Scolytidae). 17th International Conference on coffee science, July, 20 –27, Nairobi, Kenya. A611.

DECAZY, B. 1990a. Descripción, biología, ecología y control de la broca del fruto del cafeto, *Hypothenemus hampei* (Ferr.). *In*: 50 años de Cenicafé 1938-1988, Conferencias conmemorativas. Chinchiná, Colombia, p.133-139.

DECAZY, B. 1990b. Niveles y umbrales de daños económicos de las poblaciones de la broca del fruto del cafeto, *Hypothenemus hampei* (Ferr.). *In*: 50 años de Cenicafé, 1938-1988, Conferencias conmemorativas, p.146-149.

DECAZY, B. 1990c. Métodos de muestreo para la determinación de poblaciones críticas de la broca del fruto del cafeto *Hypothenemus hampei* (Ferr.). En*:* 50 años de Cenicafé 1938-1988, Conferencias conmemorativas, Chinchiná, Colombia, p.140-145.

DIAZ, 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, Colombia, 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.; CHAVES, B. 2000. Estudio sobre adopción del manejo integrado de la broca del café. Cenicafé, Chinchiná, Colombia, 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, Colombia, 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 Cenicafé (Colombia), 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.* Revista Cenicafé (Colombia), 48 (2): 92- 98.

FNC. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. 2007. Informe anual de Gerencia Técnica, Sanidad Vegetal. Bogotá, Colombia, 3 p.

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 Sociedad Colombiana de Entomología, Socolen, Ibagué 27, 28 y 29 de julio 2005. 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.. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad de Caldas, (Tesis Ingeniero Agrónomo), 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*). *In*: Memorias XXXII Congreso Sociedad Colombiana de Entomología, Socolen, Ibagué, 27 – 29 de julio 2005, 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 endosulfán en una población de broca *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae) en Colombia. *In*: Resúmenes Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología, XXVIII, Socolen, Pereira, Colombia, agosto 8-10, 2001, p. 47-48.

GONZÁLEZ, M. O.; DUFOUR, B. 2000. Diseño, desarrollo y evaluación del trampeo en el manejo integrado de la broca del café *Hypothenemus hampei (*Ferrari) en el Salvador. *In:* Memorias del XIX Simposio Latinoamericano de Caficultura. San José (Costa Rica): ICAFE-PROMECAFE, p. 381-396.

GONZÁLEZ, M. T.; POSADA, F. J.; BUSTILLO, A. E. 1993. Desarrollo de un bioensayo para evaluar la patogenicidad de *Beauveria bassiana* sobre *Hypothenemus hampei*. Revista Cenicafé (Colombia), 44 (3): 93-102.

GREATHEAD, D. J. 1968. Observations on coffee pest in Ethiopia. *In*: FAO Coffee mission to Ethiopia, 1964-1968. Rome, Italy, FAO, p. 71-82.

GUZMÁN, D. B. 1996. Efecto de varios insecticidas sobre el parasitoide de la broca del café *Cephalonomia stephanoderis* Betrem (Hymenoptera: Bethylidae). Universidad de Caldas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, (Tesis Ingeniero Agrónomo), Manizales (Colombia), 131 p.

ICA. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. 1989. Lista de insectos dañinos y otras plagas en Colombia. Bol. Técnico No. 43, 4a ed., Bogotá, 662 p.

JARAMILLO, A.; GUZMÁN, O. 1984. Relación entre la temperatura y el crecimiento en *Coffea arabica* L. variedad caturra. Revista Cenicafé, 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 Cenicafé (Colombia), 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 Cenicafé (Colombia), 43 (3): 84-88.

LARA, J. C.; LÓPEZ, J. C. 2005. Evaluación de diferentes equipos de aspersión para la aplicación de nematodos 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, H. A.; ROA, G.; PARRA – CORONADO, A. 2006. Evaluación del equipo "Aroandes", un prototipo para la cosecha manual asistida de café. Revista Cenicafé (Colombia), 57 (3): 208 – 219.

LÓPEZ, J. C. 2002. Nematodos 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. Cenicafé, Chinchiná, Colombia, marzo 18 al 22, 2002, p. 39–70.

LÓPEZ, J. C.; STOCK, P. 2007. First isolation of *Heterorhabditis bacteriophora* Poinar 1976 (Nematoda: Heterorhabditidae), in Colombia. Publication submitted to J. Invertebr. Pathol.

LÓPEZ, J. C.; CANO, L.; GÓNGORA C. E.; STOCK, S. P. 2007a. Diversity and evolutionary relationships of entomopathogenic nematodes (Steinernematidae and Heterorhabditidae) from the Central Andean region of Colombia*.* Nematology*,* 9 (3): 333-341.

LÓPEZ, J. C.; GÓNGORA, C. E.; PLICHTA, K.; STOCK, P. 2008. A new entomopathogenic nematode, *Steinernema colombiense* n. sp. (Nematoda: Steinernematidae) from Colombia. Nematology, 10 (4): 561-574.

LÓPEZ-VAAMONDE, C.; BAKER, P. S.; COCK, M. J. W; OROZCO, J. 1997. Dossier on *Phymastichus coffea* (Hymenoptera: Eulophidae, Tetrastichinae), a potential biological control agent for *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae), in Colombia. CABI, IIBC, Ascot, UK & Cenicafé, Chinchiná, Colombia, 23 p.

MALDONADO, C. E.; BENAVIDES, P. 2008. Establecimiento de los parasitoides betílidos *Cephalonomia stephanoderis* Betrem y *Prorops nasuta* Waterston, controladores de *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae) en Colombia. Revista Cenicafé (Colombia), en prensa, 14 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. Cenicafé, Chinchiná, Colombia, marzo 11 al 15 del 2002, p. 125 – 131.

MATHIEU, F.; BRUN, L. O.; MARCHILLAUD, C.; FREROT, B. 1997. Trapping of the coffee berry borer *Hypothenemus hampei* Ferr. (Col., Scolytidae) within a mesh enclosed environment: interaction on olfactory and visual stimuli. Journal of Applied Entomology, 121: 181-186.

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.; CHAVES, B. 2000. Efecto de cuatro insecticidas y de *Beauveria bassiana* sobre *Prorops nasuta* (Hymenoptera: Bethylidae), 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 estimulos visuais e semiquimicos. 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, p. 313-331

MESTRE, A.; OSPINA, H. F. 1994a. Estabilización de la producción en las fincas cafeteras. Cenicafé, Avances Técnicos, No. 200. Chinchiná, Colombia, 4 p.

MESTRE, A.; OSPINA, H. F. 1994b. Manejo de los cafetales para estabilizar la producción en las fincas cafeteras. Cenicafé, Avances Técnicos, No. 201. Chinchiná, Colombia, 8 p.

MESTRE, A.; SALAZAR, J. N. 1995. Producción de cafetales establecidos con una y dos plantas por sitio. Cenicafé, Avances técnicos, No. 213, Chinchiná, Colombia, 2 p.

MIGUEL, A. E.; PAULINI, A. E. 1975. Velocidade de penetração da broca do café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) no fruto do café. *In*: 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 nematodos 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 Cenicafé (Colombia), 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. *In*: 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 Cenicafé (Colombia), 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 partenogenética del cafeto, *Hypothenemus hampei* (Ferr.). Turrialba (Costa Rica), 39 (3): 415-421.

NCA. NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. 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.; CHAVES, 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, Chinchiná, Colombia, 4 p.

OLIVEROS, C. E.; SANZ, J. R.; RAMÍREZ, C. A.; ÁLVAREZ, J. R.; ROA, G.; ÁLVAREZ, J. 1995. Desmucilaginadores mecánicos de café. Cenicafé. Avances técnicos No. 217, Chinchiná, Colombia. 4 p.

OROZCO, J. 1995. Uso de parasitoides de origen africano para el control de la broca en Colombia. Memorias XXII Congreso de SOCOLEN. Bogotá, julio 26 - 28, 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, Chinchiná, Colombia,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. Chinchiná, Colombia, 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 Agricultural 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 (Colombia), 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, Colombia, 71 p.

POINAR, G. Jr.; VEGA, F. E.; CASTILLO, A.; CHÁVEZ, E.; INFANTE, F. 2004. *Metaparasitylenchus hypothenemi* n. sp. (Nematoda: Allantonematidae), a parasite of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Curculionidae: Scolytinae). Journal of Parasitology, 90 (5): 1106 – 1110.

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. 1999a. Desarrollo y evaluación de una dieta artificial para la cría de *Hypothenemus hampei*. Revista Cenicafé (Colombia), 50 (1): 24-38.

PORTILLA, M. 1999b. Mass rearing technique for *Cephalonomia stephanoderis* (Hymenoptera: Bethylidae) 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.; 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. *In*: Memorias CONGRESO de la Sociedad Colombiana de Entomología (SOCOLEN), 20. Cali, julio 13-16, 1993, 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. Chinchiná, Colombia, 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 (Colombia), 55 (2): 136 - 149.

QUINTERO, C; BUSTILLO, A. E.; BENAVIDES, P.; CHAVES, B. 1998. Evidencias del establecimiento de *Cephalonomia stephanoderis* y *Prorops nasuta* (Hymenoptera: Bethylidae) 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.; CHAVES, 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, Chinchiná, Colombia, 8 p.

RIVERA, H. 2000. El selector de arvenses modificado. Cenicafé, Avances técnicos No. 271, Chinchiná, Colombia, 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 33.de vida de la broca del café; *Hypothenemus hampei* (Ferrari). Universidad de Caldas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Manizales (Colombia), (Tesis: Ingeniero Agrónomo). 87 p.

RUIZ, L.; BUSTILLO, A. E.; POSADA, F. J.; GONZÁLEZ M. T. 1996. Ciclo de vida de *Hypothenemus hampei* en dos dietas merídicas. Revista Cenicafé (Colombia), 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. Chinchiná, Colombia, 4 p.

SALAZAR, H. M.; BAKER, P. S. 2002. Impacto de liberaciones de *Cephalonomia stephanoderis* sobre poblaciones de *Hypothenemus hampei*. Revista Cenicafé (Colombia), 53 (4): 306-316.

SALDARRIAGA, G. 1994. Evaluación de prácticas culturales en el control de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae). Tesis Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Medellín, Colombia, 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.

SYLVAIN, P. G. 1955. Some observations on *Coffea arabica* L. in Ethiopia. Turrialba (Costa Rica), 5: 37-53.

SYLVAIN, P. G. 1958. Ethiopian coffee. Its significance to world coffee problems. Economic Botany (USA), 12 (2):111-139.

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 (Colombia), 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.; CHAVES 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 y patogenicidad de aislamientos de *Beauveria bassiana* sobre la broca del café. Revista Cenicafé (Colombia), 50 (2): 106-118.

VALENCIA, C. A.; GIL, Z. N.; CONSTANTINO, L. M. 2005. Mariposas diurnas de la zona central cafetera colombiana: guía de campo. Cenicafé- FNC- Colciencias, Chinchiná, Colombia, 244 p.

VARAPRASAD, K. S.; BALASUBRAMANIAN, S.; DINAKAR, B. J.; RAO, R. C. V. R. 1994. First report of an entomogenous nematode, *Panagrolaimus* sp., from coffee-berry borer, *Hypothenemus gampei* (Ferrari) from Karnataka, India. Plant Protection Bulletin Faridabad, 46 (2-3): 34.

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 de 2002, p. 15 – 23.

VÉLEZ, M.; BUSTILLO, A. E.; POSADA, F. J. 2006. Depredación de *Hypothenemus hampei* por hormigas, durante el secado solar del café. Revista Cenicafé (Colombia), 57 (3): 198 – 207.

VÉLEZ, P. E.; MONTOYA, E. C. 1993. Supervivencia del hongo *Beauveria bassiana* bajo radiación solar en condiciones de laboratorio y campo. Revista Cenicafé (Colombia), 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, Chinchiná, 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. Chinchiná, Colombia, 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 (Colombia), 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 (Colombia), 52 (2): 104 – 110.

VILLALBA, D. A.; BUSTILLO, A. E.; CHÁVES, B. 1995. Evaluación de insecticidas para el control de la broca del café en Colombia. Revista Cenicafé (Colombia), 46 (3): 152-163.

VILLALBA, D. A.; BUSTILLO, A. E.; CHAVES, B. 2007. Eficacia de insecticidas para el control de la broca en relación con el desarrollo de los frutos de café. Revista Cenicafé (Colombia), en prensa.

WALLER, J. M.; BIGGER, M.; HILLOCKS, R. J. 2007. Coffee pests, diseases and their management. Part 1, Coffee as a crop and commodity. CABI, Noswhorty way, Wallingford, Oxfordshire, UK, p. 1 –17.

CAPÍTULO 34

El manejo de cafetales y el control de la broca del café

Álex Enrique Bustillo Pardey

Para controlar la broca es necesario utilizar todas las herramientas que se encuentren disponibles, como son las prácticas de control cultural y 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 (Figuras 34.1 y 34.2) y el hongo *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuillemin (Figura 34.3), se consideran componentes importantes en un programa de control biológico de la broca del café (Bustillo, 1991, 1995; Orozco, 1995; Orozco y Aristizábal, 1996).

El anterior enfoque está enmarcado dentro del concepto de Manejo Integrado de Plagas (MIP) (NCA, 1969; Rabb y Guthrie 1970; Andrews y Quezada, 1989). 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

Figura 34.1. Avispitas de Costa de Marfil, *Cephalonomia stephanoderis*, entrando en un fruto de café infestado por la broca (Foto A. Bustillo).

Figura 34.2. Avispita de Togo, *Phymastichus coffea*, parasitando un adulto de broca del café en el momento de penetrar los frutos (Foto L. M. Constantino).

Figura 34.3. Infección del hongo *Beauveria bassiana* sobre adultos de broca del café entrando en los frutos. Observe la mota blanca signo de la infección del hongo (Foto A. Bustillo).

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) se ha enfocado dentro del siguiente marco teórico: "El uso de una serie de medidas de control (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" (Bustillo *et al*., 1995).

Recomendaciones para el manejo de cafetales

La broca del café, *Hypothenemus hampei*, es la plaga más importante del café y su control es muy complicado debido a que permanece la mayor parte de su vida en el interior de los frutos (Figura 34.4). Para lograr un control eficiente es necesario implementar, en una forma integrada, una serie de medidas que el caficultor debe seguir para poder ser exitoso en la producción de café en presencia de la broca. A continuación se presenta el listado de labores que se recomienda realizar en la finca:

1. En fincas a cargo de un administrador, se debe procurar tener una persona de confianza con capacidad para asimilar los **conceptos básicos y de manejo de la broca** y ponerlos en práctica. Además, es necesario contar con personal calificado para que ejecuten las evaluaciones de infestación de broca y personal capaz de realizar aspersiones de insecticidas adecuadamente. Por otra parte, se debe concienciar a los cosecheros sobre el daño de la broca y cómo de ellos depende en buena parte su control en los cafetales.

2. La renovación de los cafetales es fundamental para el control de poblaciones de la broca. Las fincas cafeteras deben estar divididas en **lotes de diferentes edades**, siguiendo un plan de renovación que permita mantener los cafetales jóvenes y productivos (Figura 34.5). Esto facilita planear las labores de control de la broca, ya que el manejo de cada lote será diferente de acuerdo con su edad y el nivel de infestación.

3. El establecer el cafetal con **Variedad Castillo®** (Figura 34.6), además de tener los beneficios de una variedad resistente a la roya, permite el uso del hongo *Beauveria bassiana* sin la interferencia de fungicidas que se utilizan para el control de esta enfermedad. Por otra parte, la Variedad Castillo® presenta otra ventaja, y es que los frutos maduros son más difíciles de desprender que los frutos de la variedad Caturra, lo que hace posible programar mejor los pases de cosecha con una reducción considerable del número de frutos en el suelo.

4. La disposición apropiada de las plantas de café en el lote, usando distancias de siembra de 2 x 1 m y dejando dos chupones por árbol, permite obtener **altas densidades** y facilita las labores de manejo de los cafetales (Figura 34.7).

5. Las desyerbas con el **selector de arvenses**, además de dejar que prosperen las arvenses nobles, conservar los suelos y reducir los costos de las desyerbas, fomentan la fauna de insectos benéficos que controlan las plagas del café, al permitir el establecimiento de plantas que no compiten con el cafeto, las cuales proveen de néctar y albergue a la fauna benéfica (Figura 34.8).

6. Las **podas oportunas** al cafetal permiten mantener el número de tallos apropiados, a las densidades originales del cultivo. Además, facilitan la cosecha del café y los repases, evitando dejar muchos frutos en el árbol para la broca, los que posteriormente pueden caer al suelo generando más poblaciones de broca.

7. Los **registros de floración** son importantes para establecer la edad de los frutos, información importante para conocer de antemano la distribución de la cosecha y los momentos críticos de ataque de la broca. Se conoce que la broca puede reproducirse rápidamente en frutos de más de 150 días de edad; sin embargo, es posible encontrar broca perforando frutos de menor edad cuando hay mucha población, aunque su período de oviposición es más demorado (Figura 34.9).

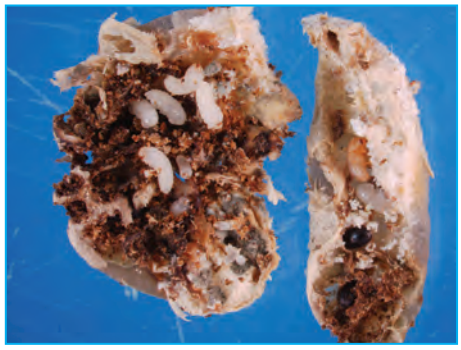


Figura 34.4. Al abrir un fruto de café infestado por *Hypothenemus hampei* se encuentra un gran número de estados en su interior (Foto J. C. Ortiz).

Figura 34.5. Esquema de una finca dividida en lotes para su renovación. (Foto G. Hoyos).

Figura 34.6. La Variedad Castillo® favorece la eficacia del hongo *Beauveria bassiana* y los frutos permanecen más tiempo adheridos al árbol que en Caturra. (Foto G. Hoyos).

Figura 34.7. Siembras organizadas a 2 m entre calle y 1 m entre surco dejando dos tallos por planta, favorecen las labores de control de la broca del café (Foto izq. G. Hoyos, der. A. Bustillo).

Figura 34.8. El selector de arvenses además de proteger el suelo dejando coberturas vegetales, favorece la fauna benéfica que controla las plagas (Foto A. Bustillo).

Figura 34.9. Los registros de floración permiten conocer la distribución de la producción y conocer los períodos críticos de ataque de la broca del café (Foto G. Hoyos).

8. Durante la cosecha es importante **supervisar** esta labor, procurando seleccionar los mejores cosecheros, inculcándoles la necesidad de realizar recolecciones eficientes sin dejar frutos maduros en los árboles y evitando su caída. Como norma, después de un pase de cosecha se debe entrar a evaluar la calidad de la recolección, contando el número de frutos dejados por árbol, si el promedio es mayor de cinco frutos maduros la cosecha es deficiente. También es importante monitorear el número de frutos caídos y se recomienda que este número sea menor a cinco frutos por árbol (Figura 34.10).

9. El **programa de manejo** de la broca se inicia con una recolección exhaustiva de todos los frutos secos y su posterior tratamiento en agua caliente, o si las cantidades lo ameritan se pueden secar en un silo a 50ºC, durante 30 minutos, para matar los estados de la broca que se encuentran en el interior de los frutos.

10. Posteriormente, es necesario establecer un programa de **cosechas oportunas** de frutos maduros y sobremaduros, evitando que caigan o permanezcan secos en los árboles.

Figura 34.10. La supervisión de la cosecha para que no se queden frutos maduros en los árboles y caídos en el suelo es vital para el control de la broca del café (Foto G. Hoyos).

La caída al suelo de frutos infestados por la broca es el mayor problema que enfrenta el caficultor (Figura 34.11). Recientemente, en Cenicafé se ha diseñado un equipo de cosecha de café denominado "Aroandes", que puede reducir la caída de frutos y hacer más eficiente la cosecha (López *et al.*, 2006). En caso de que se presente una situación con un alto número de frutos en el suelo, se puede acudir a su recolección con la ayuda de la aspiradora Cifarelli, cuya eficacia ha sido validada en muchas fincas[1]. Es importante anotar que esto se puede obviar realizando cosechas más eficientes.

11. Una vez hechas las recolecciones de frutos maduros, se inician las **evaluaciones de infestación** mensuales, en cada uno de los lotes. Esto permite tomar decisiones de control y evaluar estas acciones en los lotes, para establecer el estado general de la finca (Figura 34.12).

12. Cuando se realice una **medida de control** contra la broca, se debe evaluar el nivel de control de ésta. La evaluación se hace recolectando 3 ó 4 frutos infestados con broca de cada rama, para tener una muestra de unos 100 frutos brocados por lote. Luego, se abren estos frutos para contar el número de brocas muertas del total examinado, y se estima el porcentaje de mortalidad. Al hacer esta evaluación también se deben hacer observaciones sobre la posición de la broca dentro del fruto.

Figura 34.11. La caída de frutos infestados por broca en el suelo es uno de los problemas más serios en el manejo de la broca (Foto G. Hoyos).

Figura 34.12. Los niveles de infestación de la broca se deben evaluar al menos mensualmente y por cada uno de los lotes de la finca (Foto G. Hoyos).

[1] LÓPEZ, H. A.; OLIVEROS, C.; BUSTILLO, A. E.; DUQUE, H. 2005. Evaluación de la Recolección de frutos de café caídos en la cosecha con la aspiradora Cifarelli V77S en esquema de Investigación Participativa (IPA). Informe interno Cenicafé. 15 p.

La posición **A** se refiere a una broca iniciando la perforación del fruto; la posición **B** muestra una broca en el canal de penetración; en la posición **C** la broca está perforando la almendra; y finalmente, la posición **D** muestra una broca con su descendencia (huevos, larvas, pupas). En algunos casos esta denominación se abrevia indicando posición 1 a A y B y posición 2 a C y D.

13. El nivel de infestación es una medida indirecta de la cantidad de broca que existe en un cafetal. Los estudios han mostrado que en Colombia para producir café tipo Federación, durante la cosecha no se pueden permitir **niveles superiores al 5%**. Sin embargo, cuando no hay cosecha y los frutos están en formación, debido a la dinámica de la broca, estos niveles se deben mantener por debajo del 2%.

El método de la rama es apropiado y aconsejable para evaluar los niveles de infestación de la broca, siempre y cuando se lo realice en una forma representativa en el lote es decir, tomando 30 sitios de muestreo por hectárea y recorriendo el lote en una forma representativa. Estas evaluaciones se recomienda hacerlas mensualmente, con el fin de hacer un seguimiento a las poblaciones de broca en los diferentes lotes de la finca.

Las evaluaciones de los niveles de infestación se pueden complementar con los registros de vuelos de broca en los cafetales, usando para esto las trampas tipo Brocatrap y el atrayente Brocalure. Esta información tomada sistemáticamente permite al cafetero determinar los períodos del año en que la broca está más expuesta al control en el estado adulto (Figura 34.13).

14. Cuando los niveles de infestación lo ameriten y una proporción alta (>50%) de los frutos infestados se encuentren con la broca penetrando o en el canal de penetración (posiciones A y B), se justifica tomar **medidas de control** con insecticidas (por ejemplo fenitrotion, pirimifos-metil, fention) y/o bioinsecticidas (*Beauveria bassiana*). Generalmente, se ha observado que la aspersión del hongo en el momento oportuno, ejerce un buen control de la broca (Figura 34.14).

15. Al determinar las infestaciones, el evaluador se puede dar cuenta que el **ataque de la broca no es uniforme** en todo el lote y que existen áreas donde es más concentrado el ataque. Con la ayuda de los mapas de la finca y de señales en los árboles, estos sitios se pueden ubicar fácilmente y las aspersiones con hongo y/o insecticidas se pueden concentrar en estos "focos" o "puntos calientes."

16. Las aspersiones de hongo e insecticidas sólo son eficaces cuando la broca está penetrando el fruto. El hongo se debe asperjar durante la **época de cosecha**, cuando por el efecto de ésta muchos adultos dejan el fruto y van a infestar los frutos verdes que quedan en los árboles. Al mismo tiempo se debe asperjar el plato de los árboles para infectar las brocas que salgan de los frutos caídos. El hongo tiene la ventaja de que no restringe la entrada de los cosecheros al cafetal y se perpetúa al reproducirse sobre la broca, para infectar más brocas mucho tiempo después de su aspersión.

17. La liberación de avispitas se debe realizar hacia finales de la cosecha, cuando quedan frutos maduros "brocados" sin recolectar, en los cuales se pueden establecer. La fase inicial de este programa tiende **al establecimiento de los parasitoides** en los cafetales con broca, por lo tanto, se debe evitar el uso de insecticidas y favorecer su recuperación y distribución. Las avispitas *P. nasuta* y *P. coffea* no son compatibles con el uso de insecticidas químicos, pero sí con el hongo *Beauveria bassiana*.

18. Durante la cosecha se debe evitar que la broca que se encuentra dentro de los frutos cosechados **vuelva al cafetal**, para lo cual se recomienda:

- **Vaciar** con frecuencia los recipientes de cosecha en los costales.

- Los costales deben ser en **fibra sintética** y permanecer amarrados durante la cosecha para evitar el escape de la broca. Estos costales **no deben permanecer** todo el día dentro del cafetal, deben llevarse al beneficiadero para su despulpado al medio día y hacia el final de la labor diaria (Figura 34.15).

- Al colocar el café cereza en las tolvas para su despulpado éstas deben cubrirse con una tapa hecha de marcos de madera y plástico, al cual se le impregna grasa, para que los adultos que traten de salir se queden atrapados en la tapa (Figura 34.16).

- Si al despulpar el café se observa que de la pulpa emergen muchos adultos de broca, ésta se puede **tratar con insecticidas de baja residualidad** como malatión al 0,4% y/o aspersiones del hongo *Beauveria bassiana* (Figura 34.17).

- Los desagües de las aguas provenientes del lavado del café, deben poseer una **malla que capture los adultos de broca** que salen de los frutos.

- Si se posee una **fosa** para depositar la pulpa, ésta se debe tapar con un plástico impregnado de pegante para evitar el escape de las brocas.

- Los cafeteros que han adoptado el sistema de beneficio ecológico **Becolsub**, tienen una gran ventaja ya que mediante este sistema el proceso de beneficio del café es más rápido, evitando así el escape a través de las aguas de lavado. Por otra parte, este sistema permite una mejor separación del café pergamino brocado, ya que el grano muy afectado se colapsa con la máquina y se separa en el sobrenadante.

Figura 34.13. Las trampas para la broca cebadas con alcoholes sirven para conocer las épocas de vuelo de la broca (Foto A. Bustillo).

Figura 34.14. La aplicación de insecticidas sólo se debe hacer cuando técnicamente sea necesaria y siguiendo todas las normas de protección y calibración (Foto G. Hoyos).

Figura 34.15. Los costales de cosecha deben ser de fibra sintética sin orificios y deben mantenerse cerrados para evitar el escape de la broca. (Foto G. Hoyos).

Figura 34.16. Las tolvas para el recibo del café cereza para su despulpado deben cubrirse con una tapa de plástico cubierta con grasa, para atrapar las brocas que tratan de escapar (Foto A. Bustillo).

Figura 34.17. Tratamiento de la pulpa con el hongo *Beauveria bassiana* para controlar la broca que pueda escapar de la pulpa (Foto G. Hoyos).

Además, inmediatamente se puede secar el café pergamino en un silo, matando todos los estados de broca que se encuentren en los granos de café (Figura 34.18).

- En caso de tener un **silo para el secado** (Figura 34.19), se debe dar prioridad al café proveniente de lotes muy infestados para matar rápidamente los huevos, larvas y pupas que quedan en el interior de la almendra. En caso contrario, se deben usar secadores parabólicos o **marquesinas** cubiertas con plástico y con los extremos cubiertos con tela nailon, para evitar el escape de la broca (Figura 34.20). En estas marquesinas también se pueden secar los frutos "guayaba" infestados con broca.

19. La renovación por zoca se debe realizar inmediatamente después de la cosecha principal, cuando se ha hecho una buena recolección de frutos. En estos árboles no se deben cortar las ramas sin antes recoger los frutos infestados por la broca, ya que la población de broca ahí presente se dispersa a los cafetales vecinos. Los operarios de esta labor se pueden ayudar con el uso de guantes. Además, se deben dejar líneas de **árboles trampa**, los cuales se deben cosechar con frecuencia. A los árboles que conforman el contorno del lote renovado, también se les pueden colocar trampas con el fin de disminuir la dispersión de la broca a los lotes vecinos (Figura 34.21).

Estos árboles trampa deben permanecer en el cafetal entre 45 y 60 días, tiempo después del cual se les debe retirar la totalidad de sus frutos para tratarlos apropiadamente y proceder a zoquear los cafetos. Los árboles aledaños al cafetal renovado por zoca, deben **observarse semanalmente** para detectar las poblaciones de broca que están penetrando los frutos, provenientes de los frutos del suelo. De la magnitud de estas poblaciones dependerá la decisión de realizar aspersiones con hongo o con un insecticida. El material en el suelo se puede asperjar las veces que sea necesario con el hongo *B. bassiana* para infectar los adultos de broca que estén emergiendo.

Figura 34.18. El uso del sistema Becolsub para el beneficio del café, evita en gran parte el escape de la broca de la zona de beneficio. (Foto G. Hoyos).

Figura 34.19. Al secar el café pergamino en un silo al calor toda la broca en el interior de los granos muere. (Foto G. Hoyos).

Figura 34.20. Marquesina cerrada en plástico para secar café pergamino infestado por la broca y así evitar el escape de éstos, durante este proceso (Foto A. Bustillo).

Figura 34.21. Lote de café zoqueado con árboles trampas, para evitar la dispersión de la broca del café. (Foto G. Hoyos).

Resumen de las prácticas de manejo

1. Sembrar café Variedad Castillo®.
2. Renovar el cafetal, dividiendo la finca en un número de lotes de acuerdo a un ciclo de renovación, de igual tamaño en lo posible y de la misma edad.
3. Desyerbar con selector de arvenses.
4. Podar oportunamente para mantener el número de tallos y a la distancia de siembra apropiados.
5. Fertilizar de acuerdo a los resultados del análisis de suelos.
6. Evaluar mensualmente por lotes: niveles de infestación, detectar focos y vuelos de la broca.
7. Realizar controles (biológicos, químicos) en los focos que lo ameriten, y evaluar su eficacia.
8. Cosechar oportunamente para evitar la caída de los frutos.
9. Evaluar la recolección después de los pases.
10. Realizar repases al final de la cosecha.
11. Evitar el escape de la broca en el beneficio durante la cosecha. Adoptar el Beneficio Ecológico (Becolsub).
12. Zoquear de acuerdo a las recomendaciones.

Literatura citada

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.

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. *In*: Memorias Curso Internacional Manejo Integrado de Plagas, ICA- Universidad de Nariño, nov. 27-dic. 1, 1995, San Juan de Pasto, Colombia, p.143-148.

LÓPEZ, H. A.; OLIVEROS, C.; BUSTILLO, A. E.; DUQUE, H. 2007. Evaluación de la recolección de frutos de café caídos en la cosecha con la aspiradora Cifarelli V77S en esquema de Investigación Participativa (IPA). Informe interno Cenicafé, 15 p.

LÓPEZ, H. A.; ROA, G.; PARRA, A. 2006. Evaluación del equipo "Aroandes", un prototipo para la cosechas manual asistida de café. Revista Cenicafé (Colombia), 57 (3): 208 – 219.

NCA. NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. 1969. Insect- pest management and control. Principles of plant and animal pest control, vol. 3. Publication 1695, Washington, D. C., 508 p.

OROZCO, J. 1995. Uso de parasitoides de origen africano para el control de la broca en Colombia. Memorias XXII Congreso de SOCOLEN. Bogotá, Julio 26 - 28, p. 102-108.

OROZCO, J.; ARISTIZÁBAL, L. F.1996. Parasitoides de origen africano para el control de la broca del café. Avances Técnicos de Cenicafé No. 223. Chinchiná, 4 p.

RABB, R. L.; GUTHRIE, F. E. 1970. Concepts of pest management. Proceedings of a conference held at North Carolina State Univ. at Raleigh, March 25-27, 1970. 242 p.

Sección VI

Plagas cuarentenarias

El café se produce en más de 50 países en el mundo, bajo una gran variedad de ecosistemas agrícolas y de prácticas agronómicas. Esta gran variación hace que los problemas fitosanitarios en las diversas regiones sean también diferentes. En el caso de los insectos plagas, a pesar de que éstos estén presentes en diferentes áreas geográficas, es posible que no se manifiesten como plagas en igual proporción en esos sitios. Lo anterior trae como consecuencia que la problemática de los insectos plagas no sea la misma, y que ciertas zonas se mantengan libres de algunas especies que amenazan la continuidad de esta explotación comercial. Estos insectos son considerados de importancia cuarentenaria, o sea que se justifica que las autoridades sanitarias de un país o región tomen medidas precautelares para evitar su invasión.

CAPÍTULO 35

Insectos plagas del café de importancia cuarentenaria para Colombia

Álex Enrique Bustillo Pardey

En el presente capítulo se presenta una relación de los insectos plagas, que se considera que pueden tener un gran impacto en la caficultura colombiana, si por alguna razón lograran llegar al país.

Chicharras en cafetales (Hemiptera: Cicadidae)

Las chicharras son comunes infestando cafetales en Brasil en los estados de Minas Gerais, Sao Paulo y Paraná, como mínimo se han registrado diez especies y de éstas, las más importantes son (Martinelli y Zucchi, 1997):

Quesada gigas (Olivier)
Quesada sodalis (Walker)
Fidicina mannifera (Fabricius)
Fidicina pullata Berg.
Carineta fasciculata (Germar)

Descripción e historia de vida

Quesada gigas es la especie más importante y la más grande de este grupo, también es plaga en otros cultivos. *Quesada gigas* se distribuye ampliamente en América y es la especie más estudiada; sin embargo, es en Brasil donde se considera plaga permanente de importancia económica en el cultivo del café (Martinelli y Zucchi, 1987; Garcafe, 1994).

La mayoría de las chicharras, poseen las alas membranosas, plegadas sobre el cuerpo en forma de teja. Se caracterizan por tener tres ocelos y con la inserción de las antenas entre los ojos. Los cantos de las chicharras generan un ruido mayor al producido por los grillos. Las chicharras cantan exclusivamente durante el día y al atardecer, por lo general, desde los árboles y arbustos (Figura 35.1).

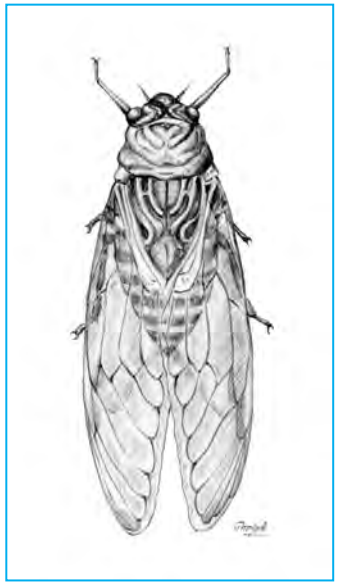


Figura 35.1. Chicharra gigante, *Quesada gigas*.

En áreas agrícolas sin cultivar, en estado ninfal, se alimenta de las raíces de las plantas que encuentra, pero cuando los arbustos se cortan y se planta el café, las larvas se mueven hacia las raíces del cafeto y se alimentan de éstas causando el daño característico.

El ciclo de vida de las chicharras puede durar entre 4 y 17 años según de la especie, pero el estado adulto sólo vive de 1 a 3 meses. Los adultos son buenos voladores y descansan en la parte alta de los árboles. Las hembras una vez emergen del suelo son atraídas por los cantos de los machos y luego de copular,

depositan sus huevos en la corteza de los árboles. Las ninfas emergen y se dejan caer al suelo, donde inician su búsqueda por las raíces del cafeto para alimentarse y completar su desarrollo, en este estado el insecto atraviesa por cinco estadios (Martinelli y Zucchi, 1987).

Las ninfas de *Q. gigas,* se han observado succionando la savia de las raíces, hasta 50 cm por debajo del suelo, y formando cavidades en el suelo alrededor de las raíces infestadas. Las heridas ocasionadas por la alimentación, pueden permitir el ingreso de patógenos que producen infecciones a la planta.

Daño

Las chicharras se caracterizan por tener un aparato bucal chupador-picador, se alimentan de la savia de las raíces de las plantas. Las plantas infestadas por las ninfas de chicharras presentan síntomas de clorosis en las hojas, en los ápices de las ramas se observa pérdida de hojas, baja producción y muerte de las plantas cuando las infestaciones son severas.

Manejo de poblaciones

Debido a los hábitos crípticos de las ninfas los tratamientos con insecticidas solamente son efectivos cuando los adultos están emergiendo y no han colocado sus huevos. El monitoreo de los vuelos de los adultos podría ayudar en los programas de control. Una alternativa que se debe considerar para el control de las ninfas es el uso de entomonematodos (Martinelli y Zucchi, 1987, 1997).

Chinches antestia, *Antestiopsis* spp. (Hemiptera: Pentatomidae)

Las chinches antestia del café son una plaga muy seria en África y se encuentran más, afectando especies de *Coffea arabica* (Kiss y Meerman, 1991). Hay varias especies de *Antestiopsis* como son: *A. orbitalis bechuana* (Kirkaldy), *A. orbitalis ghesquierei* Carayon y *A. intricata* (Guesquiere & Carayon). *Antestiopsis orbitalis bechuana* es muy importante en África Oriental, mientras que *A. orbitalis ghesquierei* y *A. intricata* son plagas en África Occidental (Greathead, 1966; Le Pelley, 1973; Crowe, 2004).

Descripción e historia de vida

Las especies de estos insectos se pueden reconocer por tener patrones característicos de marcas negras, blancas o naranjas sobre sus cuerpos (Figura 35.2). El cuerpo del adulto tiene forma de escudo, la longitud de su cuerpo alcanza 6 mm y la patas y antenas son muy visibles. La historia de vida y biología de estas especies son muy similares (Hill, 1975).

Las chinches depositan los huevos en grupos de 12, en el envés de las hojas. Tienen la forma de un barril, son blancos y alcanzan 1,2 mm de altura; las ninfas emergen después de 10 a 14 días. El estado ninfal pasa por cinco estadios y dura entre 50 a 100 días; el último estadio alcanza cerca de 8 mm en longitud. Las hembras adultas pueden vivir por un año y depositar hasta 500 huevos (Crowe, 2004).

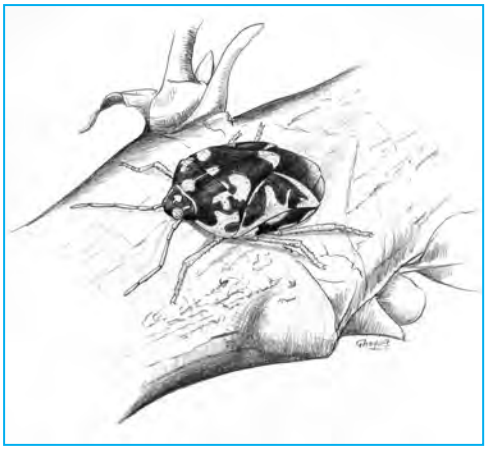


Figura 35.2. *Antestiopsis orbitalis* infestando yemas de cafetos.

Daño

Los adultos y las ninfas se alimentan succionando los botones florales y los frutos verdes, y después de la cosecha pueden alimentarse de diferentes partes del árbol. Sin embargo, el daño principal es causado por

la infestación secundaria de los frutos por el hongo *Ashbya* spp., que destruye las almendras. Después de la cosecha, esta chinche se puede alimentar de las partes terminales de las ramas del cafeto, estimulando la emisión de otros retoños, lo que induce a que la planta gaste sus recursos en la producción de follaje y no en la producción de frutos. También pueden atacar los cojines florales, los cuales se tornan negros.

Manejo de poblaciones

Existen más de 20 avispitas parasitoides de estas chinches en África Oriental y Central. Por ejemplo, *Aridelus* spp., ataca las ninfas y es importante en estas regiones. Las avispitas *Ascolus* son importantes parasitoides de huevos y la mosca parasítica *Bogosia rubens* ataca los adultos. Otros enemigos naturales relevantes de esta plaga, lo constituyen las chinches predadoras.

Las medidas de control en África, para pequeñas parcelas, consisten en podas para abrir los arbustos y recolectar manualmente los insectos. Las aspersiones con insecticidas son necesarias cuando la población excede a dos chinches por árbol (Le Pelley, 1973; Crowe, 2004).

El trips del café, *Diarthrothrips coffeae* Williams (Thysanoptera: Thrypidae)

Es la especie de trips que más daño causa a los cafetales en África, se registra en Kenia, Uganda, Tanzania y Malawi (Le Pelley, 1973).

Descripción e historia de vida

Los huevos de *Diarthrothrips coffeae* son reniformes y muy pequeños. La hembra los coloca insertándolos en el envés de la hoja, debajo de la cutícula. De ellos emergen las ninfas que son de color amarillo claro y pequeñas, atraviesan por dos estadios, se alimentan en el envés de la hoja succionando la savia de la planta. Al empupar se dejan caer al suelo, y se ocultan debajo de los detritos de los árboles.

Los adultos son de color pardo grisáceo, con alas estrechas, miden 1,3 mm, emergen del suelo y vuelan a los árboles a continuar con su reproducción. Normalmente permanecen en el envés de las hojas. El ciclo de vida de huevo a adulto toma entre 14 y 21 días (Le Pelley, 1973).

Daño

Tanto los adultos como las ninfas se alimentan de las hojas jóvenes, yemas florales y frutos tiernos, causando deformidades y achaparramiento de estas estructuras, como consecuencia del daño mecánico y de las toxinas que tiene en su saliva. El daño fresco se observa como parches plateados punteados sobre las hojas y manchas negras pequeñas de excrementos. Durante los períodos secos y de altas temperaturas se desarrollan altas poblaciones, debido a que su ciclo de vida es más rápido (Crowe, 2004).

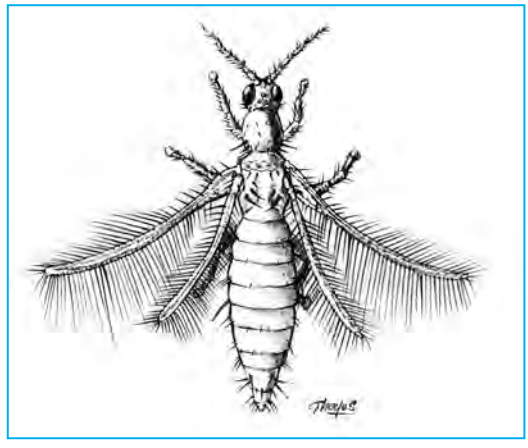


Figura 35.3. El trips del café, *Diarthrothrips coffeae*.

Manejo de poblaciones

En África, las poblaciones se reducen mediante coberturas que impiden el normal desarrollo de las pupas. Sus poblaciones se incrementan

notablemente durante períodos secos. En África se considera que *Diarthrothrips coffeae* alcanza su umbral de daño cuando se registran de 1 a 3 estados del insecto por hoja. Si no se controlan, estas poblaciones causan daños severos en los cafetales (Kiss y Meerman, 1991).

La chinche del café, *Lamprocapsidea coffeae* (China) (Hemiptera: Miridae)

Sinonimia: *Lygus coffeae* China

Lamprocapsidea coffeae (China) se encuentra en cafetales de África Central sobre *Coffea arabica* y *Coffea canephora.* Se consideraba como una plaga seria en los cafetales, que causa el aborto de los botones florales (Kiss y Meerman, 1991), pero actualmente ha pasado a ser una plaga secundaria (Crowe, 2004).

Descripción e historia de vida

El adulto hembra de *L. coffeae* es una pequeña chinche verde o castaña, que mide unos 6 mm. Sus alas se curvan hacia abajo y cubren el abdomen a una distancia un poco mayor de la mitad de su longitud, a partir de su inserción (Figura 35.4). Coloca los huevos insertándolos dentro del botón floral, por lo cual no es posible observarlos. Las ninfas tienen forma de pera, son de color verde pálido, pasan por cinco estadios para luego convertirse en adultos, lo cual ocurre en 14 días. El adulto puede vivir como mínimo 21 días (Le Pelley, 1973).

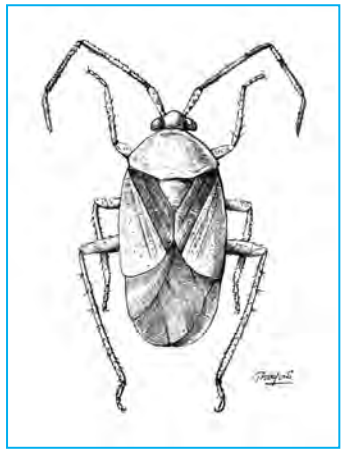


Figura 35.4. Adulto de la chinche del café, *Lamprocapsidea coffeae*.

Daño

Todos los estados de la especie se alimentan de los botones florales, los pétalos de estos botones se necrosan y caen o quedan colgando del estigma, además de causar el aborto de las flores. Cuando no hay botones florales, se alimentan de frutos tiernos y brotes del cafeto (Le Pelley, 1973). El daño se produce por la inyección de una toxina que tienen los adultos y las ninfas en la saliva (Hill, 1975).

Manejo de poblaciones

Para su control se usan insecticidas, cuando se registran cuatro individuos por árbol (Kiss y Meerman, 1991).

El medidor gigante, *Ascotis selenaria reciprocaria* (Dennis & Schiff.) (Lepidoptera: Geometridae)

Ascotis selenaria es el defoliador más importante que se encuentra afectando cafetales en Kenia (África) (Kiss y Meerman, 1991).

Descripción e historia de vida

Las larvas de este insecto se caracterizan por su gran tamaño, por ser voraces y porque se mueven como midiendo cuartas (Figura 35.5). El adulto es una polilla blanco-grisácea con muchas estriaciones oscuras que

lo mimetizan con la corteza de los árboles (Figuras 35.6). Es de hábitos nocturnos, copula durante la noche y coloca los huevos en masas muy numerosas en el envés de las hojas, éstos son de forma oval, amarillos recién depositados y luego se tornan rojos y de color grisáceo a medida que avanza su desarrollo. El estado larval atraviesa por cinco o seis ínstares, las larvas de primeros ínstares son de un color verdoso, pero cuando alcanzan su máximo desarrollo cambian a una coloración marrón, que les permite mimetizarse con las ramas del cafeto (Wheatley, 1963).

Figura 35.5. Larva del medidor gigante, *Ascotis selenaria*.

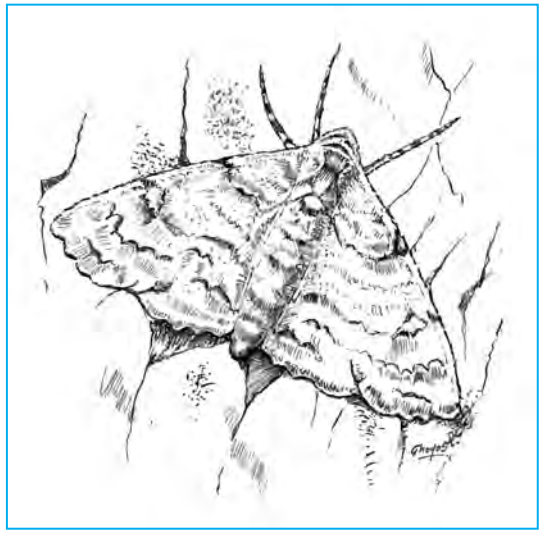


Figura 35.6. Adulto del medidor gigante, *Ascotis selenaria*.

Daño

Las polillas hembras son capaces de ovipositar varios centenares de huevos sobre el follaje del cafeto, de los cuales emergen las larvas, que son las causantes del daño directo al consumir el follaje de los cafetos. Cuando las poblaciones son muy altas, pueden causar la defoliación total del árbol y la pérdida de la cosecha.

Manejo de poblaciones

Este medidor tiene numerosos enemigos que mantienen sus poblaciones a niveles que no causan daño económico, pero las prácticas irracionales en el uso de insecticidas, reducen esta fauna y ocasionan el surgimiento de *A. selenaria reciprocaria*, causando defoliaciones severas en los cafetales de Kenia. Entre los principales enemigos se mencionan dos parasitoides de la familia Ichneumonidae, *Afromelanichneumon sporadicus* Heinrich y *Cryptus nigropictus* Cam., que atacan el estado de pupa y en promedio causan mortalidades del 13,8% en pupas recolectadas en el campo (Abasar y Mathenge, 1972). Otros parasitoides registrados son *Apanteles* spp., en larvas de primeros ínstares, *Trichogramma platneri* que parasita los huevos y moscas taquínidas como *Compsilura concinnata* y *Exorista nr. sorbillans,* sobre larvas maduras de esta plaga. Cuando se requiere un control, las formulaciones de *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* han mostrado ser eficaces (Swirski *et al.,* 1995).

La polilla de la cereza del café, *Prophantis smaragdina* (Butler) (Lepidoptera: Pyralidae)

Sinonimia: *Thliptocera octoguttalis* (F. & R.)

Este insecto sólo se ha registrado en África Central, pero en Colombia se encuentra una especie no identificada de la misma familia, conocida comúnmente como la polilla de los racimos, la cual presenta hábitos muy parecidos a los referidos y ocasionalmente daña los glomérulos del café (Cárdenas y Posada, 2001).

Descripción e historia de vida

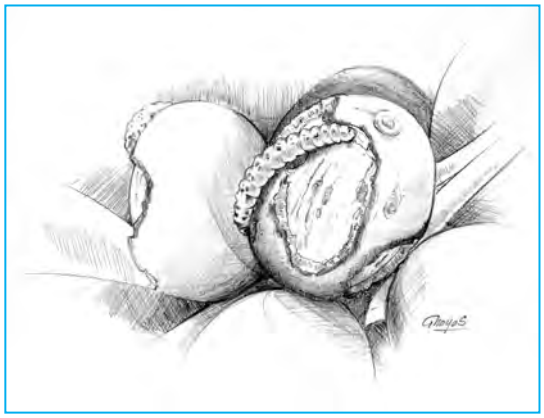


Figura 35.7. Larva de la polilla de la cereza del café, *Prophantis smaragdina*, alimentándose de un fruto de café.

El adulto de este insecto es una polilla de 2,5 cm de envergadura, de color marrón dorado. Por lo general, las polillas se encuentran en las ramas bajeras del árbol, y depositan sus huevos individualmente, en frutos de café verdes. Los huevos tienen forma de escama, son planos, translúcidos, muy pequeños y difíciles de ver a simple vista. Las larvas emergen del huevo después de 7 días, tienen una apariencia rojiza con manchas oscuras en su cuerpo, e inician su alimentación en las flores y frutos pequeños (Figura 35.7). Una larva de *P. smaragdina* puede realizar el daño en varios frutos del mismo glomérulo, y los desechos de su alimentación quedan atrapados en un hilo sedoso que ellas fabrican. Los frutos atacados se tornan marrones. La larva permanece 14 días alimentándose de los frutos hasta que completa su estado larval. Para empupar la larva deja el fruto en la noche, cae y cubre su cuerpo con desechos encontrados en el suelo. El estado de pupa dura entre 7 a 42 días, de acuerdo de la temperatura y la humedad del suelo (Crowe, 2004).

Daño

En el pasado *P. smaragdina* no se consideraba una plaga seria del café (Hill, 1975), pero recientemente se ha convertido en una plaga seria en África Oriental, causando hasta 25% de pérdidas en la cosecha, no son solo por el daño causado a los frutos del café sino debido a que el daño de las larvas facilita el ataque de la enfermedad de la cereza del café (CBD).

Manejo de poblaciones

El manejo es complicado debido a que los huevos y las larvas pequeñas son difíciles de observar en los cafetales, y a que éstas últimas penetran rápidamente en los frutos. Una vez que se produce el tejido de seda sobre el glomérulo, la aspersión con insecticidas no penetra y se hace ineficiente la aplicación.

P. smaragdina tiene varios enemigos naturales que controlan sus poblaciones. En infestaciones severas se recomienda el control cultural removiendo a mano todos los glomérulos infestados. Para favorecer el incremento de la fauna benéfica, este material recogido a mano, se debe depositar en huecos hechos en el suelo fuera de la plantación, cubriéndolos con una malla fina para evitar el escape de los adultos de la polilla y permitir que los parasitoides puedan regresar a los cafetales (Crowe, 2004).

Barrenadores del tallo de los cafetos (Coleoptera: Cerambycidae)

Con este hábito de taladrar los tallos de árboles de cafeto se registra un buen número de insectos de la familia Cerambycidae en muchas partes del mundo, entre los cuales se destacan las siguientes especies:

Barrenador blanco del tallo, *Xylotrechus quadripes* Chevrolat (Figuras 35.8 y 35.9)
Barrenador pardo del café, *Acalolepta cervina* (Hope)
Barrenador de África Occidental del café, *Bixadus sierricola* (White) (Figura 35.10)
Barrenador blanco del café, *Monochamus leuconotus* (Pascoe) (Figura 35.11).
Barrenador de cabeza amarilla, *Dirphya nigricornis* (Olivier)

Estos insectos son las plagas más destructivas de *Coffea arabica* en Asia y África. Una posible razón de la abundancia de estos barrenadores, es que el cultivo del café en estas regiones está rodeado por áreas forestales y también se encuentra asociado con árboles de sombrío para prevenir la erosión en regiones

Figura 35.8. Larva de *Xylotrechus quadripes* barrenando tallos de cafetos.

Figura 35.9. Adulto de *Xylotrechus quadripes*.

Figura 35.10. Adulto macho del barrenador del café, *Bixadus sierricola*.

de mucha pendiente, así como para conservar la biodiversidad. En América se presentan ocasionalmente infestaciones causadas por otras especies de barrenadores del tallo, pero no son tan serias, lo que se atribuye a que los cafetales tienen menos árboles de sombrío asociados a ellos (Lan y Wintgens, 2004).

Las especies *Xylotrechus quadripes* y *Acalolepta cervina* son plagas importantes en países de Asia. *X. quadripes* es la plaga más importante del café arábica en India, así como en Sri Lanka, China, Vietnam y Tailandia. En India, se estima que más de nueve millones de árboles son destruidos anualmente debido a los ataques de este insecto (Lan y Wintgens, 2004).

El barrenador blanco y el barrenador de cabeza amarilla se encuentran en países de África Oriental, causando daños muy serios a la caficultura. *Bixadus sierricola* ataca tanto cafetos de arábica como Robusta en África Central y Occidental (Crowe, 2004).

En Centro América se registra también el ataque de otros barrenadores del tallo, que aún no están presentes en Colombia. En la región del Soconusco en Chiapas (México) se han encontrado varias especies del género *Plagiohammus* (Figura 35.12).

La especie *Plagiohammus maculosos* Bates, ataca los tallos y las ramas del cafeto, y se ha encontrado en los estados de Oaxaca, Guerrero, Nayarit y Veracruz. Esta especie está distribuida por todo Centro América. El adulto es un insecto de 2,5 cm de largo, con las

Figura 35.11. Adulto del barrenador blanco del café, *Monochamus leuconotus*.

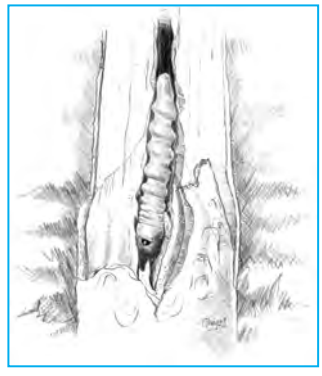


Figura 35.12. Larva del barrenador del café en Centroamérica, *Plagiohammus* sp.

antenas más largas que el cuerpo. Los adultos se observan después de las primeras lluvias y ovipositan en la corteza de los tallos cerca de la base del tronco. El daño lo hacen las larvas, al alimentarse de la corteza hasta abrir los orificios para hacer las galerías dentro del tallo. El daño se aprecia por la aparición de "aserrín", provocado por la alimentación de las larvas. Las ramas afectadas se tornan amarillas, flácidas y luego se secan. En ataques severos el árbol muere antes de la siguiente cosecha. Las plantas afectadas muestran en su base un polvillo o aserrín de color amarillo claro, el cual es el producto de la galería que construye la larva en el tallo de la planta (Barrera 2007).

En Guatemala, en la región de Huehuetenango, recientemente se registró la especie *Neoclyctus cacicus* Chevrolat, causando serios daños. Aparentemente esta especie no ha sido encontrada en cafetales en otros países (Barrera, 2007).

Descripción e historia de vida

En general, las hembras de estas especies de coleópteros colocan sus huevos en las cavidades del tallo principal del cafeto. Las larvas son de color crema, con una cabeza típica prominente. Los adultos se caracterizan por poseer antenas muy largas. Las larvas perforan el tronco y hacen túneles hasta de 20 cm hacia las raíces y para arriba hasta 100 cm en el tallo principal, causando un daño extenso a la parte baja del tronco y el sistema radical. Si los árboles de café sobreviven al ataque, el rendimiento de las plantas viejas se reduce drásticamente. La susceptibilidad a enfermedades y termitas se incrementa.

Las larvas pequeñas del barrenador, en algunos casos se alimentan de la corteza del tallo, formando un anillo que corta el suministro de nutrientes en la parte superior del árbol. Cuando ocurren ataques a cafetos de menos de dos años, éstos frecuentemente mueren y los que sobreviven reducen considerablemente sus rendimientos.

Daño

Los árboles infestados por los barrenadores del tallo, muestran orificios de entrada en el tallo y en algunos casos, por estos orificios salen residuos del material barrenado. También se observan las hojas amarillentas y marchitas. El daño infringido a los cafetales por las larvas de estos barrenadores causa la mortalidad de las plantas o la reducción de su cosecha.

Manejo de poblaciones

Los métodos de control para los barrenadores del tallo son limitados, los árboles infestados deben removerse y destruirse para prevenir la infestación de los árboles vecinos. Debido a que las larvas en los tallos de los cafetos son difíciles de controlar, las estrategias de manejo se dirigen a prevenir la infestación, recolectando manualmente los adultos, desenterrando los árboles infestados o tratando de eliminar los huevos en el tallo quitándole la corteza a los árboles y aplicando un insecticida de contacto sobre los tallos de los cafetos.

Hay muy poca información sobre los enemigos naturales de estos barrenadores, sin embargo se indica que en África Occidental se han observado avispitas y moscas parasíticas. También se han adelantado trabajos con feromonas para la detección temprana de sus ataques, especialmente con la especie *X. quadripes* (Rhainds *et al*., 2001).

Barrenador negro del tallo, *Apate monachus* Fabricius (Coleoptera: Bostrichidae)

Apate monachus es un insecto común en África y Asia, y también se ha extendido a Brasil y Centro América, pero aún no se ha registrado en Colombia ni en otros países cafeteros de Suramérica, diferentes a Brasil.

Descripción e historia de vida

Apate monachus es una plaga seria en África, donde vive en áreas forestales en las cuales completa su ciclo de vida. Es también una plaga en la palma de aceite, y de ahí vuela hacia cultivos de café y ataca el tallo principal, lo penetra y hace túneles hacia arriba, de cerca de 20 cm de largo.

Los adultos son activos y buenos voladores, de color marrón brillante y una longitud de unos 2 cm, con ángulos redondeados en sus élitros, el tórax es bien marcado y redondeado, con la cabeza oculta debajo del tórax (Figura 35.13). La larva es blanca, tiene patas reducidas, con un cuerpo masivo casi cilíndrico pero engrosada en la parte anterior (Le Pelley, 1973; Crowe 2004).

Figura 35.13. Barrenador negro del tallo, *Apate monachus*.

Daño

El daño lo hacen los adultos al penetrar en los tallos del cafeto, produciendo grande túneles que pueden causar la muerte de la rama o del árbol. Durante la noche descansan en el árbol, pero en la mañana se mueven hacia la parte soleada y caliente del tronco y los orificios de entrada siempre están orientados en este lado. Su presencia se advierte por el aserrín fino que se acumula en la base de los árboles.

Manejo de poblaciones

El manejo de sus poblaciones sólo es posible por medio de prácticas culturales, como la limpieza de las plantaciones quemando toda la madera que pueda contener estados del insecto, destrucción de árboles de café infestados y recolección manual de los adultos durante las mañanas.

En algunas regiones de África se utiliza el control mecánico, insertando un alambre en los orificios para matar el insecto en el estado que se encuentre. La eficacia de este control sólo se puede verificar si después de varios días se detiene la producción de aserrín afuera del túnel. Como alternativa se puede usar un trozo de algodón impregnado de un insecticida, el cual se introduce en el túnel (Crowe, 2004).

El gorgojo khapra, *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae)

Sinonimia: *Trogoderma afrum* Priesner, 1951; *Trogoderma khapra* Arrow, 1917; *Trogoderma quinquefasciata* Leesberg, 1906. (Harris, 2006).

El gorgojo khapra es la peor plaga de los granos almacenados en el mundo. Ha sido nominada como una de las 100 especies más invasoras en el mundo (Lowe *et al*., 2000). A pesar de que este insecto no se ha registrado como plaga de los granos de café almacenado, se considera un peligro potencial para este producto, por ser cosmopolita y polífaga. Este insecto no ha sido registrado en Suramérica, pero ya se encuentra en Estados Unidos y México. Recientemente, las autoridades fitosanitarias de Colombia lo han catalogado como una seria amenaza para el grano de café y otros productos alimenticios que se almacenan en bodegas y silos, por lo tanto, se están estableciendo barreras cuarentenarias para impedir su ingreso al país (ICA, 2007).

Las infestaciones del gorgojo khapra, una vez establecido en un sitio, son difíciles de controlar debido a la habilidad del insecto de vivir sin alimentarse por largos períodos, de sobrevivir en alimentos con bajo

contenido de humedad, a su hábito de meterse en hendiduras diminutas y permanecer ahí por mucho tiempo, y además, son bastante tolerantes a muchos insecticidas fumigantes. Todo esto lleva a la necesidad imperiosa de prevenir su introducción en áreas donde no se encuentre (Lindgren *et al.,* 1955).

Las larvas de *T. granarium* se alimentan de una gran variedad de productos alimenticios secos almacenados. Prefieren granos enteros y productos cereales como trigo, cebada y arroz, pero también atacan: avena, centeno, maíz, sangre seca, leche en polvo, pescado, nueces molidas, harina, salvados, malta, semilla de lino, semilla de alfalfa, semilla de tomate, fríjoles, caupí, semilla de sorgo, heno de alfalfa, coco, garbanzos, lentejas, pulpa seca de naranja, maní, levadura en polvo, germen de trigo y muchos otros productos (Lindgren y Vincent, 1959; Lindgren *et al*., 1955).

Distribución

El gorgojo khapra es originario de India, pero su zona endémica se extiende desde Burma hacia África Occidental, limitada por el paralelo 35° al Norte y con el Ecuador al Sur. El insecto se ha introducido, por medio del comercio, a muchas regiones con condiciones climáticas similares. En la actualidad se la considerada como una plaga cosmopolita.

Lindgren *et al*. (1955) indica que excepto por Suramérica, el gorgojo khapra se encuentra en todos los continentes donde se almacenan granos alimenticios. Sin embargo, Szito (2006) afirma que esta especie no se encuentra en Australia ni en Nueva Zelanda.

En los Estados Unidos se encontró en California en 1946 y se ha dispersado a varias regiones de Arizona, Nuevo México y Baja California en México. Después de llevar a cabo programas de erradicación, el gorgojo khapra se encontró de nuevo en sitios aislados de California, Maryland, Michigan, Nueva Jersey, Nueva York, Pensilvania y Texas, entre los años 1980 y 1983 (Harris, 2006).

Descripción e historia de vida

Adultos. Los adultos del gorgojo khapra están cubiertos de setas finas, tienen de 1,8 a 3,2 mm de longitud; su cuerpo es casi oval, de color gris a café claro con manchas, y ojos marginados (Figura 35.14). El macho es más pequeño y oscuro que la hembra, en ocasiones, la hembra tiene casi el doble del tamaño que el macho. El adulto tiene alas, pero aparentemente no vuela y se alimenta muy poco. Su longevidad es de 10 a 32 días (Buss y Fasulo, 2006).

La cópula ocurre a los cinco días de su emergencia y colocan huevos casi inmediatamente si están bajo condiciones de 40°C. Cuando las temperaturas son menores colocan huevos después de 1 a 3 días, pero la oviposición se detiene a 20°C.

Las hembras colocan los huevos en forma dispersa en el material que está infestando, dentro del grano. Una sola hembra puede ovipositar 125 huevos durante su vida, con un promedio hasta de 26 huevos por día (Harris, 2006).

Huevos. Los huevos son blancos y se tornan amarillo-pálidos con la edad, son cilíndricos (0,7 por 0,25 mm), uno de los extremos es redondeado y el otro puntiagudo con una proyección en forma de espina. Los huevos eclosionan entre 6 y 16 días, dependiendo de las condiciones de temperatura y humedad.

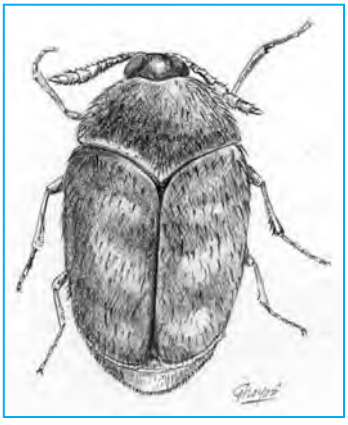


Figura 35.14. Adulto del gorgojo khapra, *Trogoderma granarium*.

Larvas. Las larvas al emerger son aproximadamente de 1,6 a 1,8 mm en longitud, más de la mitad de esta

longitud se debe a una cola de pelos, que sale del último segmento abdominal. Las larvas son blanco amarillentas, excepto por la cabeza y los pelos del cuerpo que son marrones. A medida que la larva aumenta en tamaño, el color del cuerpo cambia a dorado o marrón rojizo, se desarrollan más pelos en el cuerpo y la cola llega a ser proporcionalmente más corta. Las larvas maduras miden aproximadamente 6 mm en longitud y 1,5 mm de ancho (Figura 35.15).

Las larvas, se alimentan tanto de granos como de tejidos vegetales secos o productos animales. Pueden sobrevivir y completar su desarrollo alimentándose en granos con un contenido de humedad de sólo 2%; soportan temperaturas de hasta 44°C y pueden vivir hasta tres años sin comer. Si la temperatura baja por debajo de 25°C por un tiempo prolongado, o si la población de larvas es muy densa, ellas pueden entrar en diapausa (Harris, 2006).

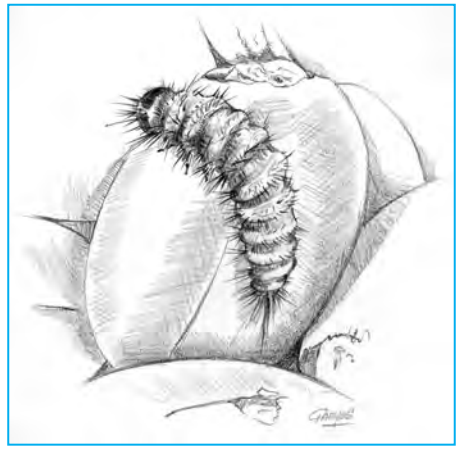


Figura 35.15. Larva del gorgojo khapra en cereales.

Pupas. El estado de pupa tarda de 6 a 17 días. El ciclo biológico de *T. granarium* varía dependiendo de las condiciones climáticas del lugar en que habitan y del alimento disponible. En general, el ciclo toma desde huevo a adulto 26 días a 34°C y 220 días a 21°C. Los adultos raramente vuelan y no se alimentan.

Daño

Trogoderma granarium es una plaga muy importante de productos almacenados bajo condiciones de altas temperaturas y baja humedad, y se considera una seria amenaza para los países productores de café. El ataque de este insecto generalmente se desarrolla en la parte superior del arrume de costales o silos, ya que el insecto no es capaz de penetrar mucho en estos empaques.

La reproducción puede ser tan rápida que es posible encontrar larvas en grandes cantidades en la superficie de los costales de los granos. Su detección en área no infestada conlleva a una cuarentena inmediata de los productos almacenados y esfuerzos costosos de control y erradicación.

No se ha observado que este insecto vuele, por consiguiente su dispersión probablemente depende del movimiento de productos infestados o de contenedores, donde puede ser transportado mientras está en diapausa.

Detección y manejo de poblaciones

Las larvas tienen el hábito de refugiarse en las hendiduras de la madera o de las paredes de las bodegas, lo que dificulta su control por medios químicos.

Las señales que indican del ataque del gorgojo khapra son las larvas y las exuvias que deja sobre los granos infestados. Sin embargo, la larva es muy similar a larvas de otras especies no importantes de *Trogoderma* y de otros coleópteros que atacan tapetes. Para la identificación de las larvas en programas de detección, se recomienda visualizarlas con la ayuda de un estéreo microscopio. Los métodos de detección deben incluir exámenes de todas las rendijas, hendiduras, arrumes y paredes, debajo de maderos, tanques, estanterías, etc. Las larvas se pueden observar con mayor frecuencia cuando el recinto se encuentra iluminado ya que tienen la tendencia a moverse más en este momento (Anonymous, 1981).

Algunos insecticidas fumigantes proporcionan buen control del insecto en dosis altas, este gorgojo es más resistente a estos productos que la mayoría de las plagas de productos almacenados. La fumigación debe

permitir que el producto penetre en las hendiduras, rajaduras y rendijas para lograr un buen control. En un programa de erradicación, tanto los insecticidas fumigantes como las aspersiones superficiales se usan en combinación con medidas preventivas, como prácticas de buena limpieza y exclusión de residuos u otros materiales donde puedan albergarse estos insectos (Harris, 2006).

Literatura citada

ABASA, R. O.; MATHENGE, W. M. 1972. Observations on the biology and host-searching behaviour of *Afromelanichneumon sporadicus* and *Cryptus nigropictus* (Hymenoptera: Ichneumonidae), pupal parasites of *Ascotis selenaria reciprocaria* (Lepidoptera: Geometridae). BioControl, 17 (1): 93 – 97.

ANONYMOUS. 1981. Data sheets on quarantine organisms. *Trogoderma granarium* Everts. European and Mediterranean Plant Protection Organization Bulletin, 11 (1) Set 4, List A2, p. 1-6.

BARRERA, J. F. 2007a. Proyecto barrenador del tallo del café. Grupo de investigación de Ecosur en zonas cafetaleras. http://www2.tap-ecosur.edu.mx/mip/mip.htm

BUSS, L. B.; FASULO, T. R. 2006. Stored product pests. University of Florida, IFAS. SW 185. CD-ROM.

CÁRDENAS, R.; POSADA, F. J. 2001. Los insectos y otros habitantes de cafetales y platanales. Comité Departamental de Cafeteros del Quindío y Cenicafé. Armenia, Colombia, 120 p.

CROWE, T. J. 2004. Coffee pests in África. *In*: Coffee: Growing, processing, sustainable production. Part II: Pests and diseases. Ed. J. N. Wintgens, Wiley – VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. p. 421 – 458.

GREATHEAD, D. J. 1966. A taxonomic study of the species of *Antestiopsis* (Hemiptera: Pentatomidae) associated with coffea arabica in África. Bull. Ent. Res., 56: 515 – 554.

HARRIS, D. L. 2006. The khapra beetle, *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae). Florida Department of Agriculture and Consumer Services, Division of Plant Industry, Entomology Circular No. 262, 2 p.

HILL, D. S. 1975. Agricultural insect pests of the tropics and their control. Cambridge University Press, London, 516 p.

ICA. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. 2007. Resolución 293 de febrero 9 de 2007, por la cual se reglamentan los controles fitosanitarios a las importaciones de café. Bogotá, Colombia.

GARCAFE. 1994. O ataque das cigarras. Órgao informativo da cooperativa dos cafeicultores da região de garça. Ano 1, No. 04, novembro 1994. 16 p.

KISS, A.; MEERMAN, F. 1991. Integrated pest management and African agriculture. Pest and disease control in coffee in Kenya. World Bank Technical Paper No. 142, Africa Technical Department Series, The World Bank, Washington, D.C., 142 p.

LAN, C. C.; WINTGENS, J. N. 2004. Major pests of coffee in the Asia – Pacific Region. *In*: Coffee: Growing, processing, sustainable production. Part II: Pests and diseases. Ed. J. N. Wintgens, Wiley – VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, p. 459 – 473.

LE PELLEY, R. H. 1973. Las plagas del café. Editorial Labor, S. A., Barcelona. Traducción: Subirana, Aliberas y León, 693 p.

LINDGREN, D. L.; VINCENT, L. E. 1959. Biology and control of *Trogoderma granarium* Everts. Journal of Economic Entomology, 52: 312-319.

LINDGREN, D. L.; VINCENT, L. E.; KROHNE, H. E. 1955. The khapra beetle, *Trogoderma granarium* Everts. Hilgardia 24: 1-36.

LOWE, S.; BROWNE, M.; BOUDJELAS, S.; DEPOORTER, M. 2000. 100 of the world's worst invasive alien species: A Selection from the Global Invasive Species Database. Invasive Species Specialist Group, World Conservation Union (IUCN). http://www.issg.org/booklet.pdf (15 May 2006).

MARTINELLI, N. M.; ZUCCHI, R. A. 1987. Cigarras associadas ao cafeeiro: I. Gênero *Quesada* Distant, 1905 (Homoptera, Cicadidae, Cicadinae). Anais da Sociedade Entomológica do Brasil, 16: 51-60.

MARTINELLI, N. M.; ZUCCHI, R. A. 1997. Cigarras (Hemiptera, Cicadidae, Tibicininae): associadas ao cafeeiro: distribuição, hospedeiros e chave para as espécies. Anais da Sociedade Entomológica do Brasil, 26 (1): 133-141.

RHAINDS, M.; LAN, C. C.; KING, S.; GRIES, R. M. O.; GRIES, G. 2001. Pheromone communication and mating behavior of coffee white stem borer, *Xylotrechus quadripes* Chevrolat (Coleoptera: Cerambycidae). Appl. Entomol. Zool., 36: 299 - 309.

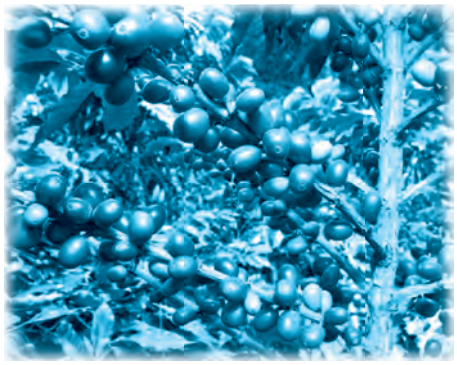
SWIRSKI, E.; WYSOKI, M.; IZHAR, Y. 1995. Avocado pests in Israel. Proceedings of the World Avocado Congress III, Department of Entomology Extension Service, A.R.O. The Volcani Center Ministry of Agriculture, p. 419 – 428.

SZITO, A. 2006. *Trogoderma granarium*. Global invasive species database. http://www.issg.org/database/species/ ecology. (15 May 2006).

WHEATLEY, P. E. 1963. The giant coffee looper, *Ascotis selenaria reciprocaria*. East African Agric. For. Journal, 29: 143 – 146.

Sección VII

Perspectivas del manejo de la caficultura



CAPÍTULO 36

Perspectivas sobre el manejo de plagas en cafetales

Álex Enrique Bustillo Pardey

Desde que el hombre se dedicó a la agricultura intensiva, lo han acompañado los problemas de insectos plagas que constantemente amenazan sus cosechas, por eso los Entomólogos siempre están en la búsqueda de nuevas herramientas de control, que sean cada vez más eficaces y puedan contrarrestar el flagelo de estos organismos. Con el advenimiento de la síntesis de insecticidas químicos de amplio espectro, se dio un gran paso para controlar satisfactoriamente las plagas, con la ventaja de que se podían tratar varios problemas con una sola aspersión. Esto unido a las exigencias de los comercializadores y consumidores hacia el agricultor, de obtener un producto final de una sanidad absoluta, condujo a que el uso de los plaguicidas se llevara a cabo en una forma indiscriminada, abusando de sus dosis y frecuencia de aplicación.

La anterior situación trajo como consecuencia que en corto tiempo los agricultores, investigadores y ambientalistas, se dieran cuenta de los problemas derivados del uso indiscriminado y masivo de insecticidas, como son: el desarrollo de la resistencia por parte de las plagas, la eliminación de la fauna benéfica, los problemas de intoxicación en operarios, la contaminación de aguas subterráneas, los residuos tóxicos en productos vegetales que van directamente a los consumidores, el impacto sobre las plagas secundarias que al eliminar la fauna benéfica generaban otros problemas más serios. Esta situación llevó a los investigadores a proponer cambios en la estrategia de manejo del problema, desarrollando el concepto del Control Integrado de Plagas y más tarde, del Manejo Integrado de Plagas (MIP), conceptos bastante afines.

En los países del hemisferio Norte, debido al gran desarrollo de su agricultura, se dieron los primeros pasos hacia la implementación de esta estrategia MIP, la cual paulatinamente se adoptó en países del Sur, menos desarrollados, pero con una problemática de plagas mucho más compleja. En el hemisferio Norte, el MIP se entendió y se empleó como un uso racional de plaguicidas, en donde estos productos se aplicaban de acuerdo a los umbrales de daño económico que se obtienen a través de muestreos basados en principios estadísticos, para tener idea de la magnitud de una población de insectos y de ahí estimar su posible impacto, para determinar si se justifica realizar una aplicación del plaguicida. En algunos casos esta estrategia está acompañada con la rotación de plaguicidas, rotación de cultivos, vedas para la siembra de un determinado cultivo, uso de variedades resistentes o tolerantes a una plaga, pero muy poco o casi nada se fomentaba el uso de la fauna de enemigos nativos como entomopatógenos, parasitoides y/o predadores o productos biológicos derivados de estos organismos.

A pesar de la aplicación de estas nuevas estrategias de control, los problemas de plagas no terminaron, ya que los insectos seguían desarrollando resistencia a las nuevas moléculas que la industria de agroquímicos producía.

Las compañías transnacionales de plaguicidas en el pasado mostraron poco o ningún interés en el desarrollo de productos biológicos, debido a que estos se consideran muy específicos y a los requerimientos de muchos, sobre condiciones ambientales propicias para un buen desempeño, lo que no los hace comercialmente promisorios. Una excepción ha sido la bacteria *Bacillus thuringiensis*, que mostró ser eficaz inicialmente en el control de plagas de lepidópteros y posteriormente, con descubrimiento del aislamiento de la bacteria de sustratos del suelo y del ambiente, se han obtenido nuevas cepas con actividad para el control de otro tipo de insectos como dípteros y coleópteros, y así ampliar su mercado. Esta bacteria se ha utilizado en muchos programas MIP, pero como todo producto u organismo que se usa en forma continua, los insectos han desarrollado resistencia y su uso se ha reducido considerablemente.

En los últimos años, la industria de agroquímicos ha concentrado sus objetivos en el desarrollo de moléculas con mayor especificidad, menor toxicidad y más amigables, que contribuyan a la sostenibilidad de los cultivos y del medioambiente, dadas las exigencias de las agremiaciones de consumidores que por medio de organismos no gubernamentales (ONG) u otros medios, claman por productos alimenticios más sanos y métodos de control de menor impacto en los agroecosistemas.

Sin embargo, el desarrollo de esas moléculas conlleva mayores inversiones, lo que se traduce en mayores costos para los usuarios y en muchos casos, limitan su uso en países del hemisferio Sur, con una agricultura menos mecanizada, con mayor dependencia de mano de obra y costos de producción más elevados.

La agricultura en los países desarrollados en el hemisferio Norte, tiene varias características que la diferencian de la agricultura en países en vías de desarrollo, localizados en las zonas tropicales, especialmente los agroecosistemas cafeteros. La primera, se caracterizan por estar en topografías poco agrestes, predios de grandes extensiones, altamente mecanizables, agricultura intensiva, poca biodiversidad, influencia de las estaciones climáticas que minimizan los problemas de plagas, subsidios gubernamentales y agricultores empresariales con un mayor nivel de escolaridad.

En cambio, los ecosistemas cafeteros en su mayoría están localizados en zonas tropicales, generalmente en las laderas de cordilleras montañosas, los agricultores en su mayoría poseen pequeñas extensiones y viven en los predios, los agroecosistemas son duraderos y más estables, tienen una mayor biodiversidad y dependen mucho de la mano de obra, al ser poco mecanizables. Además, en la mayoría de estos países se carece de apoyos gubernamentales y muchos insumos son importados, por lo que requieren divisas para su adquisición. Por otra parte, es necesario un gran esfuerzo de transferencia de tecnología debido al bajo nivel de escolaridad de los agricultores.

El enfoque del manejo integrado de plagas en estos ecosistemas tropicales debe ser más amplio y contemplar no solo la factibilidad del control de la plaga sino ampliarse al manejo del cultivo. El objetivo final de los agricultores no es controlar plagas sino producir competitivamente sus productos, y existen muchas prácticas que se pueden implementar en el manejo del cultivo que desalientan o evitan que las poblaciones de las plagas se incrementen, como las discutidas en las Secciones II y V de este libro.

Con el fin de aprovechar la biodiversidad de las zonas tropicales, en estos países y especialmente en Colombia, existe un enorme interés en el desarrollo de bioplaguicidas basados en entomopatógenos, especialmente hongos y el desarrollo de procesos de cría masiva de parasitoides y predadores. Ejemplos de hongos entomopatógenos, son los insecticidas biológicos basados en *Beauveria bassiana, Metarhizium anisopliae, Lecanicillium lecanii* y *Paecilomyces lilacinus*, entre otros. En el caso de parasitoides sobresalen *Trichogramma* spp., *Telenomus alsophilae, Telenomus remus, Encarsia formosa, Apanteles* spp., *Aphelinus mali, Spalangia* spp., *Muscidifurax* spp., y los parasitoides que controlan la broca del café: *Prorops nasuta, Cephalonomia stephanoderis* y *Phymastichus coffea*. Para el caso de los predadores, se pueden mencionar *Orius* spp., *Chrysoperla* spp., y coccinélidos como Rodolia cardinalis, *Cycloneda sanguinea* e *Hippodamia convergens.* Solamente en Colombia existen registrados ante el ICA, cerca de 50 laboratorios que tienen licencia para la producción de bioinsecticidas e insectos benéficos.

Estos laboratorios han desarrollado procesos semiartesanales e industriales, que permiten la producción masiva de estos organismos y tienen la supervisión y el control del gobierno, para asegurar a los agricultores productos que cumplan con las exigencias del mercado. Las compañías colombianas han abordado el mercado internacional proyectándose hacia países como Brasil, Perú, Ecuador, Venezuela, Panamá, Costa Rica y Guatemala, entre otros.

En Colombia, la actividad cafetera ha jugado un papel muy importante en el desarrollo del país no solo por los ingresos que genera sino por el empleo rural, y su prominencia social y regional. Como lo indica la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia: "El café en Colombia más que un producto agrícola de exportación es ante todo un tejido social, cultural, institucional y político que ha servido de base para la estabilidad democrática y la integración nacional. Esta actividad representa el corazón de la sociedad rural colombiana y la red social cafetera es un activo estratégico del desarrollo nacional. Por eso 566 mil familias

cafeteras están organizadas y trabajan unidas en procura del bienestar común. Este principio ha sido la base para que, después de ochenta años continúen agremiados y junto con sus Instituciones se hayan convertido en el motor de desarrollo social, cultural y económico del país, a partir de la construcción de puentes, acueductos, puestos de salud y escuelas, que son tan sólo algunas de las obras que los cafeteros le han entregado a Colombia".

La caficultura colombiana ha presentando cambios importantes en los últimos años, estimulados por el programa de "Incentivo a la Renovación de Cafetales Tecnificados", que actualmente se denomina "Programa de Competitividad". Además de partir de la necesidad de mantener una caficultura joven, que permita adecuadas productividades, se requiere que los caficultores adopten las prácticas de manejo del cultivo más apropiadas y que propendan por la reducción de las plagas que lo afectan. El fin último, es lograr una caficultura competitiva y sostenible, mediante el incremento de la productividad, que debe traducirse en mayores ingresos para la población cafetera. Al mismo tiempo, esta caficultura debe respetar al entorno agroecológico y preservar la biodiversidad, contribuyendo así a la sostenibilidad social, económica y ambiental de la zona cafetera. Por lo tanto, un manejo apropiado de los problemas fitosanitarios es importante para lograr estos fines.

Hacia el futuro se esperan muchos cambios en los enfoques del manejo de plagas, como consecuencia de los adelantos en las investigaciones, en regulaciones internacionales y exigencias en los mercados, para lograr una agricultura más limpia y con mayor estabilidad ecológica. La revisión que en poco tiempo se hará de la legislación nacional sobre residuos de plaguicidas, hará que se dé mayor prioridad a la búsqueda de alternativas más eficaces al uso de químicos altamente contaminantes, en programas MIP.

Para hacer más eficaces estos cambios, es necesario un plan agresivo de educación dirigido a los jóvenes en escuelas, con el fin de lograr el relevo generacional. Se debe hacer énfasis sobre las prácticas apropiadas del manejo del cultivo, y cómo integrar todas las herramientas de control existentes para el manejo de las plagas. Todo esto permitirá que la percepción del cafetero joven sea mayor y se logre una mayor adopción de la tecnología. Así mismo, se requiere preparar el personal que labora en las fincas para la correcta ejecución de las labores a través de programas de competencias laborales.

En las universidades, es necesario que los programas agropecuarios se reorienten hacia la preparación de profesionales entrenados y más conscientes de toda esta problemática. Así como hacer un especial énfasis en la preparación adecuada de los capacitadores o extensionistas, por medio de metodologías basadas en "aprender haciendo", para que las enseñanzas sean transmitidas al beneficiario final en la forma más adecuada. Todas estas acciones deben ir acompañadas de mecanismos modernos como la Investigación Participativa con Agricultores (IPA), la televisión interactiva, cursos de aprendizaje "e-learning", videos y video conferencias, entre otros.

Las personas que desarrollan e implementan tecnologías MIP, deben ser proactivas en el diseño de sistemas de entrega de información. Esto involucra varios aspectos como son: la comunicación efectiva de la información generada por la investigación a los extensionistas, para promover la formulación y entrega de programas integrados; la entrega a tiempo de anuncios sobre el estado de las plagas ("alertas") a los agricultores, para que tomen decisiones a tiempo y lograr que los extensionistas y agricultores retroalimenten a los investigadores en relación con la efectividad de los programas implementados.

Un aspecto importante, son los mensajes a la comunidad para crear conciencia y aceptación sobre la importancia del MIP, desde el punto de vista de entender cómo a través de esta estrategia se logra una efectiva regulación de las plagas, haciendo énfasis en la seguridad para la población humana y para el ambiente en el que vivimos. También se pretende que el público entienda que el MIP tiene como principal objetivo, la moderación en el uso de los plaguicidas y la consideración de métodos de control alternativos.

El público debe ir más allá de consideraciones vagas sobre la seguridad de los alimentos, a entender y apreciar el potencial de las plagas para limitar los suministros de alimentos o productos, y así estar consciente de las decisiones para un adecuado empleo de las técnicas de manejo. El público debe ver el desarrollo e implementación del MIP como una inversión sana de recursos.

Otra área que preocupa con el uso continuo de plaguicidas químicos, es la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas. Para evitar esto, se deben establecer normas legales que permitan a las autoridades oficiales llevar a cabo monitoreos y controles a los que infrinjan las normas.

Hacia el futuro se prevé el desarrollo de nuevos insecticidas basados en subproductos de organismos o de extractos vegetales, más eficaces, específicos, de menor impacto ambiental y económicamente más accesibles.

A largo plazo, también es previsible la obtención de variedades transgénicas con resistencia a plagas, como producto de los avances en ingeniería genética. Puede que estas variedades no sean totalmente resistentes o presenten una tolerancia a los problemas más serios como la broca del café, pero serán un aporte importante dentro de un esquema de múltiples enfoques de control, como lo plantea el MIP. Será también importante explorar la posibilidad de incluir características en ciertos cultivares, que faciliten el control de las plagas como por ejemplo, en el cafeto lograr variedades con floraciones concentradas.

Enfoques muy revolucionarios se presentarán como el recientemente expuesto en la revista Science, en donde se informa que un grupo de investigadores han encontrado la forma de producir plantas genéticamente modificadas, para que produzcan moléculas que inactiven el ARN de los insectos. Este nuevo enfoque puede abrir el camino para un control de plagas más amigable y más selectivo con el ambiente.

Con la aprobación de protocolos para la manipulación de microorganismos en Colombia, se podrán adelantar rápidamente investigaciones para producir entomopatógenos basados en hongos transgénicos más virulentos a los insectos plagas. Otra estrategia de control puede ser la manipulación de genes de entomopatógenos para producir bioplaguicidas más eficaces. Se presume que hacia el futuro los entomopatógenos desempeñarán un papel muy importante en el control de muchas plagas.

Se vislumbra, en las próximas décadas, la producción y liberación de insectos con genes deletéreos, que conduzcan a la extinción de las poblaciones de plagas o la producción de enemigos naturales que puedan tener características que impliquen una mayor eficacia en el control de plagas.

También, para mejorar la eficacia de predadores y parasitoides, la investigación proporcionará información para producir comercialmente metabolitos secundarios que producen las plantas, para atraer estos insectos y mejorar su eficacia en el combate de las plagas.

En la parte de la Ingeniería Agrícola, se espera el desarrollo de equipos que permitan labores de control más eficientes, como son: el tratamiento de frutos infestados en el suelo, para el caso de la broca del café, y dispositivos de cosecha que eviten la caída de frutos.

Muy posiblemente, empresas nacionales y transnacionales interesadas en estos temas, filtrarán y decantarán toda la investigación necesaria para ofrecernos avances tecnológicos de fácil adquisición comercial y de gran provecho para el desarrollo de nuestra caficultura y agricultura en general.

Glosario

Compilación: Álex Enrique Bustillo Pardey

Abdomen. Tercera división del cuerpo de los insectos, por lo general, de 10 a 11 segmentos. En la forma adulta carece de patas ambulatorias.

Abductor. Músculo que separa un apéndice del eje.

Acarina. Orden de la Clase Arachnida que incluye ácaros y garrapatas.

Adéctica. Pupa sin mandíbulas para escapar del capullo.

Aductor. Músculo que acerca un apéndice.

Aedeago (ver edeago). Órgano reproductor de los machos de los insectos.

Agrimensora. Larva de la Familia Geometridae o de otro Lepidoptera, en la cual faltan algunos o todos los espuripedios de la parte media del abdomen. Estas larvas se mueven trayendo la cola hacia el tórax, formando una curva en forma de U invertida.

Agroecosistema. Sistema de plantas, animales y hábitat modificado y simplificado por el hombre para fines agrícolas.

Aislamiento reproductivo. Condición que impide la reproducción entre poblaciones o especies debido a factores intrínsecos.

Ala. Expansión externa de la pared del cuerpo, en número par, con una lámina membranosa superior e inferior, por donde corren fibras de soporte denominadas venas.

Alelo. Una de dos o más formas alternativas de un gen en un locus en particular.

Aleloquímicos. Sustancia producida por un organismo que tiene efecto modificador morfofuncional o de comportamiento, sobre ejemplares de otra especie.

Alomona. Aleloquímico que produce una reacción en un individuo de otra especie, favorable para el ejemplar que la emite.

Alopátrico. Poblaciones o especies separadas geográficamente.

Ametábolo. Insectos que se desarrollan sin metamorfosis. Aquellos que pertenecen a la Subclase Apterygota (Collembola), con crecimiento gradual, donde los estados juveniles son semejantes al adulto.

Aminoácido. Una de las unidades monoméricas que se polimerizan para formar una molécula de proteína.

Anal, Segmento. Último segmento abdominal de larvas o adultos.
Anamorfosis. Tipo de metamorfosis en el cual los estados juveniles presentan menos segmentos que los adultos (Protura).

Androconia. Escamas modificadas en las alas de Lepidoptera que producen feromonas.

Andrópara. En áfidos, hembras que dan origen a machos.

Anepisterno. Parte superior del episterno cuando existe sutura longitudinal.

Anillo anal. En Pseudococcidae, corresponde a la cauda propiamente dicha. Generalmente está bordeado por al menos dos hileras de células que le proporcionan apariencia crenulada y de donde salen tres pares de setas dispuestas bilateralmente, de longitud variable.

Antagonismo. Las dos especies sufren efectos adversos.

Antena. Apéndice sensorial segmentado, en número par, que nace en la región frontal de la cabeza.

Antenómero. Ver artejo.

Antibiosis. Acción nociva de un organismo para la vida de otro, sin ser un verdadero parasitismo, mediante la producción de sustancias que inhiben el desarrollo o causan la muerte del organismo sobre el cual ejercen su acción.

Antibiótico. Sustancias químicas que impiden la multiplicación o desarrollo de microorganismos. Es producido por muchos organismos como bacterias y hongos inferiores, algunos se obtienen por síntesis.

Anticuerpo. Sustancia producida por el huésped en respuesta a la introducción de una sustancia extraña (antígeno) en la sangre o en el tejido, y que inhibe la acción invasiva de un antígeno.

Antígeno. Sustancia normalmente de origen proteico, que cuando invade el sistema de los mamíferos estimula la producción de anticuerpos.

Antisero. Un suero que contiene anticuerpos.

Ápoda. Sin patas.

Apodema. Proyección interna del tegumento que generalmente permite inserción muscular.

Apófisis (pl. apofises). Proceso o tubérculo cuticular.

Apomixis. Sistema reproductivo asexuado derivado de un sistema sexuado.

Áptera. Sin alas.

Apterygota. Subclase de insectos que carecen de alas. Insectos primitivos.

Arista. Cerda generalmente dorsal, en el segmento distal de la antena en Diptera.

Arolio. Lóbulo medio del pretarso ubicado entre las uñas.

Arrenotoquia. Tipo de reproducción en que se originan machos por partenogénesis, de huevos no fertilizados.

Artejo. Cada una de las partes articuladas del flagelo o funículo, que forman las antenas en los insectos.

Arvense. Plantas asociadas a los cultivos, que comúnmente se denominan malezas.

Átocos. Individuos en estado no reproductivo.

Axénico. Libre de organismos asociados.

Axila. Esclerito lateral del escutelo de forma triangular o redondeada y, por lo general, localizado en la zona caudal de la base del ala anterior en Hymenoptera.

Azigosis. Haploidía.

Bacteriófago. Virus que destruye ciertas bacterias.

Bacteriostático. Sustancia que impide el desarrollo de las bacterias.

Basitarso. Primer segmento proximal del tarso.

Bilobada o bilobulada. Que presenta dos lóbulos.

Bioensayo. Medida de la potencia de cualquier estímulo, físico, químico, biológico, fisiológico o sicológico, por medio de la respuesta que él produce en la materia viviente.

Bioma. Determinada parte del planeta que comparte un clima, vegetación y fauna relacionados.

Biordinal. Se dice de los *crochets*, cuando se presentan en dos tamaños, alternándose en una misma fila o serie.

Biserial. *Crochets* que están dispuestos en dos filas o series, generalmente concéntricas.

Bisexuales. Generaciones de organismos en que existen machos y hembras.

Bivoltino. Organismo que completa dos generaciones al año.

Braquíptero. Que tienen alas cortas o reducidas.

Cabeza. Primera región del cuerpo de un insecto, compuesta generalmente por 6 a 9 escleritos.

Cámara filtrante. Órgano resultante del acercamiento del estomodeo al intestino posterior, que permite el paso directo de líquidos, en Hemiptera.

Campodeiforme. Larva con cuerpo aplanado, patas desarrolladas, antenas y cercos largos, por ejemplo en Neuroptera, Trichoptera.

Capacidad de búsqueda. Habilidad de un enemigo natural para movilizarse, localizar y parasitar o depredar a su huésped (presa).

Capacidad máxima de soporte (K). Máximo número de individuos que un hábitat puede soportar en función de los recursos existentes.

Carabiforme (larva). Semejante a larva campodeiforme pero con patas y cercos cortos.

Carpófago. Que se alimenta de frutos.

Cauda. Cualquier proceso o expansión terminal del abdomen. En áfidos extensión en forma de espátula.

Cecidógeno. Insecto que produce agallas, en las cuales puede o no vivir en el interior.

Cefálico. En o perteneciente a la cabeza.

Celdas. Área del ala rodeada de venas.

Cerarios. Estructuras que sólo se encuentran en Pseudococcidae y que forman y dan soporte a los filamentos marginales de cera. Se extienden en una línea imaginaria cefalo-caudal en los bordes laterales del dorso y constan de grupos de setas y poros. En cada cerario existen dos o más setas cónicas o lanceoladas prominentes, llamadas setas cerarianas y algunas veces setas filiformes denominadas setas auxiliares.

Cercus (pl. cerci). Son apéndices pares, a menudo sensoriales, en el extremo posterior de muchos insectos; las pinzas de las tijeretas (Dermaptera) son cercus modificados.

Cervical. Punto de articulación para la cabeza con el tronco.

Cerviz. Sección membranosa entre la cabeza y el tórax.

Cibario. Espacio preoral entre el clípeo y la base de la hipofaringe.

Circadiano (ritmo). Actividad biológica periódica, generalmente dentro del día.

Círculo. Estructura ventral de forma diversa, generalmente ovalada o cuadrangular, ubicada en muchas ocasiones en la parte media de los segmentos abdominales tres y cuatro, en Pseudococcidae.

Cleptoparásito. Parásito que se nutre de alimento almacenado por su larva huésped.

Clípeo. Zona de la cabeza de los insectos situada bajo la frente y sobre el labro.

Coarctada. Tipo de pupa que oculta todas las estructuras exteriores del futuro imago, por la presencia de la última muda larval, que le confiere aspecto de cilindro o barril.

Coexistencia. Presencia de dos o más especies en el mismo hábitat, generalmente se refiere a especies potencialmente competitivas.

Colloforo. Tubo ventral ubicado en el primer segmento abdominal en Collembola.

Comensales. Especies que se benefician del comensalismo.

Comensalismo. Forma de simbiosis en la que se involucran dos organismos diferentes, en la cual una especie se aprovecha de la asociación sin dañar, ni beneficiar a la otra.

Competencia. Ambas especies resultan afectadas adversamente por su asociación. Hay tres tipos de competencia.

Competencia interespecífica. Entre dos o más individuos de diferentes especies.

Competencia intraespecífica. Entre dos o más individuos de la misma especie.

Competencia por recursos. Cuando los organismos (de una o más especies) utilizan un mismo recurso que es escaso. Competencia por alimento, apareamiento, espacio, sitios de anidado, refugio.

Comprimido. Aplastado bilateralmente.

Concentración letal media (CL_{50}). Concentración de un producto que produce la muerte de la mitad de los organismos en prueba.

Condilo. Cualquier proceso por medio del cual un apéndice está articulado a una cavidad corporal.

Constreñido. Adelgazado, retraído.

Control biológico. Uso por el hombre, de organismos vivos para controlar animales y plantas indeseables.

Control microbiológico. Parte del control biológico que tiene que ver con el control de insectos mediante el uso de microorganismos, incluyendo los virus, bacterias, hongos y nematodos.

Coriáceo. Con consistencia de cuero.

Corión. Envoltura externa del huevo.

Corium. Porción basal del ala delantera de Hemiptera, de forma elongada y generalmente gruesa.

Cornículo. En las hembras de Orthoptera hace alusión a los ápices endurecidos de las primeras y segundas válvulas que penetran en el suelo para depositar los huevos; en los áfidos o pulgones los tubos melíferos abdominales dorsales.

Corpora allata. Glándula endocrina productora de hormona juvenil, ubicada detrás del cerebro.

Corpora cardiaca. Glándula endocrina ubicada en la aorta, detrás del cerebro.

Costal, Vena. Primera nervadura del ala, que se extiende a lo largo del margen anterior del ala.

Coxa. Segmento proximal de la pata unida al cuerpo.

Coxopodito. Esclerito basal donde se originan proyecciones que dan origen a un apéndice.

Cremaster. Ápice del último segmento del abdomen de la pupa. Espinas terminales del abdomen que en pupas arbóreas ayudan a suspenderse o en pupas subterráneas, ayudan desplazarse en la tierra.

Crenulado. Ondulado o recubierto con pequeñas verrugas.

Criptobiosis. Estado de los insectos sin signos vitales, pero recuperable en condiciones favorables.

Criptonefridio. Tubo de Malpighi cuyo extremo distal se encuentra adosado al recto.

Crisálida. Ver pupa.

Cristal paraesporal o delta endotoxina. Proteína tóxica a insectos en forma de diamante, producida por bacterias de la especie *Bacillus thuringiensis* durante el proceso de esporulación.

***Crochet* (pl. *crochets*).** Pequeñas espinas curvas en forma de gancho y dispuestas en filas o círculos en la base de una pata abdominal de una larva.

Cromosoma. Filamento condensado de ácido desoxirribonucleico, visible en el núcleo de las células durante la mitosis. Su número es constante para cada especie animal o vegetal.

Ctenidio. Grupo de pelos rígidos formando un pincel.

Cuneo o cuneus. Pieza apical más o menos triangular del corium, separada de éste, por una sutura en Hemiptera.

Cutícula. Cubierta externa de los insectos de tipo no celular, secretada principalmente por la epidermis.

Cuticulina. Tipo de proteína epicuticular en insectos.

Déctica. Tipo de pupa con mandíbulas para escapar del capullo.

Depredador. Organismo que se alimenta de dos o más organismos durante su vida causándoles generalmente la muerte.

Deprimido. Aplastado dorsoventralmente.

Desplazamiento competitivo. Concepto ecológico basado en la ley de Gause, que sugiere que una especie es capaz de reemplazar a otra como resultado de la competencia por el mismo nicho.

Deutocerebro. Lóbulo medio del cerebro relacionado con las antenas.

Deutoninfa. En ácaros, segundo estado ninfal.

Diapausa. Período de detención del desarrollo o inactividad en adultos, determinado hormonalmente y no como respuesta inmediata a condiciones ambientales desfavorables.

Dicóptico. En dípteros, ojos separados por encima de la cabeza.

Dimorfismo. Formas distintas en cuanto a tamaño y estructuras en individuos de la misma especie. Caracteriza a dos tipos distintos; puede ser sexual, estacional o por hospedante.

Diploide. Organismo que posee dos copias de cada uno de los cromosomas.

Discal, Área. Porción central, del ala, que abarca la celda discal.

Discos imaginales. Masas celulares de tejido no diferenciado, presente en los jóvenes, que origina órganos en adultos.

Distal. Se dice de la parte de un miembro o de un órgano más separada de la línea media.

Dormancia. Reducción de actividad y baja de metabolismo.

Dosis letal media (DL_{50}). Dosis que produce la muerte de la mitad de la población de los organismos en prueba.

Ductos tubulares. Estructuras internas con el orificio en la superficie cuticular; los ductos varían considerablemente en estructura pero normalmente son de dos formas: **ductos con collar oral,** su tamaño y distribución en el cuerpo son variables, dependiendo de la especie, su apariencia bajo el microscopio es de un tubo con orificio simple y con un cilindro hueco proyectado internamente en la cutícula mostrando una esclerotización en su extremo interno. Los **ductos con anillo oral** son similares a los ductos tubulares con collar oral, pero tienen anillo muy conspicuo levantado de la cutícula alrededor de la apertura.

Eclosión. Proceso de emergencia de un individuo desde el huevo o de una envoltura juvenil.

Ectognatos. Insectos con las piezas bucales expuestas, las cuales se observan fácilmente y no están escondidas bajo ningún repliegue de la cabeza.

Ectoparasitoide. Parasitoides que ovipositan externamente y sus larvas se desarrollan por fuera del huésped.

Edeago o aedeago. Órgano reproductor del macho.

Elateriforme. Larva que se asemeja a la larva de los Elateridae: alargadas, cilíndricas, ortosomática y con un exoesqueleto muy resistente.

Electroforésis. Separación de moléculas en un campo eléctrico.

Electroporación. Disrupción por corrientes eléctricas de membranas en las células para insertar ADN exógeno.

Elicitor. Sustancia que produce una respuesta o reacción en un organismo vivo.

Élitro. Ala rígida, sin venación.

Embolio. Porción costal diferenciada del corium de los hemiélitros.

Empodio. Lóbulo medio ventral del último segmento tarsal, a veces en forma de espina.

Endito. Evaginaciones internas en artrópodos primitivos, que originan en insectos las piezas bucales y genitales.

Endogamia. Cruzamiento entre individuos de una raza, comunidad o población aislada genéticamente.

Endoparasitoide. Parasitoide de insectos que coloca sus huevos y las larvas se desarrollan dentro del huésped.

Endopterigotos. Insectos con desarrollo alar interno. Estados juveniles sin rudimentos de alas visibles externamente.

Entognatos. Insectos que poseen piezas bucales ocultas en un pliegue, que resulta del crecimiento del tegumento facial sobre las mandíbulas y maxilas, que se fusionan con los bordes del labio. Es común en Diplura, Protura y Collembola.

Enzoótico. Estado de ocurrencia continua de una enfermedad en animales con respecto a un patógeno en particular.

Epicráneo. Parte superior de la cabeza desde la cara hasta la nuca en Lepidoptera.

Epicutícula. Delgada lámina externa de la cutícula, que cumple funciones no esqueléticas.

Epidemiología. Estudio de las enfermedades epidémicas en una población de humanos.

Epifaringe. Estructura esclerosada ubicada en el piso de la cámara bucal, que actúa como lengua. A dicha estructura confluyen las glándulas salivales.

Epífisis. Colchón móvil parecido a un lóbulo en la superficie interior de la tibia anterior, en Lepidoptera.

Epígeo. Que vive sobre la tierra.

Epímero. Esclerito lateral posterior de un segmento torácico.

Epimerón. División posterior de un pleurón torácico, marcado anteriormente por el surco pleural.

Epimórfico o epimorfosis. Desarrollo en el cual todos los segmentos están diferenciados en el embrión antes de la eclosión.

Epiprocto. Esclerito dorsal al orificio anal, derivado del XI segmento abdominal.

Episterno. Esclerito lateral anterior de un segmento torácico.

Episternum. Esclerito anterior del pleurón, marcado posteriormente por el surco pleural.

Epizoótico. Brote de una enfermedad, en la cual hay un gran número de casos.

Epizootiología. Estudio de las enfermedades de animales que son epidémicas en la naturaleza.

Eruciforme. Larva semejante a una larva polípoda en forma y apariencia, con espuripedios.

Escama. Crecimientos unicelulares del tegumento, de varias formas y colores; en lepidópteros cubren las alas.

Escapo. Segmento basal o primer segmento de la antena de los insectos.

Escarabeiforme. La larva oligópoda en forma de "C", como la larva de los gusanos blancos de los Scarabaeidae.

Esclerito. Parte del tegumento limitado por suturas.

Escolus. Tubérculos en forma de proyecciones espinosas saliendo del integumento en las larvas de Saturniidae y otros lepidópteros.

Escudo. Mayor parte de un tergo torácico anterior a la sutura escuto - escutelar.

Escutelo. Esclerito tergal posterior al escudo.

Especiación. Mecanismo que da origen a especies.

Especiación simpátrica. Ocurre cuando dentro de una misma especie surge otra nueva a partir de la primera, como consecuencia de un aislamiento reproductivo precigótico. Esta especiación es común en insectos parasitoides y orquídeas.

Especie. *Concepto evolutivo*: linaje único de poblaciones ancestro-descendientes que mantienen identidad propia. *Concepto biológico*: grupo de poblaciones aisladas reproductivamente de otras semejantes. *Concepto genético:* grupos de poblaciones de organismos biparentales que comparten un sistema reproductivo.

Especie oportunista. Especializada en la explotación de hábitats recién abiertos. Estas especies por lo común, son capaces de dispersarse a largas distancias y de reproducirse con rapidez, presentan estrategia tipo R.

Espermateca. Estructura genital de las hembras para almacenar espermios.

Espermatóforo. Estructura proteinacea portadora de espermios.

Espermio. Espermatozoide.

Espiráculo. Orificio tegumentario de funciones respiratorias; estigma.

Espiritrompa. Órgano chupador de los lepidópteros, con forma de tubo largo, que las mariposas despliegan para chupar el néctar de las flores, a modo de lengua, y que recogen después enrrollándolo en espiral.

Espuripedio. Patas abdominales en las larvas eruciformes de los lepidópteros e himenópteros.

Esqueletonizador. Larva de insecto que consume el parénquima de las hojas, dejando sólo la nervadura de ella.

Estadio. Período entre mudas de un insecto inmaduro.

Estado. Cada uno de los períodos definidos y diferenciados en la metamorfosis de los insectos.

Estemata. Ojos simples, a menudo circulares, agrupados en posición lateral en la cabeza de larvas de holometábolos.

Esternelo. Esclerito esternal posterior, separado por la sutura esternocostal.

Esternito. Parte ventral de cualquier segmento corporal.

Esterno. Semianillo ventral de un segmento.

Esternum. Cara ventral del cuerpo.

Estiletes. Estructuras como aguja o un pequeño estilo ubicada en el término del abdomen y, a veces, en las partes bucales de insectos picadores-succionadores.

Estiliformes. En forma de estilo o bastón.

Estipes (pl. estípites). Segmento medio de la maxila.

Estomatogástrico. Sistema nervioso simpático.

Estomodeo. Parte anterior del intestino, revestida con cutícula y formado por: boca, faringe esófago, buche y molleja.

Estridulación. Ruido que se produce por el roce de estructuras, como las patas con las alas o con el abdomen, etc. Mecanismo para atraer al sexo opuesto.

Etiología. Estudio o teoría de la causa de las enfermedades. El conocimiento que se tiene sobre las causas de una condición patológica.

Eversible. Estructura que es capaz de inflarse o darse vuelta hacia adentro o hacia afuera en el cuerpo de un animal.

Exarata. Pupa con apéndices libres.

Éxito. Evaginación externa sobre los escleritos basales de un apéndice primitivo.

Exopterigoto. Juveniles con rudimentos de alas visibles externas.

Exótico. Que no pertenece al lugar.

Exotoxinas. Sustancias venenosas producidas por células microbiales y liberadas en sus alrededores sin destrucción de la célula.

Extensor. Músculo que extiende un apéndice.

Exudar. Secretar productos de glándulas exocrinas.

Exuvia. Tegumento abandonado de un estado juvenil en la metamorfosis.

Falciforme. Proyección curva en forma semejante a una hoz.

Fémur. Tercer segmento de la pata, entre el trocánter y la tibia; generalmente, muy desarrollado y más largo.

Feromona. Compuestos liberados por un organismo, que provocan una reacción en otro de su misma especie.

Filófago. Que se alimenta de las hojas de una planta.

Flabelo. Lóbulo distal piloso de la glosa en *Apis*.

Flagelo (también **funícolo**). Parte de la antena del insecto compuesta de artejos o antenómeros.

Flecos. Bordeado de escamas piliformes, escamas u otros procesos, que se extienden libremente más allá del borde sólido.

Flexor. Músculo que permite que un apéndice se pueda doblar.

Fontanela. Pequeña depresión de color pálido que se ubica en la frente de la cabeza entre los ojos de las termitas.

Forceps. Pinzas, cercos o estructuras pares, que se oponen para aprisionar a otro elemento, al final del abdomen o en las estructuras genitales.

Forésis. Tipo de relación simbiótica en la cual un organismo se asocia con otras especies con el fin de obtener transporte.

Fotocitos. Células fotógenas presentes en algunas especies productoras de luz.

Fotoperíodo. Altenancia de horas de luz y de oscuridad en un día.

Fragma. Proyecciones cuticulares internas de refuerzo estructural o inserción muscular.

Fragmata. Pared membranosa que separa casi totalmente los compartimentos corporales de un animal.

Frente. Esclerito impar de la cabeza, ubicado entre los ojos compuestos y sobre el clípeo.

Frénulo. Proyección del ala anterior en forma de espina, que engancha con el ala posterior en los lepidópteros.

Fundatriz. En áfidos, hembra proveniente de un huevo fecundado que se reproduce partenogenéticamente.

Funícolo ver **Flagelo.** Parte de la antena compuesta de artejos o antenómeros.

Furca. Estructura en forma de Y o U en la cara interna del exoesqueleto o externamente en la genitalia.

Fúrcula. Furca pequeña.

Fusiforme. Estructura en forma de huso.

Gálea. Lóbulo distal externo de la maxila.

Gen. Secuencia de ADN que constituye la unidad funcional para la transmisión de los caracteres hereditarios.

Gena. Área lateral de la cabeza, que se extiende desde la boca hacia el borde inferior de los ojos.

Genoma. Material genético de un organismo. Específicamente, un conjunto de cromosomas con los genes que ellos contienen.

Genotipo. Constitución genética de un organismo.

Ginópara. Referido a áfidos, individuos que dan origen sólo a hembras.

Glabro. Desprovisto de pelos.

Glándulas mefíticas. Glándulas que exhalan olores pestilentes.

Glial. Células del tejido nervioso, importantes en la asimilación y nutrición neuronal.

Glosa. Lóbulos distales del labio; lengua.

Gnatosoma. En ácaros, región del rostro que lleva los palpos y quelíceros o estiletes.

Gonoporo. En el macho, la abertura externa del conducto eyaculador. En la hembra, el orificio que comunica el oviducto con la vagina.

Gregaria. Tendencia de los animales a vivir juntos.

Gremio. Grupo de especies que se encuentran en el mismo lugar y que comparten el mismo recurso alimentario.

Gula. Esclerito proximal al labio.

Hábitat. Lugar donde un organismo vive.

Hálteros o balancines. En los dípteros adultos, el ala posterior modificada o reducida en un órgano del equilibrio durante el vuelo.

Hámuli. Estructura de unión entre las alas formada de ganchos pequeños.

Haplodiploidía. Sistema reproductivo con machos haploides y hembras diploides.

Haplodiploidia funcional. Organismo diploide que durante la meiosis, un par de cromosomas falla en alinearse, y por lo tanto, no transmiten ni expresan la información codificada en estos cromosomas.

Haploide. Células u organismos que contienen una sola copia de cada uno de los cromosomas.

Hemiélitro. Primer par de alas en Hemiptera, con la parte proximal rígida y la distal membranosa.

Hemimetábolo. Especies con juveniles que poseen rudimentos externos de alas durante la metamorfosis.

Hemocelo. Cavidad general del cuerpo de los insectos llena de hemolinfa.

Hemocito. Célula de la hemolinfa en los insectos.

Hemoglobina. Materia colorante roja de la sangre.

Hemolinfa. Sangre, líquido extracelular en insectos.

Heteroica. En áfidos, poblaciones que cumplen su ciclo en una especie de planta.

Heterometábolo. Metamorfosis con juveniles acuáticos de respiración branquial (Odonata, Ephemerida).

Hipermetamorfósis. Desarrollo que presenta dos o más formas juveniles.

Hiperparasitismo. Se refiere a la parasitación de un parasitoide por otro parasitoide.

Hiperplasia. Excesiva multiplicación de células normales en un órgano o en un tejido.

Hipógeo. Que vive bajo tierra.

Histerosoma. En ácaros, región que se extiende desde el segundo par de patas hacia atrás.

Histogénesis. Proceso de formación de tejidos.

Histólisis. Destrucción de tejidos.

Histopatología. Se refiere al examen microscópico de una enfermedad o una herida en un tejido.

Holártica. Región zoogeográfica, que comprende Europa, Norte de África (hasta el desierto del Sahara) y Asia (hasta los montes del Himalaya), junto con la región Neártica en América del Norte.

Holometábolo. Tipo de desarrollo con juveniles muy diferentes al estado adulto; metamorfosis completa.

Holóptico. En dípteros, disposición de los ojos tocándose por encima de la cabeza.

Homólogos ecológicos. Dos especies alopátricas con nichos ecológicos similares o idénticos, especialmente en relación con la provisión de recursos en cantidades limitadas.

Huésped. Insecto o planta que alberga un microorganismo.

Humeral, Ángulo. Ángulo de la base del margen costal del ala.

Humor. Sustancia fluida de un cuerpo organizado, como la sangre, bilis, etc.

Humoral. Perteneciente a los humores o causado por ellos.

Idiobiontes. Parasitoides de huevos y pupas que matan sus huéspedes antes de que emerjan las larvas del parasitoide, y por lo tanto, éstas se desarrollan sobre huéspedes muertos o paralizados.

Idiosoma. Cuerpo del ácaro, desde el gnatosoma hacia atrás; incluye el propodosoma e histerosoma.

Imago. Adulto en insectos.

In vitro. En el tubo de ensayo u otro ambiente artificial. Fuera del organismo vivo.

In vivo. En el organismo viviente.

Inanición. Condición física resultante de una completa falta de alimento.

Infección. Relación biológica resultante en una enfermedad, en la cual el microorganismo invade, se establece, crece y se multiplica en el tejido o en los fluidos del cuerpo de su huésped.

Inmunidad. Característica que un organismo a veces adquiere y que lo capacita para resistir o sobreponerse a una infección, a la cual la mayoría de su clase es susceptible.

Insectos parasitoides. Son aquellos que viven la mayor parte de su ciclo de vida sobre o dentro de un organismo huésped, al cual mata durante el proceso.

Ínstar. Mudas sucesivas de un insecto. El primer ínstar ocurre entre la eclosión y la primera muda del insecto.

Integumento. Cubierta externa del cuerpo de los insectos que incluye el epitelio y la cutícula.

Johnston, órgano. Estructura sensorial en el primer segmento antenal del orden Diptera, a través del cual el insecto percibe sonidos.

Juvenoides. Compuestos químicos que impiden el paso a adulto.

Kairomona. Sustancia producida por un organismo que provoca una reacción en otro de distinta especie, que es favorable para el que la recibe y pero no para quien la emite.

Katepisterno. Parte inferior del episterno cuando hay sutura longitudinal.

Koinobiontes. Endoparasitoides que ovipositan dentro de un huésped móvil, dentro del cual las larvas del parasitoide se benefician al mantener vivo el organismo para continuar con su alimentación y desarrollo.

Labela. Lóbulo distal del labio en algunos Diptera.

Lábil. Dicho de un compuesto: Inestable, que se transforma fácilmente en otro.

Labio. Estructura que se forma con el segundo par de maxilas, dando lugar a la base de la boca de insectos mandibulados, se localiza detrás del primer par de maxilas.

Labro. Labio superior, se encuentra a continuación del clípeo al frente de la boca.

Lacinia. Lóbulo distal interno de la maxila.

Lamedor. Tipo de aparato bucal cuyas piezas están adaptadas para lamer y succionar jugos nutritivos.

Larva. Estado inmaduro posterior al huevo, presente especialmente en insectos holometábolos.

Lígula. Conjunto de glosas y paraglosas.

Linfa. Líquido amarillento o incoloro que tiene en suspensión glóbulos blancos y que circula por los vasos linfáticos.

Lipasa. Enzima que acelera la hidrólisis o el rompimiento de lipoproteínas o grasas.

Lisis. Rompimiento de la pared celular microbiana.

Lóbulos anales. En Pseudococcidae, son ligeras proyecciones del cuerpo en los dos lados del anillo anal, que terminan en un par de setas posteriores y que son de importancia taxonómica.

Locustol. Feromona de Acrididae, que promueve el comportamiento gregario.

Lorum. Esclerito impar que une distalmente los cardos en las abejas melíferas.

Mandíbula. Primer par de apéndices del aparato bucal, de aspecto y tamaño variables; provisto de dientes, en insectos masticadores, o en forma de estilete en insectos picadores y chupadores; en larvas de moscas son piezas internas en forma de ganchos.

Mántido. Representante de la familia Mantidae.

Masticador. Tipo de aparato bucal que se caracteriza por poseer piezas adaptadas para cortar y triturar los alimentos. Presenta un labro, un par de maxilas, un par de mandíbulas con sus correspondientes palpos y el labio inferior con sus palpos.

Maxila. Son dos estructuras situadas detrás de las mandíbulas, articuladas en la parte lateral inferior de la cabeza, son piezas auxiliares durante la alimentación.

Meiosis. Sucesión de dos divisiones celulares durante la formación de los gametos, de la que resultan cuatro células que tienen un cromosoma de cada pareja de la célula original.

Membrana peritrófica. Membrana quitinosa que rodea el alimento en el mesenterón.

Mentum. Subdivisión distal del postmentum, en la base del labrum.

Mesenterón. Intestino medio, secretor y absorbente, de origen endodérmico.

Metamorfosis. Serie de cambios, a través de los cuales un insecto crece desde huevo hasta el estado adulto.

Metatórax. Tercer segmento toráxico portador del segundo par de alas y tercer par de patas.

Miasis. Enfermedad o daño causado por larvas de moscas.

Micangia. Ver Micetoma.

Micetocito. Célula especializada del huésped, que alberga simbiontes microbiales.

Micetoma. Estructura celular del huésped que funciona en parte, albergando microorganismos simbiontes. Igual a Micangia.

Micosis. Enfermedad causada por un hongo.

Micrópilo. Abertura del huevo para la fecundación.

Minador. Larva de insecto que hace un túnel o perfora bajo la epidermis del tejido de la hoja.

Mitosis. Secuencia de eventos que ocurren durante la división de una célula en dos células hijas.

Molleja. Porción de músculo del intestino anterior, que tritura el alimento.

Monógeno. Organismo que requiere solamente un huésped para completar satisfactoriamente su ciclo de vida anual.

Monóica. En áfidos, que tiene un sólo huésped; en plantas, ejemplares que tienen ambos sexos.

Morfo. Fenotipo diferenciable de otros.

Multiparasitismo. Ocurre cuando el parasitismo repetido sobre un huésped es causado por varias especies de parasitoides.

Multivoltino. Especie que completa varias generaciones al año.

Mutagénesis. Producción de mutaciones.

Mutualismo. Relación simbiótica entre dos organismos diferentes, en donde ambas especies se benefician de su asociación.

Neártica. Región zoogeográfica que incluye Norte América (Estados Unidos y Alaska) con excepción de México.

Necrófago. Que se alimenta de restos orgánicos (cadáveres).

Necrosis. Muerte del tejido vegetal.

Nematocero. Que tiene antenas largas (Diptera).

Neotropical. Región zoogeográfica que se extiende desde México al Cabo de Hornos; incluye las Indias Occidentales (Caribe).

Nervadura. Tubos capilares cuyo conjunto constituye el esqueleto, sostén o armazón de las alas y las vías por las que penetra el aire, la sangre y el sistema nervioso. También llamados venas o nervios.

Nicho. Función que cumple un organismo en su comunidad y explica de qué se alimenta un organismo, a quién le sirve de alimento o cómo se reproduce.

Ninfa. Estado inmaduro de un insecto hemimetábolo, el cual es similar al adulto pero no apto reproductivamente.

Nivel trófico. Posición de un organismo en la cadena alimenticia, determinado por el número de pasos de transferencia de energía. Ej.: productor, herbívoro, primer carnívoro, segundo carnívoro.

Noto. Dorsal.

Nucleopoliedrosis. Enfermedad virosa en insectos, especialmente en larvas de ciertos lepidópteros e himenópteros, caracterizados por la formación de cuerpos poliédricos de inclusión (poliedros) en el núcleo de las células infectadas. Es sinónimo de poliedrosis nuclear.

Obrera. Hembra estéril en colonias de himenópteros sociales.

Obtecta. Pupa o crisálida que poseen los lepidópteros, en la cual las alas y los apéndices están comprimidos sobre el cuerpo y con la mayoría de los segmentos abdominales inmóviles.

Ocelos (ver estemata). En insectos adultos son tres ojos simples que consisten de un sólo lente convexo.

Ocluido. Se dice de aquellos virus, en los cuales los viriones están ocultos en un cristal proteínico denso, suficientemente grande para ser visibles en el microscopio de luz.

Ojo compuesto. Agregación o conjunto de elementos visuales separados, conocidos como ommatidios, cada uno de los cuales corresponde a una faceta de la córnea.

Oligídica. Perteneciente a un medio usado para criar organismos, que consiste totalmente o en gran parte de materiales crudos, en los cuales ninguna molécula, con excepción del agua, se ha establecido como un requerimiento nutricional absoluto.

Oligonefrídico. Especie con tres a ocho tubos de Malpighi.

Oligopoda. Larva caracterizada por poseer patas torácicas bien desarrolladas y funcionales.

Ommatidio. Cada elemento visual de un ojo compuesto.

Omnívoro. Que se alimenta de alimentos vegetales y animales.

Ooteca. Estructura en donde los insectos llevan o colocan externamente los huevos.

Oquedad. Cavidad.

Ortosomática. De cuerpo recto o rectilíneo.

Oruga. Larva eruciforme o polípoda de los lepidópteros; larva de cuerpo suave que además de las seis patas torácicas posee un número de espuripedios en los segmentos abdominales.

Osmeterio. Glándula carnosa tubular eversible en forma de Y, en el extremo anterior de ciertas larvas de lepidópteros.

Ostíolo. Hendiduras pareadas sobre la pared dorsal del cuerpo, especialmente en Pseudococcidae. Son abultamientos redondeados de la epidermis en forma de dos labios, separados por una depresión.

Ovariolo. Una de las unidades formadoras de gametos en el ovario.

Ovipositor u ovopositor. En la hembra de los insectos, el órgano por el cual los huevos son depositados; son prolongaciones articuladas de los últimos segmentos abdominales.

Ovisaco. En algunos insectos es una estructura donde éstos albergan los huevos y emerge el estado inmaduro.

Ovoviviparía. Retención de huevos por la hembra, de tal manera que da a luz un juvenil, sin que haya intercambio de nutrientes.

Paleártica. Región zoogeográfica que incluye, parte de Europa, Norte de África hasta el desierto del Sahara, y Asia hasta los montes del Himalaya.

Palpos. En ácaros, apéndices articulados que se ubican a ambos lados de los quelíceros, y que ayudan en la función de la alimentación. En insectos, actúan como apéndices sensoriales del aparato bucal.

Pantropical. Se refiere a un área de ocurrencia geográfica. Para que una distribución de un taxón sea pantropical, debe aparecer en regiones tropicales en todos los continentes mayores, por ejemplo: en África, en Asia, en América.

Paraprocto. Esclerito lateral al orificio anal derivado del segmento XI.

Parasitismo. Especie que se beneficia afectando de manera adversa a la otra.

Parásito. Organismo dependiente de otro y que le provoca daños graduales.

Parasitoide. Organismo dependiente de otro durante su vida juvenil y que le provoca generalmente la muerte. El adulto es de vida libre.

Partenogénesis. Desarrollo de un individuo a partir de un gameto femenino no fecundado.

Patogénesis. Estudio del desarrollo de una enfermedad.

Paurometábolo. Desarrollo juvenil gradual, con alas externas, en el mismo medio que el adulto.

Peciolo. Segmentos delgados entre el tórax y el abdomen.

Pedicelo. Segundo segmento de la antena en los insectos.

Pedogénesis. Producción de huevos o juveniles por un estado inmaduro o estado larval de un animal.

Pedunculado. Que tiene pedúnculo

Pedúnculo. En botánica: pezón de la hoja, flor o fruto; en zoología: prolongación del cuerpo, mediante la cual están fijos al suelo algunos animales de vida sedentaria.

Penelipse. En las seudopatas de larvas, la figura formada cuando menos de la mitad de un círculo uniseriado de *crochets* está ausente.

Per oral. Por medio o a través de la boca, igual que *per os*.

Per os. Por medio o a través de la boca.

Pigidio. Tergo del último segmento abdominal; en Diaspididae, región no segmentada y quitinizada del último segmento de la hembra adulta, donde se abre la vulva, el ano y las glándulas acompañantes que secretan sustancias formadoras de la caparazón dorsal.

Plasma. Parte líquida que se encuentra en la sangre y en la linfa.

Pleura. Áreas laterales de un segmento; tegumento flexible.

Pleurito. Esclerito del área pleural.

Pleurón o pleurito. Caras laterales de un segmento corporal.

Podial. Región donde van las patas.

Poiquilotérmico. Se refiere a la temperatura del cuerpo de los insectos, que cambia de acuerdo con la temperatura ambiental.

Poliandria. Condición en que una hembra se aparea con muchos machos.

Poliedrosis. Enfermedad virosa de ciertos insectos caracterizada por la formación de inclusiones poliédricas en los tejidos de los insectos infectados. Si los cuerpos de inclusión (poliedros) se forman en el núcleo de las células infectadas, la enfermedad se conoce como "poliedrosis nuclear", pero si las inclusiones se encuentran en el citoplasma de la célula, la enfermedad se denomina "poliedrosis citoplasmática".

Polifónica. Especie donde hay varias formas y funciones, en ejemplares con una misma base génica.

Poligamia. Condición de apareamientos múltiples.

Poliginia. Condición de un macho que se aparea con muchas hembras.

Poliginio. Se dice de una colonia de insectos sociales, con castas que tienen varias reinas.

Polinefrídico. Especie con 8 a 150 tubos de Malpighi.

Poliploide. Con más de dos series de cromosomas.

Poros. Orificios en el integumento, que en Pseudococcidae generalmente son de cuatro tipos: **discoides multiloculares**, generalmente se encuentran alrededor de la vulva y contribuyen a la producción del ovisaco; **triloculares**, se observan como un triángulo con bordes romos y tres cavidades internas (lóculos); **quinqueloculares**, son poros con cinco lóculos; **discoides,** generalmente son diminutos y algunas veces cribosos.

Postnoto. Placa intersegmentaria unida al tergo precedente en el tórax.

Presterno. Esclerito esternal anterior limitado por la sutura presternal.

Pretarso. Último segmento tarsal.

Principio de exclusión. Principio que asevera que dos especies no pueden coexistir en la misma localidad, si poseen idénticas exigencias ecológicas.

Proboscis. Cualquier estructura bucal alargada que sirve para picar y/o succionar.

Procariota. Organismos haploides sin núcleo discreto, como bacterias y algas azules.

Proclinado. Inclinado hacia adelante o hacia atrás.

Proctodeo. Intestino posterior revestido de cutícula.

Procutícula. Parte de la cutícula, de funciones esqueléticas, ubicada por abajo de la epicutícula.

Pronotum o pronoto. Parte dorsal del segmento torácico anterior.

Propodeo. Primer segmento abdominal unido al tórax en himenópteros.

Protocerebro. Lóbulo mayor del cerebro, relacionado directamente con los ojos y centros internos.

Proventrículo. Igual a molleja

Pteroteca. Cubierta externa de las alas, en el estado pupal.

Pterygota. Grupo de insectos alados o secundariamente ápteros.

Ptilinum. En dípteros ciclorrafos, órgano frontal inflable que permite al imago abandonar el pupario durante el proceso de emergencia.

Pulvilo. Lóbulos laterales de los tarsos o bajo las uñas del pretarso.

Pupa. Estado intermedio entre larva y adulto, en los insectos holometábolos.

Pupari. En dípteros superiores, cubierta externa endurecida de la pupa, correspondiente a la última piel de la larva.

Quiescencia. Estado de inactividad con baja de metabolismo debido a condiciones ambientales adversas.

Rabdoma. Cada una de las estructuras diminutas en forma de bastón de las retínulas de los ojos compuestos de los artrópodos.

Radial, Vena. En Diptera, segunda vena longitudinal después de la vena costal.

Reniforme. De forma parecida a la de un riñón.

Resilina. Proteína elástica de la procutícula.

Respuesta funcional. Respuesta en el comportamiento de un individuo parasitoide o depredador a cambios en la densidad de su huésped (presa). Una respuesta positiva, significa un mayor consumo, al incrementar el número de huéspedes (presas), y viceversa.

Respuesta numérica. La respuesta en reproducción, migración o sobrevivencia, de la población de un parasitoide o depredador, que resulta de los cambios en la densidad del huésped (presa). Una respuesta positiva significa una mayor reproducción, sobrevivencia e inmigración, al incrementar el número de huéspedes (presas), y viceversa.

Rodopsina. Pigmento fotosensible de los ojos.

Rostrum o rostro. Pico o nariz en los insectos.

Saprófago. Que se alimenta de materia muerta o en descomposición, de procedencia vegetal o animal.

Scarabiforme. Larva gruesa con cuerpo cilíndrico curvado.

Semioquímicos. Compuestos químicos que participan en la comunicación o modifican el comportamiento de los ejemplares.

Sensila. Unidad estructural sensorial.

Septicemia. Condición de enfermedad en la sangre, debida a la presencia de microorganismos patogénicos.

Sero o serum. Líquido que se separa cuando la sangre se coagula.

Serología. Estudio de la naturaleza e interacción de antígenos y anticuerpos.

Sésil. Estructura que se prolonga sin una base o pedicelo.

Seta. Pelos en los insectos.

Setiforme. En forma de seta.

Seudotráquea. Surcos finos presentes en la labela de las moscas.

Sexúparas. En áfidos, hembras que dan origen a ejemplares sexuados.

Sifones. En áfidos, ver cornículos.

Signo. Cualquier manifestación objetiva de enfermedad, indicada por un cambio en estructura.

Simbionte. Organismo que vive en simbiosis.

Simbiosis. Asociación en la cual dos individuos de diferente especie viven juntos.

Sincronía. Coincidencia en el tiempo entre la etapa fenológica susceptible del huésped con la del adulto parasitoide.

Síndrome. Grupo de signos y síntomas característicos de una enfermedad en particular.

Sinomona. Compuesto químico liberado en la interacción entre plantas e insectos, inducida por estos herbívoros. Son aleloquímicos adaptados tanto a los organismos que las transmiten como a los que reciben la señal.

Sinónimo. Diferentes nombres científicos dados a la misma especie. El nombre más antiguo (después de la X Edición del Sistema Natural de Linneo), tiene prioridad.

Síntoma. Cualquier aberración objetiva en funciones que indique enfermedad.

Siringe. Estructura hipofaríngea inyectora de saliva en hemípteros.

Sobreenfriamiento. Capacidad de resistir temperaturas bajo 0ºC, sin que se produzca congelación.

Spinasterno. Esclerito esternal intersegmentario.

Subcosta. Vena longitudinal, que se extiende paralela a la costa en el margen anterior del ala (R1 en Diptera), uniéndose al margen del ala antes que la vena costa.

Subcoxa. Esclerito pleural, generalmente relacionado con la coxa.

Subimago. Juvenil alado con forma de adulto.

Sucrófago. Que se alimenta de jugos dulces.

Superparasitismo. Se refiere al parasitismo repetido en un huésped por parte de parasitoides de la misma especie.

Sutura. Línea marcada en el tegumento entre dos escleritos.

Tagma. Grupo de segmentos sucesivos, que forman una parte distinguible del tronco del insecto (cabeza, tórax y abdomen).

Tagmatización. Especialización funcional que determina regiones corporales por reunión de segmentos.

Tarso. Último segmento de la pata.

Tarsómero. Segmento del tarso.

Taxón. Grupo de organismos emparentados, que en una clasificación dada han sido agrupados, asignándole al grupo un nombre en latín, una descripción y un "tipo". Cada descripción formal de un taxón está asociada al nombre del autor o autores que la realizan, los cuales figuran detrás del nombre científico. En latín el plural de taxón es **taxa**, y es como suele usarse en inglés, pero en español el plural adecuado es **taxones**.

Taxonomía. Ciencia que define a los taxones.

Tegmen. Primer par de alas pergaminosas en Orthoptera.

Tégula. Estructura pequeña, en forma de escama, sobreponiéndose en la base del ala anterior.

Telitoquia. Forma de partenogénesis en la cual sólo se producen hembras de huevos no fertilizados.

Tenáculo. Estructura ventral en Collembola que sujeta la fúrcula.

Tenidio. Engrosamiento de la cutícula traqueal, que mantiene constante el diámetro del tubo.

Tentorio. Proyecciones cuticulares cefálicas internas, generalmente en forma de H, que refuerzan la resistencia a la deformación.

Teratología. Ciencia que estudia las malformaciones o monstruosidades.

Tergito. Esclerito dorsal de un segmento.

Tergo. Semianillo dorsal en un segmento.

Tibia. Cuarto segmento de la pata de un insecto y quinto en la pata de un ácaro, que se articula distalmente con el tarso.

Timbal. Órgano productor de sonidos en "chicharras".

Tórax. Segunda región del cuerpo de los insectos, portadora de los apéndices locomotores.

Toxemia. Condición producida por la diseminación de toxinas en la sangre.

Toxina. Veneno producido por una bacteria o un hongo.

Tráquea. Tubos respiratorios de origen ectodérmico en insectos.

Traqueo branquias. Extensiones laterales del tegumento o tegmen, que lleva en su interior las tráqueas para respirar en el medio acuático.

Traqueola. Ramificación final de una tráquea, originada por una célula traqueolar.

Tritocerebro. Lóbulo ventral del cerebro, relacionado con el labro y el ganglio frontal.

Triungulina. Forma larvaria móvil y activa de un Meloidae.

Trocánter. Segmento de la pata entre la coxa y el fémur.

Trofocito. Célula propia del cuerpo graso.

Trofoforesis. Fenómeno por el cual un organismo se transporta a otro a sitios de colonización para beneficio mutuo.

Uña. Cada uno de los garfios pretarsales, simples o bífidos, en número de 2 ó 3, que cumplen función de sujeción en insectos.

Uniordinal. Cuando los *crochets* se presentan de un solo tamaño en cada fila o serie.

Uniserial. Cuando los *crochets* están dispuestos en una sola serie o fila.

Univoltino. Especie con una sola generación anual.

Venas. Estructura tubular esclerotizada que sostiene las alas de los insectos.

Vermiforme. Larva sin patas, sin diferenciación notoria de la cabeza del tórax, típica de dípteros.

Vesícula. Estructura globular semejante a una vejiga.

Virulencia. Habilidad de un microorganismo de invadir y dañar el cuerpo de su huésped. Se mide experimentalmente por la dosis letal media (DL_{50}).

Vivípara Especie cuyas crías se alimentan y tienen desarrollo embrionario en el cuerpo de la madre.

Vulva. Corresponde al orificio genital y se presenta cuando la hembra del insecto pasa al estado adulto.

Referencias consultadas

ATKINS, M. D. 1978, Insects in perspective. MacMillan Publishing Co., Inc., New York, 513 p.

BUSTILLO, A. E. 1979. Glosario sobre patología de insectos. Documento de trabajo No. 4, ICA, Medellín, Colombia, 27 p.

RAMOS, A. A. 2006. Chinches harinosas (Hemiptera: Pseudococcidae y Putoidae) en cinco cultivos de la región andina colombiana. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Tesis Magister en Ciencias Agrarias,105 p.

REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. 2001. Diccionario de la lengua española. XXII edición, http://www.rae.es/.

RODRÍGUEZ, L. A; LEYVA V., J. L. 1998. Teoría y bases ecológicas del control biológico. Memoria. En: Curso Nacional de Control Biológico. Río Bravo, Tamaulipas: México, SAGAR- INIFAP- Sociedad Mexicana de Control Biológico, 20 p.

STEINHAUS, E. A.; MARTIGNONI, M. E. 1970. An abridged glossary or terms used in Invertebrate Pathology. Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station, USDA, Forest Service, 2nd ed., 38 p.

TORRE -BUENO De La, J. R. 1973. A glossary of entomology. Entomological Society, Hafner service agency, New York, 335 p.

TRIPLEHORN, C. A.; JOHNSON, N. F. 2005. Borror and Delong's introduction to the study of insects. 7th ed. Thompson, Broosks / Cole, Belmont, California, 864 p.

WIKIPEDIA. 2008. La enciclopedia libre. http://es.wikipedia.org/wiki/