

Memorias Congreso Colombiano de Entomología

40º Congreso SOCOLEN



Universidad El Bosque

10, 11 y 12 de julio de 2013 Bogotá, D.C. - Colombia

Sociedad Colombiana de Entomología
SOCOLEN

P A T R O C I N A D O R E S



MEMORIAS CONGRESO COLOMBIANO DE ENTOMOLOGÍA

40° Congreso SOCOLEN



**Universidad El Bosque
Bogotá, D.C., 10, 11 y 12 de julio de 2013**

Sociedad Colombiana de Entomología - SOCOLEN

Compiladores

Diana Rueda-Ramírez

Edison Torrado-León

Efraín H. Becerra

Organización General

Claudia Martínez-M.

Diana Rueda-Ramírez

Yenny Lorena Betancurth

Claudia Moreno

Diseño de portada y diagramación

NaturaVision Ltda.

<http://www.naturavision.com>

info@naturavision.com

Fotografía:

Archivo NaturaVisión Ltda.

© Copyright Sociedad Colombiana de Entomología

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

Julio 2013

ISSN: 2344-8849

Citación sugerida:

Rueda-Ramírez, D.; Torrado-León, E.; Becerra, E. H. (Comp.). 2013. Memorias Congreso Colombiano de Entomología. 40 Congreso Socolen. Bogotá, D.C., 10, 11 y 12 de julio de 2013. Sociedad Colombiana de Entomología - Socolen. DVD. Bogotá, D.C., Colombia. 479 p.

SOCIEDAD COLOMBIANA DE ENTOMOLOGÍA
Junta Directiva 2012 – 2014

Presidente

Efraín H. Becerra Contreras
Dow AgroSciences de Colombia S.A.

Vicepresidente

Edison Valencia Pizo
Universidad Nacional de Colombia

Secretario

Rodrigo Vergara Ruiz
Universidad Nacional Sede Medellín

Tesorera

Amanda Varela Ramírez
Pontificia Universidad Javeriana

Vocal Principal

Alex Bustillo Pardey
CENIPALMA

Vocal Principal

Pablo Benavides
CENICAFE

Vocal Principal

Claudia Martínez-M.
Independiente

Vocal Suplente

Juan Humberto Guarín
CORPOICA C. I. La Selva

Vocal Suplente

Lucimar Gomes Dias
Universidad de Caldas

Vocal Suplente

Cristo Rafael Pérez
FEDEARROZ

40° CONGRESO DE LA SOCIEDAD COLOMBIANA DE ENTOMOLOGÍA

COMITÉ ORGANIZADOR

Presidente

Edison Torrado-León

Vicepresidente

Efraín H. Becerra

Tesorero

Alexander Sabogal González

Comisión Académica

Diana Rueda-Ramírez (Coordinador)

Daniel Andrés Chiriví Joya

Sergio Andrés Vargas

Yenny Lorena Betancurth

Comisión Financiera

Alexander Sabogal-González

Daniel Acosta

Comisión de Recursos Físicos y Eventos

Daniel Ricardo Castillo Velandia (Coordinador)

Clara Santafé Millán

Coordinadores de Simposios

Jorge Alberto Molina

Carmenza E. Góngora

Adriana Ochoa Fandiño

Efraín H. Becerra

Lucimar Gomes Dias

Ferdy Alfonso Alvarado

Alberto Pantoja

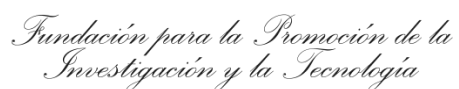
Carlos Perafán

Martha Patricia Torres

Fernando Cantor

Alex Enrique Bustillo Pardey

PATROCINADORES



Presentación

En nombre del comité organizador del 40° Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología y del mío propio, quiero en primer lugar agradecer a todos los participantes por aceptar la invitación a celebrar 40 años de Entomología en Colombia, especialmente a la Universidad El Bosque que como sede participa ampliamente en este gran evento.

Es una satisfacción para nosotros organizar un evento que ya cumple 40 años ininterrumpidos. Este año nuestro objetivo fue homenajear a todos los entomólogos que han aportado de manera determinante durante estos 40 años para el avance de esta ciencia.

Este año el congreso cuenta con 11 simposios, históricamente el mayor número de simposio en un congreso de la Sociedad, y siete conferencias magistrales con el fin de dar a conocer el sinnúmero de avances en la Entomología y ciencias afines por parte de destacados profesionales nacionales e internacionales.

En este texto se reúnen los textos de las siete conferencias magistrales de expositores nacionales e internacionales destacados. Además se presentan los textos de las conferencias de más de 40 importantes expositores especialistas en sus respectivas áreas repartidas en 11 simposios: comportamiento de insectos, control de plagas en café: presente y futuro, Biotecnología aplicada en la Entomología, nuevas tecnologías en el control de insectos plaga, Biogeografía y Sistemática de insectos, Plagas de las flores, principios y avances sobre polinización como servicio ambiental para la agricultura sostenible en países de Latinoamérica y el caribe, Aracnología, Entomología médica y veterinaria, control biológico, y avances en plagas de importancia agrícola en el país.

Agradezco a cada uno de los coordinadores de los simposios por su valioso apoyo en la organización, así como su apoyo en la obtención de los textos aquí publicados. También agradecemos a los conferencistas por su participación y disposición para compartir sus trabajos en esta versión del congreso de la Sociedad. La exposición de los trabajos permite la difusión de la ciencia para que siga avanzando en pro de la humanidad y la solución de problemas. Estamos seguros que sacaran provecho de estas memorias.

Sean todos bienvenidos y esperamos que disfruten del 40° Congreso de Socolen.

Diana Marcela Rueda-Ramírez
Coordinadora Comisión Académica
40° Congreso Socolen

Contenido

Presentación	vi
CONFERENCIAS MAGISTRALES	1
Retrospectiva realizaciones y proyección de la entomología en Colombia	2
<i>Rodrigo Vergara Ruiz</i>	
Insectos que escuchan como humanos: Mecanismos de producción de sonido y análisis de frecuencia auditiva en saltamontes (Orthoptera: Tettigoniidae)	22
<i>Fernando Montealegre-Z.</i>	
Microbiología y entomología: ¿Qué podemos aprender desde la ecología química?	39
<i>Jorge Alberto Molina</i>	
Hembras que cortejan y machos caníbales sexuales en <i>Allocosa brasiliensis</i> (Araneae: Lycosidae): una araña lobo con inversión de roles sexuales	50
<i>Anita Aisenberg</i>	
Conceptos claves, prevención y manejo de resistencia de insectos a insecticidas	57
<i>Efraín Becerra Contreras</i>	
¿Por qué no se ha desarrollado resistencia a <i>Bacillus thuringiensis</i> en Lepidoptera que ataca a cultivos transgénicos? Ejemplos comparativos.....	71
<i>Carlos Alberto Blanco</i>	
La terapia larval en el contexto de sus características, avances y perspectivas	82
<i>Felio J. Bello García</i>	
SIMPOSIOS	92
Simposio 1. Comportamiento de insectos.....	93
Coordinador: Jorge Alberto Molina, Ph. D.	
El tamaño importa? Combates intrasexuales y competencia por el recurso en escarabajos del género <i>Canthon</i> (Coleoptera: Scarabaeinae)	94
<i>Sandra Amézquita, Ivette Chamorro y Mario E. Favila</i>	
Principales estudios sobre el comportamiento del orden Orthoptera con énfasis en Ensifera neotropicales	101
<i>Oscar J. Cadena-Castañeda</i>	
Señales vibratorias en comportamiento de insectos: Producción, detección y métodos de estudio	117
<i>Melanie Ramírez Casallasas, Mario Iván Ortiz Yanine y Jorge Molina</i>	
Simposio 2. Control de plagas en café: presente y futuro	125
Coordinador: Carmenza E. Góngora, Ph. D.	
Nuevos hallazgos en el control biológico de la broca del café	126
<i>Carmenza E. Góngora</i>	
Nuevas aproximaciones en el manejo integrado de la broca del café en Colombia	131
<i>Pablo Benavides</i>	
Otras plagas del café: importancia económica y prácticas para su manejo	134
<i>Zulma Nancy Gil Palacio</i>	
Plagas potenciales y sus implicaciones en el cultivo del café en Colombia	141
<i>Luis Miguel Constantino</i>	
Simposio 3. Biotecnología con aplicación en entomología.....	150

Coordinador: Adriana Ochoa Fandiño, M. Sc.

Biotecnología y MIP: Avances y perspectivas	151
<i>Alberto Pantoja</i>	
¿Estamos preparados para la regulación de los próximos productos de la biotecnología agrícola?	154
<i>Carlos Alberto Blanco</i>	
Caracterización de resistencia de <i>Spodoptera frugiperda</i> a maíz Cry1F en Puerto Rico*	155
<i>Ana María Vélez, Terence A. Spencer, Analiza P. Alves, Dan Moellembeck, Robert L. Meagher, Haridas Chirakkal y Blair D. Siegfried</i>	
Nuevas aplicaciones biotecnológicas de <i>Bacillus thuringiensis</i> subespecie <i>medellin</i> (Bacillales: Bacillaceae)	170
<i>Sergio Orduz y Viktor Lemesenko</i>	

Simposio 4. Nuevas tecnologías en el control de insectos plaga 175

Coordinador: Efraín Becerra-Contreras

Cyazypyr®, la primera diamida antranílica para el control de insectos chupadores y la optimización de cosechas.....	176
<i>Julián Mejía O., Juan Manuel Álvarez y Fabio Maximiano de Andrade Silva</i>	
Cultiva el futuro del sector agrícola de Colombia	189
<i>María Helena La Torre</i>	
Nuevas tecnologías en el control de insectos plaga	192
<i>Leonel Avilés y J. Dripps</i>	
Bayer, innovación en la protección de cultivos. Aporte tecnológico para una agricultura sustentable....	196
<i>Fabrizio Cifuentes V.</i>	

Simposio 5. Biogeografía y sistemática de insectos 199

Coordinador: Lucimar Gomes Dias, Ph. D.

Explorando la distribución de las hormigas en la región Neotropical	200
<i>Roberto J. Guerrero y Fernando Fernández</i>	
Análisis de redes en sistemática y biogeografía: ejemplos en co-autoría y simpatria de Ephemeroptera de América del Sur	209
<i>Eduardo Domínguez, Daniel A. Dos Santos y María del Carmen Zúñiga</i>	
Systematics and Biogeography of New World Pentatomoidea (Hemiptera: Heteroptera).....	213
<i>Joseph E. Eger</i>	
Microcoleópteros micetobiontes: Estado actual del conocimiento de la familia Ciidae.....	220
<i>Vivian Eliana Sandoval Gómez y Cristiano Lopes Andrade</i>	
Escarabajos Melolonthidae (Scarabaeoidea: Pleurosticti) de la montaña cafetera colombiana	227
<i>Luis Fernando Vallejo Espinosa</i>	

Simposio 6. Plagas de las flores 232

Coordinador: Ferdynando Alfonso Alvarado, M. Sc.

El control biológico de plagas en la floricultura colombiana	233
<i>Fabiola Valcárcel-Calderón</i>	
Panorama mundial do controle biológico de pragas na floricultura em sistemas protegidos	241
<i>Vanda Helena Paes Bueno</i>	

Simposio 7. Principios y avances sobre polinización como servicio ambiental para la agricultura sostenible en países de Latinoamérica y el Caribe.....250

Coordinador: Alberto Pantoja, Ph. D. y Adriana Sáenz Aponte, M.Sc.

Presentación simposio	251
Causas e impactos de la declinación de polinizadores en el mundo	252
<i>Fancy Rojas González y Juan Diego Santa Cruz Lindquist</i>	
Ventajas y desventajas de la introducción de polinizadores no nativos: el caso de las abejas (Hymenoptera: Apoidea: Anthophila)	257
<i>Allan H. Smith Pardo</i>	
Especies del género <i>Bombus</i> (Hymenoptera: Apidae) en zonas agrícolas de Alaska, USA.....	266
<i>Alberto Pantoja, Rehanon Pampell y Derek Sikes</i>	
Alternativas sostenibles para el manejo de plagas	269
<i>Adriana Sáenz Aponte</i>	

Simposio 8. Aracnología.....274

Coordinador: Carlos Perafán, cand. Ph. D.

Elección femenina y tapones copulatorios en <i>Leucauge</i> (Araneae, Tetragnathidae).....	275
<i>Anita Aisenberg, Gilbert Barrantes y William G. Eberhard</i>	
Modelos de distribución de especies y <i>hotspots</i> de biodiversidad	281
<i>Jaime Pinzon y John R. Spence</i>	
Sistema inmunológico em aracnídeos	294
<i>Pedro Ismael da Silva Junior</i>	
Diagnóstico del estado actual de la fauna de arácnidos y de su gestión en Colombia.....	308
<i>Carlos Perafán, Alexander Sabogal, Jairo A. Moreno-González, Andrés García-Rincón, David Luna-Sarmiento, Catalina Romero-Ortiz y Eduardo Flórez</i>	

Simposio 9. Entomología médica y veterinaria.....336

Coordinador: Martha Patricia Torres, M. Sc.

Los ácaros y la alergia en Colombia	337
<i>Gustavo Cuadros Trillos</i>	
Cultivos celulares de insectos: antecedentes, características, aplicaciones y aportes realizados en Colombia	343
<i>Felio J. Bello García</i>	
Red de vigilancia de la resistencia a insecticidas de uso en salud pública en Colombia	352
<i>Liliana Santacoloma Varón</i>	
<i>Aedes aegypti</i> en área rural: Implicaciones en Salud Pública	363
<i>Víctor Alberto Olano, Sandra Lucía Vargas, María Inés Matiz y Juan Felipe Jaramillo</i>	
Influencia del calentamiento global en la frecuencia y distribución de garrapatas	372
<i>Jesús Alfredo Cortés Vecino y Elkin Gustavo Forero Becerra</i>	

Simposio 10. Control biológico.....381

Coordinador: Fernando Cantor, Ph. D.

Prospectos para el control biológico del ácaro rojo de las palmeras <i>Raoiella indica</i> Hirst. (Acari: Tenuipalpidae)	382
<i>Daniel Carrillo, Rita E. Duncan y Jorge E. Peña</i>	

The role of natural enemies for the management of the Red Imported Fire Ant, <i>Solenopsis invicta</i> Buren (Hymenoptera: Formicidae).....	389
<i>Alejandro A. Calixto, Marvin K. Harri and Bastiaan M. Drees</i>	
Seletividade de produtos usados em cafeeiros para <i>Chrysoperla externa</i> (Hagen) (Neuroptera: Chrysopidae) e <i>Cryptolaemus montrouzieri</i> Mulsant (Coleoptera: Coccinellidae)	394
<i>Geraldo Andrade Carvalho e Andrea de Fátima Torres</i>	
Evaluation of the green lacewing <i>Chrysoperla rufilabris</i> Burmeister (Neuroptera: Chrysopidae) as a biological control agent of the yellowmargined leaf beetle <i>Microtheca ochroloma</i> Stål (Coleoptera: Chrysomelidae)	410
<i>Angie Niño and Ronald Cave</i>	
Experiences on implementation of biological control programs for tomato pests by means of parasitoids in Colombia	414
<i>Fernando Cantor y Daniel Rodríguez</i>	
Simposio 11. Avances en plagas de importancia agrícola en Colombia.....	421
Coordinador: Alex Enrique Bustillo Pardey, Ph. D.	
Bioecología y perspectivas de manejo de los salivazos <i>Mahanarva bipars</i> y <i>Aeneolamia varia</i> (Hemiptera: Cercopidae) en caña de azúcar	422
<i>Germán Vargas, Ulises Castro, Yarley X. Granobles y Gerson Ramírez</i>	
Situación actual del complejo de chinches de los pastos (Hemiptera: Heteroptera: Miridae) en el Altiplano Cundiboyacense	436
<i>Nancy Barreto-Triana</i>	
Problemas insectiles en plantaciones forestales comerciales en la Orinoquia	448
<i>Olga Patricia Pinzón</i>	
Acciones fitosanitarias para la vigilancia de la enfermedad del HLB de los cítricos y el psilido vector en Colombia	453
<i>Emilio Arévalo-Peñaranda, William H. King C., Oscar Fuentes Murillo y Jorge Hernán Palacino Córdoba</i>	
Plan nacional moscas de la fruta (PNMF); estrategias de acción en Colombia	459
<i>Emilio Arévalo-Peñaranda, Javier Martínez Alava, William H. King C. y Jorge A. Rodríguez Girón</i>	
Indice de autores.....	473
PROGRAMACIÓN GENERAL 40° CONGRESO SOCOLEN.....	474

CONFERENCIAS MAGISTRALES

Retrospectiva realizaciones y proyección de la entomología en Colombia

Retrospective, accomplishments and projection of entomology in Colombia

Rodrigo Vergara Ruiz¹

¹M.Sc. Entomología- Consultor. Carrera 30ª No. 8-47. Apto. 302. El Poblado, Medellín. roveru64@gmail.com

Resumen. Para realizar un documento que obedeciera al título, se acudió a los archivos históricos de las publicaciones de Socolen y publicaciones citadas en la Bibliografía. El objetivo es bien claro: despertar conciencia, interés, amor y dedicación por el estudio de los artrópodos. La lectura de documentos fue la metodología para la elaboración de este trabajo. Se acompañó con el cálculo de algunas ediciones de resúmenes de Congresos de Socolen. Se adelantaron consultas y entrevistas con entomólogos.

Palabras claves: Artrópodos, historia, publicaciones, Socolen.

Abstract. We came to the historical data of Socolen's publications and publications mentioned in the bibliography to make a document that was reflecting title. The aim is clear: to raise consciousness, interest, love and dedication for the study of arthropods. Reading documents was the methodology for the production of this work. It was complemented with the calculation of some editions of summaries of Socolen's Congresses. Consultations and interviews went forward with entomologists.

Key words: Arthropods, history, publications, Socolen.

Introducción

“En la actualidad, si hemos podido progresar en el estudio del ratón y del hombre, lo debemos a la mosca”. F. Jacob El ratón, la mosca y el hombre, 1998.

La Entomología en Colombia se ha desarrollado sin una planeación ni definición de objetivos. La historia impresa acerca de los insectos en Colombia, es dispersa, difícil de ubicar en el tiempo y con diversos referentes extranjeros. Parece ser que el primer entomólogo contratado fue Jacques Bourdon, quien visita el país en compañía de otros naturalistas, entre ellos Juan Bautista Boussingault. Era la época en la cual el gobierno de Santander envió a Europa a Francisco Antonio Zea a contratar jóvenes investigadores, corrían los años de 1822 a 1823. Este documento no pretende abordar una historia rigurosa de la entomología, además el responsable no tiene formación académica en esta área del conocimiento. Partiendo de algunos registros históricos,

evaluando las actividades investigativas publicadas en los libros de resúmenes de los Congresos de Socolen, se intentará elaborar una proyección de la ciencia que estudia los insectos para condiciones del país.

Cuando el empleo del Control Químico de los insectos plagas, demuestra sus inconvenientes, los estudiosos de la Entomología realizan aportes de consideración. Partiendo del estudio de plagas claves, tales como: *Diatraea saccharalis* Fabricius, *Heliothis virescens* (F.) y *Phthorimaea operculella* Zeller, se demuestran las bondades de otros métodos de control, como el Control Biológico (CB). Pero el CB en Colombia tiene toda una historia de realizaciones y de éxitos. Investigadores nacionales han contribuido, desde hace años al conocimiento de la artropofauna benéfica y a una mayor comprensión de los organismos entomopatógenos. Así mismo diversas entidades y gremios organizados, aportan desde hace tiempo sus trabajos en el mejoramiento de plantas para entregar a los productores variedades con resistencia genética a las plagas. También se han estructurado programas de MIP, que involucran otras estrategias de manejo de plagas en todas las áreas: Salud Pública, Producción Pecuaria; Manejo de Bosques, entre otros.

En los cuarenta años de Socolen, el autor desea hacer más relevante el trabajo que en tal sentido han realizado docenas de personas. Todas estas contribuciones han logrado que el país sea un líder del Manejo de Plagas en América Latina. Es obvio que se requiere de un progreso más vigoroso en este campo. Los acuerdos de mercados de libre comercio que a nivel internacional se están firmando, están facilitando la distribución de las plagas transfronterizas. Se fortalecen los comercios, pero se descuida la sanidad vegetal. En los últimos 40 años han ingresado a Colombia unos 50 organismos exóticos (ácaros, insectos, malezas, etc.) que no presentaban enemigos naturales. Su establecimiento ha ocasionado diversas dificultades. En el caso agrícola los países compradores objetan alimentos con residuos tóxicos, por lo cual se requiere implementar otras estrategias de control de plagas. Pero no solo por esta razón, también debe pensarse en una defensa de los recursos naturales y protección de la biodiversidad.

La Entomología como ciencia ha demostrado todo su interés e impacto a nivel genético, médico, biológico, productivo, veterinario, forestal, ecológico y otras áreas de forma importante e impactante. No solo las ciencias básicas, también las aplicadas han recibido los aportes de los estudios entomológicos.

1. Consideraciones históricas

Aunque los registros históricos sobre la entomología en el país, son dispersos, brindan información trascendental. Bejarano (1993) relata: “hacia 1823, el gobierno de Santander, a través de Francisco Antonio Zea, contrata en Europa una misión encaminada a promover la educación y vienen el entomólogo Jacques Bourdon ... y el notable agrónomo Jean Baptiste Boussingault. Más adelante adiciona “J. Bourdon, tenía un perro alsaciano, decía que era su ayudante. Llamado Turc y reconocido por “serun gran cazador de mariposas”. Estos naturalistas recorren el país y se dispersan. Cuando se re-encuentran, para su regreso a Francia, en Tumaco. El perro Turc fue

devorado por un Tiburón. “Boussingault, reconfortó a J. Bourdon, regalándole una extensa colección de insectos que había reunido en sus correrías y lo invitó a regresar a Francia” (España, 1998).

En sus aportes Andrade (1996) expresa que entre 1848 y 1959, el inglés Henry Walter Bates, permaneció 11 años en la Amazonía colombiana y brasilera, dedicado a recolectar insectos y otros animales, y a estudiar sus hábitos y distribución geográfica. Después vende sus colecciones a Godman, un próspero naturalista aficionado. Años después este personaje redactaría la monumental “Biología Centrali-Americana”, en cooperación con Salvin, lo cual constituye uno de los primeros aportes al conocimiento detallado de los insectos colombianos que se conocen. El naturalista alemán Antonio Fassi, a principios del siglo XX, realiza un trabajo sobre mariposas y polillas colombianas, después de recorrer el país y descubrir nuevas especies de lepidópteros.

En la lucha contra La Langosta, una especie no identificada para principios del siglo XX, se documentan aspectos sobre su control químico; discusiones sobre el costo del mismo; uso del control biológico; diseño de trampas y otros aspectos, todos los cuales están publicados en la Revista del Ministerio de Agricultura y Comercio, en los años 1915 y 1916. En esta época, Dawe (1915), consejero agrónomo y Director de Agricultura publica un artículo: Insectos Nocivos de Colombia. Indicaciones para matar, preservar y empaquetar los insectos. Este documento constituye el primer instructivo sobre el tema.

La legislación sobre temas entomológicos, parece que se inicia, con el decreto No. 189 del 30 de Noviembre de 1915, cuando con la firma de José Vicente Concha, se decreta la fundación de la Escuela de Sericultura en Bucaramanga para “dar enseñanza práctica sobre el cultivo de la morera y la cría y beneficio del gusano de seda”. En 1922, el Presidente de la República Pedro Nel Ospina, expide el Decreto No. 1168, de agosto 25, en el cual dicta y ordena medidas para solucionar infestaciones de café de exportación atacado por la plaga del gorgojo. Aunque no se identifica el insecto, factiblemente era *Araecerus fasciculatus* (De Geer) (Col.: Anthribidae).

La labor incansable, del Hermano Apolinar María, quien llega a Colombia en 1904, es destacada por Andrade (1996), y de ella se puede resaltar que una vez, se establece en Bogotá, se encarga de la dirección del Instituto de La Salle hasta 1910. El primer ejemplar para la colección de insectos del Instituto, fue una cucaracha *Periplaneta australasiae* F. Para 1912 funda la Sociedad de Ciencias Naturales y en el boletín que se llamó primero “Boletín de la Salle” hasta 1919, año en el cual su nombre cambia a Boletín de la Sociedad Colombiana de Ciencias Naturales”. La publicación alcanzó 110 números. Al hermano A. María se le considera el padre de la lepidopterología en Colombia. En la colección del museo logró concentrar 17.235 especímenes. Publicó 75 contribuciones al conocimiento de las mariposas de Colombia. Sus trabajos junto con más de cien mil ejemplares de insectos del museo, desaparecen con el incendio del 10 de abril de 1948, que sucedió en Bogotá.

Dawe (1916) contribuye con informes técnicos acerca de un disturbio en el cultivo del arroz en Villavicencio, ocasionado por un insecto chupador no identificado. Relata las causas y propone soluciones. Así mismo, publica un informe técnico sobre la plaga *Epitrix migroaenea*

(Harris) y su impacto los cultivos de papa. La entomología aplicada, puede haberse iniciado con los trabajos que en 1913, emprendieron los doctores Luis Zea Uribe en Tocaima y Federico Lleras Acosta en Guaduas. Ellos emplearon contra la langosta la bacteria *Coccobacillus acridiorum* D'Herelle. Estos aspectos son destacados por Howard (1930).

Las situaciones críticas con chisas fueron tema tratado por Rottmayr (1922), que explica causas de su aparición en los pastizales, detalles de sus daños y medio de combatirlas. Murillo (1959) afirma que el primer insecto con el cual tuvo relación en su carrera de Sanidad Vegetal, fue una larva de gorgojo que causaba tremendos daños en cultivos de papa. Invadió cultivos en Nariño, luego en Cundinamarca. Anota que la plaga no existía antes de 1930 en Colombia. Se trataba de una especie del género *Tryporemmus* spp. (Col.: Curculionidae) de la cual se encomendó su estudio a los profesionales Hernando Osorno y Francisco José Otoya.

Quizás un evento histórico trascendental, es el que se inicia el 19 de octubre de 1927. A partir de ese día inicia trabajos la sección de Sanidad Vegetal del Ministerio de Agricultura. Luis María Murillo estaría vinculado al gobierno nacional y tal como lo comenta Díaz-Piedrahita (1997), L.M. Murillo estuvo trabajando de corrido y en forma prácticamente indefinida. Se desempeñó como jefe de un “Departamento de Entomología y Sanidad Vegetal”. Fue responsable de las colecciones y de los estudios entomológicos. No obstante las dificultades económicas del recién fundado servicio de Sanidad Vegetal del Ministerio de Agricultura en 1927, Murillo deja todo un legado de realizaciones. En dos de sus escritos: “Sentido de una Lucha Biológica” y “Colombia, un Archipiélago Biológico”, se expresan sus criterios en torno al CB. Pero este pionero fue quien impulsó la introducción a Colombia de especies insectiles benéficas contra las plagas. Se destacan los casos de *Aphelinus mali* Haldeman para el control del pulgón lanífero del manzano; *Eriosoma lanigerum* (Hausmann); *Rodolia cardinalis* Mulsant para la escama algodonosa de los cítricos *Icerya purchasi* Maskell y *Trichogramma minutum* Riley para enfrentar al barrenador *Diatraea saccharalis* Fabricius. Con insectos benéficos nativos (?), se destaca su trabajo con *Apanteles thurberiae* Muesebeck para combatir el gusano rosado colombiano *Sacnophya pyralis* Dyar (Valenzuela 1993). Murillo realizó estudios sobre plagas de los cultivos y su distribución geográfica, que culminaría, hasta antes de su absurda destrucción, en una colección de más de 100.000 insectos.

Leopold Ritcher, llega a Colombia en 1935. Para 1939 trabajaba con el Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia, como entomólogo se mantiene vinculado por 23 años. Su obra magna “El Catálogo de Membrácidos de Colombia”, ilustrado con dibujos de gran calidad, la publica por entregas (Andrade 1996).

En la Universidad Nacional de Colombia, en Medellín es el padre de la Entomología Francisco Luis Gallego, quien plasma en sus “Estudios Fundamentales”, su postura en pro de un control biológico de plagas. En ellos estacó el papel de los enemigos naturales nativos para solucionar situaciones críticas con las plagas. Quizás este investigador fue quien más señaló a través de sus años de docencia, la necesidad imperiosa de preservar la gran biodiversidad de insectos benéficos en el país (Vergara 2006).

Gallego en sus excelentes e históricos “Estudios Fundamentales”, hace un tratado de 131 plagas en 14 cultivos, animales domésticos y humanos. Recibió la distinción de la dedicación de más de 6 especies de insectos. Su obra entomológica fue reconocida por el Gobierno Nacional que le impone La Cruz de Boyacá, en grado de Caballero.

Su trabajo de tesis “Piroplasmosis, Estudio sobre la Garrapata” fue el primero de los muchos y valiosos aportes que hizo al conocimiento, de los artrópodos colombianos. Se vinculó en febrero de 1923 como profesor de dicha institución desplegando una ambiciosa labor académica, investigativa y administrativa por más de cuarenta años de dedicación, durante los cuales se consolidó como pionero de la Entomología colombiana, muy especialmente en su aspecto académico, mientras su amigo Luis María Murillo lo hacía en la parte investigativa (Madrigal, 2012).

Para la Entomología Médica, el Doctor Ernesto Osorno Mesa, según Andrade (1996) es considerado el pionero y fundador de estudios sobre insectos de importancia para la salud humana. En efecto desde su tesis de grado, hace aportes al conocimiento de artrópodos de Bolívar (Valle del Cauca) que afectan al hombre. El Doctor Osorno fue el fundador de la cátedra de Entomología, en la Universidad Javeriana en Bogotá. Así mismo, atiende cátedras de Biología y Parasitología de la Universidad Nacional de Colombia en Bogotá, desde 1951 a 1963. En 1964 ingresa como jefe de subgrupo de Entomología del Instituto Nacional de Salud y decide hacer un estudio de la fauna de flebotomíneos, *Lutzomyia* spp. (Diptera: Psychodidae) de Colombia, grupo de insectos de importancia en la transmisión de Leishmaniasis cutánea y visceral y Bartonellosis. Entre 1932 y 1974, realiza 45 publicaciones sobre Entomología Médica en Colombia y Ecología y Taxonomía de los Bombidae. Se destaca también su estudio sobre las garrapatas de Colombia.

En el Instituto Nacional de Salud en Colombia, el Laboratorio de Entomología ha venido desarrollando desde 1934, estudios de artrópodos vectores de enfermedades como la fiebre amarilla, las leishmaniasis y el dengue y la malaria, entre otros.

Las actividades que realizaron Luis María Murillo, en el campo de la ciencia aplicada y Francisco Luis Gallego, en la rama educativa, constituyen el fundamento, para afirmar que la historia de la Entomología Económica en Colombia, gira alrededor de estos dos líderes (Valenzuela, 1973). Pero a estos pioneros deben adicionarse los nombres de Belisario Losada, Francisco Otoya, Vicente Velasco Llanos, Adriano Cabal, Adalberto Figueroa, Nelson Delgado, Carlos Marín, Rafael González Mendoza, Eduardo J. Urueta S, Felipe Mosquera P y docenas de ilustres entomólogos extranjeros como: Jacques Bourdon, M.T. Dawe; Edward A. Ghapin, Charles Bellou, Paul R. Koba, Karl Knot; Robert F. Ruppel; Robert Hunter y Philipe Genty.

A medida que la frontera agrícola del país se expande, la investigación entomológica es más requerida para atender situaciones difíciles con artrópodos nocivos. El cultivo del algodón fue el de mayores estudios. El IFA (1950), publica un documento sobre plagas del algodón y su control, que para la fecha constituyó un aporte trascendental.

Los hallazgos bibliográficos sobre biología de los insectos, son muy escasos para la época comprendida entre 1937, cuando Murillo realiza un estudio sobre el *Sacadodes pyralis* y los años

de 1961-62 cuando los entomólogos del IFA, Rafael León García e Iván Jiménez aportan datos sobre el ciclo biológico y hábitos de vida del *Anthonomus grandis* Boheman y del *Sacadoses pyralis* Dyar. Desde luego, en este considerable espacio de tiempo, el profesor Gallego con sus famosos Estudios Fundamentales, llena prudentemente desde su cátedra universitaria, el gran vacío sobre tan importante capítulo de la Entomología Colombiana. En 1962 sale a luz pública un trabajo largamente esperado. Se trata del Boletín Técnico No. 2 del IFA, que bajo el título “Principales plagas del algodón en Colombia”, Hernán Alcaraz, su autor, se ubica en el sitio de obligada consulta en la biblioteca personal del agrónomo colombiano. Un aporte igualmente valioso, da Antonio Beltrán Rincón en 1967 al publicar un folleto ricamente ilustrado sobre las principales plagas del arroz, bajo auspicios de la Federación Nacional de Arroceros. En esta forma, Alcaraz y Beltrán contribuyen a llenar el vacío que existía sobre la biología de plagas en algodón y arroz, cultivos de tanta significación económica para el país (Valenzuela, 1973).

Debido al interés que despertaba el Control Químico de plagas, para ese entonces aparecen publicaciones como “Control de las Plagas y Malezas en la Agricultura”, cuyo contenido está relacionado con información acerca del uso de insecticidas y herbicidas para el control de organismos nocivos. Para ese año 1958, constituía un buen aporte para la agricultura (Franco, 1958).

1.1 Sobre los métodos de control de plagas

No obstante los planteamientos de Murillo (1959) y Gallego (1946), sobre la necesidad de un manejo de las plagas de modo racional, en Colombia, como en todo el mundo imperó el Control Químico de Plagas, de forma notable.

Hace más de tres décadas, en Colombia no se hablaba de Manejo de Plagas. La solución a los problemas entomológicos se centraba en el uso del control químico. Tanto técnicos como agricultores eran asistidos en la toma de decisiones por representantes de las compañías de agroquímicos. La década de los años 70 se caracterizó en sus inicios por el auge inusitado de las empresas de biocidas. El comercio era de una gran dinámica. Cerca de 700 plaguicidas se ofertaban. La aviación agrícola alcanzó su mayor desarrollo. Al igual, la asistencia técnica en cultivos como algodón, arroz, sorgo, soya y otros era una gran fuente de empleo. Aún era remoto hablar de Manejo de Plagas. Esa característica, de una espiral de aplicaciones de insecticidas estaba próxima a cobrar cuentas. En el Valle del Cauca y en el cultivo del tomate se ejercía un control químico que superaba las 20 aplicaciones por cosecha en cultivos de tomate; en Boyacá y Cundinamarca entre fungicidas e insecticidas se aplicaba en cerca de 25 oportunidades para los cultivos de papa. En todo el país, el algodón consumía entre 25 a 30 aplicaciones de insecticidas (Vergara 2007).

En las Facultades de Ingeniería Agronómica se impartía una educación entomológica orientada hacia el control químico. Los docentes, salvo algunas excepciones, hacían recitar a sus alumnos todo el acopio informático sobre los productos biocidas. Se enseñaban fórmulas

estructurales condensadas, propiedades físico-químicas de productos, usos, dosis y otros aspectos. Se trataba de configurar un "vademecum" mental. Muy pronto aparecieron los problemas. En un solo caso el algodónero, el *Heliothis virescens* (F.) (Lep.: Noctuidae) desarrolló resistencia al metil paration. En el año de la mayor siembra de este cultivo, 440 mil ha, el algodónero entró en la fase desastre. Aunque entomólogos como Ray F. Smith en USA y Hernán Alcaraz Vieco habían anunciado esta situación previsible, no se les escuchó. El cultivo, se deprimió y hoy 35 años después no se ha recuperado. Este fracaso sirvió para rescatar lo propuesto por Teodoro Daza Dagond y Hernán Alcaraz Vieco en 1965, un "Control Supervisado de las Plagas del Algodonero". Quizás motivados por ese revés, los asistentes técnicos impulsaron con bastante interés el muestreo de plagas, dieron los pasos para establecer los niveles de daño e inclusive determinaron de modo práctico índices de umbral económico.

El manejo de plagas se constituyó a nivel mundial, gracias a la influencia de los entomólogos australianos. Ellos permearon la Entomología en Norteamérica, y en un evento en North Carolina State University se discutió acerca de "Concepts of Pest Management". Allí se sientan las bases del Manejo de Plagas. A Colombia llegan estos conceptos a través de los nuevos docentes que se vinculan a Universidades además de Entomólogos que trabajan en entidades de investigación, producción y desarrollo. Es así como en los planes de estudio de la Agronomía ingresan asignaturas como Control Biológico, Manejo de Plagas y Manejo Integrado de Plagas. Era contrastante este tipo de materias con el énfasis publicitario de las compañías de plaguicidas, quienes destacaban avisos con propaganda y mensajes muy sutiles. Las generaciones de los profesionales después de la crisis del algodónero y de la asistencia técnica impulsaron una racionalidad en el empleo de plaguicidas. Se impulsó el control biológico y el Manejo Integrado de Plagas. Inclusive los agricultores algodóneros del Tolima presionaron la realización de un control supervisado como un paso inicial para realizar el Control Integrado de Plagas. Quizás este proceso no fue muy dinámico pero demostró sus bondades. Cultivos como caña de azúcar y arroz constituyeron ejemplos de este cambio. Se impuso en la caña el control integrado de plagas en especial de *Diatraea saccharalis* (F.) (Lep.: Pyralidae) y en arroz se diseñó todo un programa para el manejo integrado de plagas (Vergara 2003).

Una síntesis histórica sobre los métodos de control de plagas en el país, está diseminada en publicaciones poco conocidas y de una notoria dificultad de concertar. Valenzuela (1973), sobre el Control Cultural, relata que en el cultivo de algodón, varias de esas prácticas están consagradas en disposiciones con fuerza de ley y que hacen parte del Control Legislativo en Colombia.

Por lo menos desde 1950, varios entomólogos como Gallego, Murillo, Marín y Alcaraz, han destacado la importancia de las siguientes prácticas culturales:

- a) Destrucción oportuna y adecuada de socas.
- b) Destrucción de algodones peremnes y cultivos abandonados.
- c) Buena preparación del suelo para la siembra.

d) Limitación de las épocas de siembra.

Carlos Marín, como Jefe de Experimentación del IFA, puntualizaba en 1962 lo siguiente: “El IFA quiere una vez más insistir ante los cultivadores de algodón, la necesidad que tienen por su propio beneficio económico, de efectuar una completa destrucción de socas.... Hasta el presente, el medio más eficaz para contrarrestar los ataques del gusano rosado de la India (*Pectinophora gossypiella* Saunders), es una buena y oportuna destrucción de los residuos de las cosechas. Aradas profundas y varias rastrilladas son además, necesarias para destruir una gran cantidad de pupas del gusano rosado colombiano (*Sacadodes pyralis*)”. El mismo autor vuelve a insistir en el año citado, sobre la importancia de la destrucción de socas del algodón para controlar *Pectinophora* y *Sacadodes*, al mismo tiempo sugiere la utilización adecuada como la desmenuzadora de tallos.

Vergara (2006) detalla como contribuciones relevantes en el Control Biológico en diversos cultivos, las que a continuación se documentan.

La década de los años 60, tiene gran valor para el CB en Colombia. Durante 1960 a 1970, cuatro tipos de agentes benéficos logran éxitos de importancia económica y científica. La cría y liberación de *Trichogramma* spp. es efectuada por el Instituto de Fomento Algodonero (IFA), entre 1961 a 1962; brotes de *Caligo* sp. son controlados en el Valle del Cauca con el parasitoide de huevos *Telenomus* sp.; los estudios con *Bacillus thuringiensis* Berliner desarrollados para el control de larvas de lepidópteros por Miguel A. Revelo en 1963 merecen el premio Nacional de Ciencias y Alejandro Angel Escobar con el virus de la Poliedrosis Nuclear (VPN) se controla de modo espectacular el *Trichoplusia ni* Hübner en el algodón (Vergara, 2003). Después de esta década se conocen casos importantes como el del CB del *Oxydia trychiata* (Guenée) en plantaciones forestales con *Telenomus alsophilae* Viereck y los controles biológicos de ácaros y gusano cachón en yuca, que el CIAT concretó para beneficio de los agricultores. Los programas de MIP en moscas en explotaciones pecuarias se consolidan en 1980, empleando el bioinsumo *Spalangia* sp. Merece una especial mención la investigación que Antonio Prieto logra en el Cauca para el CB de plagas en flores. Algunos casos, por cultivos en síntesis son:

Algodonero. Este cultivo tiene un enorme significado para el CB. Constituía para el país el agroecosistema con mayor uso de insecticidas. Quizás se consideraba el cultivo con más especies fitófagas, más de 100, pero también con la mayor entomofauna benéfica (Posada y García 1976). Logró un incremento en el área sembrada hasta 440.000 ha en el año 1978. Para esta época entra en la fase crisis y luego desastre. *Heliothis virescens* (Fabricius) desarrolla resistencia a los insecticidas y el área se reduce drásticamente en los años siguientes. Esto llama la atención, por cuanto ha sido un suceso recurrente en varios países. Antes entre 1962 a 1964, se concretaron para el cultivo "Programas de Control Supervisado de Plagas" y "La Asistencia Técnica Particular", que Valenzuela (1993) afirmaba era una "nueva actitud para el tratamiento de los problemas de

plagas". Luego del desastre, el Estado legisla sobre programas MIP para este y otros cultivos. Las realizaciones más importantes en este agroecosistema con relación al CB, se resumen en:

=> *Trichogramma* spp. En el año se 1961, el Instituto de Fomento Algodonero, inicia en Colombia, en el Valle del Cauca, la cría masiva del parasitoide. Esta labor es retornada luego por la Federación Nacional de Algodoneros en el Departamento del Tolima (García y Jiménez 1996). Luego los laboratorios particulares multiplican el insecto para el control de insectos plagas como *Alabama argillacea* Hübner, *Heliothis* spp., *Sacadodes pyralis* y *Trichoplusia ni*. Hübner.

=> *Hippodamia convergens* Guerin-Meneville. Predador introducido del Perú. Liberado en el Valle del Cauca, colonizó los cultivos y se estableció como excelente control de áfidos.

=> *Bacillus thuringiensis*. Se utilizó de forma exitosa, en formulaciones comerciales para el control de *Alabama argillacea* y otros lepidópteros.

=> VPN del *Trichoplusia ni* Hübner. En las zonas del Tolima y Huila, la producción del algodón para 1968, tenía los ataques más críticos de este plusínido. La plaga se incrementó por la destrucción con insecticidas de su EN, *Copidosoma* sp. En 1970 la FNA, introdujo el VPN desde USA y el control fue del 100% (Vergara 2003).

=> *Cardiochiles nigriceps* Viereck. A partir de los años 80, se estudia este benéfico en el Tolima. Se cría en laboratorios y se libera en cultivos con excelentes resultados en el control de *Heliothis* spp. Parasitoide de alta especificidad y eficiencia, con gran adaptación a condiciones extremas de clima.

Caña de azúcar. Este agroecosistema, en especial en el Valle del Cauca, es el más grande laboratorio natural de CB, son unas 200.000 ha. en este cultivo. Se estructuró un programa MIP, teniendo como plaga clave *Diatraea saccharalis* Fabricius. Los fundamentos de este trabajo fueron el personal que se preparó en CB, los laboratorios que se instalaron para criar los insectos benéficos y la continuidad que se dio a todas las actividades. Además del *Trichogramma*, que se produjo masivamente en diferentes Ingenios Azucareros, se importan al país más de 12 especies de insectos benéficos. Se destacan los casos de:

=> Moscas Tachinidas. Se introducen las especies: *Paratheresia claripalpis* Wulp del Perú; *Metagonistylum minense* Towns del Brasil, *Lixophaga diatraeae* Towns de Trinidad - Tobago; *Palpozenillia palpalis* Aldrich de Trinidad-Tobago. De estas las dos primeras lograron la mayor adaptación.

=> *Apanteles* spp. Este himenoptero se trae de Brasil y de Trinidad-Tobago, se identifica como la especie: *Cotesia* (= *Apanteles*) *flavipes* Cameron (Raigosa 1992, Gaviria 1993). De este parasitoide se hicieron liberaciones masivas.

Café. En Colombia, que es caso único entre los países cafeteros, la producción se maneja con muy poco uso o casi nada de insecticidas (Bustillo 1992). Con la llegada de la broca *Hypothenemus hampei* (Ferrari), amenazó la estabilidad de las zonas cafeteras, pero la Federación Nacional de Cafeteros (FNC) desarrolló un programa MIP, con énfasis en broca que se llamó MIB. En este cultivo los agentes a destacar son:

=> *Beauveria bassiana*. Este hongo que afecta la broca de modo natural, se produjo masivamente por varios laboratorios. La FNC desarrolla un programa de capacitación a usuarios para su producción y aplicación en campo.

=> Parasitoides. Se investigaron y se crían las especies *Prorops nasuta* Waterston y *Cephalonomia stephanoderis* Betrem (Bethyridae) y *Phymastichus coffea* La Salle. Aunque su empleo no se ha masificado se destaca por el valor que tiene para el futuro.

Tomate. Un caso exitoso en el control biológico de plagas de hortalizas es el desarrollado por García (1993) para el control de *Tuta absoluta* (Meyrick). Esta plaga generó resistencia a insecticidas; los agricultores hacían uso indiscriminado de plaguicidas y los costos de producción se incrementaron. En el MIP para esta plaga se hizo énfasis en:

=> Parasitoides: Se emplearon dos tipos. De huevos *Trichogramma pretiosum* Riley y *T. exiguum* Pinto y Platner, liberando entre 50 a 80 pulgadas por hectárea, iniciándolas desde semillero. El parasitoide de larvas *Apanteles gelechiidivoris* Marsh, realizaba el control más importante.

=> Bacterias. Formulaciones comerciales de *B.t.*, se usaron en dosis de 500 a 600 gr por hectárea, con resultados de control altos.

En otros cultivos y agroecosistemas las contribuciones del CB, que se consideran relevantes son amplias, las cuales no pueden incluirse en este documento por aspectos de límite de espacio. Se ha señalado que en forestales, flores, yuca, ganadería, etc. se tienen contribuciones del CB. Debe reconocerse que los productores de insumos biológicos, tienen un papel preponderante, entomólogos como Jades Jiménez, Manuel Amaya y otros, con sus empresas posibilitan la presencia de insumos biológicos en los cultivos.

El control químico de insectos, está asociado al control de la langosta desde 1915. Tal como lo expresa Valenzuela (1973), el control químico de plagas tiene vigencia en el país, posiblemente

desde la misma iniciación de la agricultura republicana. El rol de los insecticidas orgánicos de síntesis, ha sido de poderoso influjo en el desenvolvimiento de la agricultura nacional. Si se hiciera un registro de trabajos experimentales de control de plagas desde 1950 hasta los momentos actuales, seguramente se encontraría el más elevado porcentaje a base de insecticidas químicos orgánicos. Los cultivos de algodón, arroz, café, papa, banano y en general los cultivos fundamentales de la economía del país, han estado sometidos en mayor ó menor grado, a la intervención de los insecticidas orgánicos de síntesis, para conjurar las plagas que los atacan. Y es que el control químico de plagas sigue siendo el más popular entre la gente del agro, porque este método tiene a su favor lo espectacular de sus resultados y su gran disponibilidad en el mercado nacional.

Después de las dificultades del cultivo del algodón, que presenta su Fase Desastre por varios aspectos, en especial por la resistencia del *Heliothis virescens* a los insecticidas organofosforados, como metil paration, la situación ha cambiado. El impacto de los graves daños de *Phthorimaea operculella* Zeller (Lepidoptera: Gelechiidae) en el cultivo de la papa y la introducción al país de insectos plagas exóticas como *Hypothenemus hampei* Ferrari (Col.: Scolytidae); de *Ceratitis capitata* Wideman (Dip.: Tephritidae); de la chinche de los urapanes *Tropidosteptes chapingoensis* Carvalho & Rosas (Hem.: Miridae); de *Tecia solanivora* Povolny (Lep.: Gelechiidae); de *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lep.: Gracilariidae), se presentaron cambios notables en la Entomología Colombiana y por supuesto en el Manejo de Plagas, ya no es el predominio del control químico, surgen otras alternativas que se evidencian en investigaciones presentadas en los diversos Congresos de Socolen (Vergara 2003).

2. Realizaciones

En el país existe un volumen apreciable de producción investigativa y académica en la Entomología. Esta ha sido realizada en Centros de Investigación (ICA, CORPOICA, CENICAFÉ, CIAT, CENICAÑA, CENIPALMA, CENIBANANO, CIB, etc.); en universidades oficiales y privadas; en dependencias oficiales (Ministerios, Secretarías de Agricultura, Corporaciones, etc) y otros conglomerados. Los aportes científicos, han tenido un espacio privilegiado para su presentación y lo constituyen los Congresos de Socolen. Para los entomólogos es necesario destacar la fundación de la Sociedad Colombiana de Entomología – SOCOLEN que con sus Congresos anuales, su revista, el boletín y las misceláneas, así como con los Seminarios Regionales, le da un giro trascendental a la problemática entomológica. En sus primeros Congresos el tema del control químico representaba el 80% de los trabajos presentados, hoy después de 39 congresos, si acaso llegan a tan sólo el 10% (Vergara, 2003). La idea de formar una agrupación de entomólogos, surgía en el pasado de vez en cuando en medio del diálogo: despreocupado entre colegas. Benigno Lozano C., envía en Enero 8 de 1971, una carta circular a muchos colegas, exponiéndoles la necesidad de constituir la Sociedad Entomológica (Valenzuela 1973). En el marco de un Congreso Nacional de Ingenieros Agrónomos, reunidos en la ciudad de Medellín en Noviembre de 1971 se constituye

SOCOLEN y se nombra una Junta Directiva Provisional, que conformaron: Hernán Alcaraz Vieco – Presidente; Antonio Beltrán R. Vice Presidente, German O. Valenzuela V., Secretario y como Tesorera Isabel Sanabria de Arévalo. Durante los días 24 y 25 de mayo se celebró en Bogotá en 1973, el I Congreso. A partir de este año y de modo ininterrumpido se han realizado con el del 2013, 39 congresos. En estos eventos anuales se han presentado un total de 5.185 investigaciones, que se han agrupado en 9 áreas del conocimiento entomológico. Los que concentran el mayor volumen de producción científica son: Biodiversidad y ecología de artrópodos 18.3%, control biológico 19.8; manejo de plagas 14.8; taxonomía de artrópodos 8.3. En áreas como biología de artrópodos, protección de cultivos; resistencia de plantas, biología molecular y entomología médica, forense y veterinaria, se clasifican un total de 3.297 investigaciones.

Cuando se realiza una búsqueda en bases de datos sobre la producción investigativa de la Entomología en Colombia, se encuentran resultados satisfactorios. Una revisión en Scopus de Elsevier que está a disposición de los usuarios de la Universidad Nacional de Colombia, presentó entre 1975 al 2013, un total de 1.134 publicaciones. Estas se incluyen en 18 áreas del conocimiento, destacándose Agricultura con 806 contribuciones y Medicina con 267 publicaciones. Estos materiales científicos están registrados en unas 230 revista y “journals” de circulación internacional. La base de datos Scopus, incluye 140 artículos de la Revista de Socolen. También incluye artículos de las revistas: Acta Biológica Colombiana, Caldasia, Colombia Médica Biomédica; Agronomía Colombiana, Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias, Revista Colombiana de Química, Revista de Salud Pública, Biomédica, Salud Uninorte, Revista Ciencias de la Salud y Revista MVZ de Córdoba.

2.1 La academia

En el sistema universitario del país, se encuentran instituciones de educación superior, que en diversas carreras ofrecen cursos regulares o electivos, que tienen relación directa o indirecta con el estudio de los artrópodos. La inclusión en los planes de estudio de estas asignaturas se inicia en 1914 con la creación en Medellín de la Escuela de Agricultura Tropical y Veterinaria. Posteriormente la estructuración de programas profesionales como:

Biología (básica, aplicada, ingeniería); Ciencias Agrarias (ingeniería agronómica, ingeniería agropecuaria); Medicina Veterinaria; Ingeniería Forestal; Ecología; Medicina Humana; Zootecnia y otros campos de estudios profesionales; incluyen en la formación de los futuros profesionales, cátedras como entomología general; sistemática entomología económica, control biológico, ecología de insectos, evolución; entomología médica; ectoparásitos, toxicología de plaguicidas; manejo de plagas y otras materias. Los estudiantes, que toman estos cursos en un gran porcentaje se inclinan por desarrollar su trabajo de grado en entomología.

Un cálculo conservador, permite afirmar que a nivel de pregrado, en unas 30 instituciones se han concluido unas 3.000 investigaciones relacionadas con la Entomología. No todas ellas se han publicado en Revistas o Boletines. Si se tienen en cuenta los programas de posgrado a nivel de

Magister y Doctorado, que ofrecen varias universidades, la cantidad de investigaciones se incrementa. Pero también la producción académica se incrementa, cuando en los cultivos de café, la caña de azúcar, palmas aceiteras, frutales y flores se logra un desarrollo de la investigación entomológica nunca visto. Todo este trabajo se lleva a libros y publicaciones de circulación nacional e internacional. Los cambios fueron rotundos y se consolidan los entomólogos de diversas instituciones como CENICAFÉ, CENICAÑA, CENIPALMA y CENIBANANO (Vergara 2003).

En Colombia la producción de libros, separatas folletos, cartillas y otros medios impresos sobre temas entomológicos es positiva. En más del 90% de las universidades han publicado libros de docentes; el ICA ha mantenido una tradición en el respaldo de impresos de sus técnicos; al igual CORPOICA, CIAT, CIB, Corporaciones Regionales y otras instituciones han contribuido con el acopio de este material disponible en varias bibliotecas del país; una importante contribución lideró el acarólogo, José Iván Zuluaga C., en la universidad Nacional, Sede Palmira. Con los docentes de Entomología y decenas de sus estudiantes, logró a través del tiempo concretar en el año 2003, una obra de 50 Foros Entomológicos. En varias universidades se crean grupos académicos y de extensión, tales como Entomophilo (Universidad del Valle; de Sistemática Molecular (Universidad Nacional – Medellín); GEUN (Grupo de Entomología de la Universidad Nacional – Medellín) que en este 2013, realizará su decimotercer Seminario Nacional “Aconteceres Entomológicos”. Estos y otros grupos contribuyen con sus publicaciones a un incremento de la producción académica.

El reconocimiento a la labor investigativa de entomólogos colombianos, se ha mencionado en párrafos anteriores. Igualmente debe destacarse que con la obra “Los Áfidos de Colombia – Plagas que Afectan los Cultivos Agrícolas de Importancia Económica”, los doctores Alex Bustillo P. y Guillermo Sánchez, obtuvieron el premio de Ciencias “Alejandro Ángel Escobar” en 1977.

En varios de los trabajos presentados, en los 39 Congresos celebrados, diversos autores han confirmado la identificación de especies de artrópodos nuevas para la ciencia. El número de éstas sobrepasa las 150 especies, lo cual es un aporte mas que representativo para la Entomología.

3. Proyecciones

En todos los espacios académicos se presentan discusiones que llevan a preocupaciones acerca del cual es el futuro de la ciencia en todas las áreas del conocimiento. Fernández *et al.* (2004), plantean:

“La llegada del nuevo siglo ha traído consigo nuevos retos y nuevas herramientas para enfrentarlos. Estos vientos de cambio han afectado todas las áreas de la ciencia, desde las más “tecnificadas” como la biología molecular hasta las más tradicionales como la morfología. También este nuevo siglo viene acompañado de un panorama menos optimista para ciertas áreas de la biología, donde los recursos humanos y logísticos están menguando ante políticas de ajuste o austeridad de instituciones

públicas o privadas. De esto no escapa la Entomología, la ciencia que estudia los insectos”.

En Colombia no hay un ente que aglutine las diversas entidades que producen investigación entomológica. Fruto de esta actividad surgen publicaciones de todo tipo, algunas categorizadas y otras no. Podría ser valioso, intentar un sistema de coordinación de todas las instituciones que trabajan la Entomología. Así mismo los grupos o equipos de investigación, al interior de una organización, no deben estar dispersos.

Tal como lo plantea Bach de Roca (1991), hay que señalar también el establecimiento de equipos de Investigación constituidos por varias personas, generalmente dedicadas a aspectos técnicos y a parcelas diversas de un mismo problema, cuya dificultad o amplitud desborda las posibilidades de un solo investigador. Estos equipos sustituyen, modernamente, al investigador solitario de época reciente. Por estos motivos los trabajos de investigación con frecuencia van firmados por varias, a veces muchas personas, sin que, no obstante, no siempre la dificultad o heterogeneidad de la investigación requieran este nutrido concurso de colaboradores, ni todos los trabajos publicados justifiquen su crecido número de firmas. Pero es un recurso cómodo que suele ser tolerado. Como consecuencia del aumento de medios, y consecuentemente de la actividad investigadora, así como del cambio experimentado en la forma de actuar del investigador y de las exigencias a que éste es sometido, surge el nuevo elemento característico de la investigación actual al que hemos hecho referencia: el extraordinario incremento del número de publicaciones, que aumentan prodigiosamente, lo que, en contra de lo que en principio pudiera parecer, no siempre constituye un elemento positivo.

La Sociedad Colombiana de Entomología – Socolen, debe tener entre sus proyecciones un impulso a la investigación, difusión, por todos los medios y la socialización de la ciencia que estudia los artrópodos. Ésta de por sí, es su razón de ser. Pero las preocupaciones para que este propósito se logre son latentes. Bach de Roca (1991) planteaba que “No obstante un análisis profundo y comparativo de los diversos campos o áreas de la investigación, así como la evolución experimentada por ésta en general, en los últimos decenios, llevan a la inclusión de que, a pesar de esta innegable expansión, existen indicios de la aparición de crecientes dificultades en el desarrollo de la investigación en el campo de la Entomología, hasta el punto de que algunos creen se va alcanzando un nivel crítico de identidad”.

La retrospectiva y las realizaciones de la Entomología en Colombia hacen suponer de que ha logrado un desarrollo sorprendente por lo cual su futuro a corto y largo plazo está garantizado. Pero esto no es correcto plantearlo, cuando se analiza el desarrollo mundial de la ciencia, el cual es exponencial, con un incremento en el número de investigadores, presupuesto económico y progreso impresionante en diversas áreas del saber, la entomología enfrentada a la ciencia total es insignificante. Los intereses de la empresa privada inclinan la investigación en favor de su crecimiento. En países como Colombia, no hay proyectos investigativos que puedan salir adelante sin los aportes de los inversionistas y esto condiciona el desarrollo de la Entomología.

Posiblemente una investigación sobre un insecto plaga que no afecte cultivos de importancia económica, no tendrá respaldo. Los objetivos que determinan los intereses económicos, afectan la investigación.

Socolen, que tiene entre sus objetivos asesorar al Gobierno Nacional, en aspectos relacionados con artrópodos plagas, debe realizar alianzas estratégicas y fortalecer su trabajo futuro con los representantes estatales. A manera de propuestas el responsable de este documento considera que las proyecciones de Socolen deben orientarse en varias direcciones, que a continuación se comentan.

3.1 La entomología

El estudio clásico de los insectos, con el transcurrir del tiempo, está deteriorándose. Es necesario preservar el carácter primario de la entomología, y tratar con cuidado el incremento de innumerables disciplinas en las que, los insectos son su ingrediente, quedan relegados por apelativos de difícil concepción temática. Aparecen áreas como: Ingeniería Biológica; Fisiología del Comportamiento; Genética Evolutiva; Biotecnología Entomológica, etc, etc. Los estudios entomológicos que tanto aportaron al conocimiento de los insectos, no deben subvalorarse. La entomología descriptiva y la sistemática taxonómica, deben tener el mismo reconocimiento que la entomología experimental ó analítica (Bach de Roca 1991).

Los futuros Congresos de Socolen deben incluir en su programación conferencias magistrales o investigaciones que valoren el rol de los entomólogos. Ya en estas notas se ha hecho referencia a los maestros del estudio de los insectos, que no fueron solo coleccionistas. Sus trabajos tienen una historia científica innegable. Quienes dirijan la Sociedad a futuro tienen esta responsabilidad. Como acontecimiento histórico que son, los insectos, debe dárseles el lugar privilegiado del accionar de Socolen. En el futuro y así lo ha manifestado la ONU, los insectos constituirán parte importante de la dieta alimentaria de una población en vertiginoso crecimiento. En varios países, hoy es de común empleo en la alimentación, el consumo de insectos. En Filipinas, China, Corea, Tailandia, México, etc es comprobada la riqueza proteica de muchas especies de insectos. Colombia tiene ejemplos de entomofagia, pero estos deben convertirse en un proyecto. La soberanía alimentaria de muchos países está asociada al consumo de alimentos propios de la región. Debe Socolen, asesorar al estado en estos tópicos.

3.2 La difusión de la investigación

El número de publicaciones que presentan los resultados de investigaciones de los autores, en Colombia es elevado. Si bien es cierto en el consolidado internacional, se destacan unas pocas publicaciones, quienes publican buscan hacerlo en revistas categorizadas. Pareciera cumplirse la máxima “publicad o pereceréis”. En las Instituciones de Educación Superior, en los Institutos, existe presión en los investigadores que tienen la necesidad de ampliar su curriculum, de justificar la labor realizada ante los evaluadores científicos o administrativos, son motivos de

que se efectúen conclusiones a veces faltas de suficiente comprobación experimental; en otros casos un mismo trabajo o resultado es publicado repetidas veces con ligeras modificaciones, y muchos trabajos parciales no llegan a ser concluidos nunca. En general el investigador se ve obligado a leer una enorme cantidad de publicaciones que consumen mucho tiempo y así y todo tiene que acudir a revistas de resúmenes, basarse en las llamadas "palabras clave" de los artículos, limitar las revistas esenciales de consulta y prescindir por comodidad o ignorancia, de revistas en idiomas de poca influencia política, a menudo independientemente de su interés científico real. Comenta Bach de Roca (1991) que en un reciente informe de la UNESCO revelaba que sólo en Estados Unidos, se publican cada año una media de 600.000 nuevos títulos, 60.000 informes técnicos, 15.000 tesis doctorales y se producen 100.000 patentes; en 1985 las aportaciones bioquímicas representaron unas 300 páginas diarias en revistas de difusión internacional. Un médico o un investigador en biomedicina que pretendiera leer todo lo publicado en un solo año necesitaría 55 siglos de tiempo de lectura.

En Colombia, existen sociedades científicas, que no tienen un órgano de divulgación impreso tal como la Revista de Socolen. Sostener una publicación anual de la calidad de la Revista Colombiana de Entomología, tiene unos costos elevados. Si Socolen no cuenta con socios benefactores, o con apoyo estatal, es difícil mantener la publicación. No obstante solicitar, a los autores de los artículos los aportes económicos del valor de su publicación, la Revista registra más del 70% de autores morosos en los pagos. Llegará el momento de su desaparición en papel y se intensifique su circulación en Internet. Antes Socolen, realizaba Seminarios Regionales que sobre diversos temas entomológicos permitían plasmar en una Memoria, las presentaciones. No se han vuelto a efectuar. El Boletín "Entomólogo" también salió de circulación por aspectos económicos. Por estas dificultades la realización del Congreso cada año, constituiría la forma de Difusión de la Investigación, aunque los costos y el trabajo que implica organizar un Congreso, hacen cada día más difícil, que grupos de entomólogos por ciudades, pidan ser Sede del Congreso.

Ante este panorama que es crítico, se debe reflexionar sobre como ser más operativos en Socolen para hacer la difusión de la investigación. Si bien es cierto que en el país se tienen otros medios impresos, no todos ellos publicarían artículos científicos. La página Web de Socolen puede ser una solución a futuro. Erwin y Johnson (2000), citados por Fernández *et al.* (2004) proponen que el uso de Internet puede ser una herramienta muy eficaz para acelerar las descripciones de taxa y abaratar los costos de diseminación de la información. Esto no va a ser una solución o panacea para el formidable problema de la descripción de la diversidad de insectos del planeta, pero puede agilizar sustancialmente el panorama para algunos grupos. Y algunos de estos grupos, a la larga, pueden convertirse en las únicas herramientas para tomas de decisiones.

El uso mixto de publicaciones en papel e Internet, podría agilizar la difusión de revisiones y descripciones, abaratar los costos y ofrecer a todo el mundo estas publicaciones. En general, en las revistas hay un alto costo de publicación por página, la inclusión de imágenes a color es muy costosa, y el período de revisión, aceptación y publicación es largo (más de un año). Por otro lado,

algunas revistas tienen difusión escasa, no accesible a todos los interesados, o los costos de inscripción son altos. La cobertura de Internet es mundial, y su posibilidad de acceso es cada vez mayor y más barato.

3.3 El sistema universitario

Las universidades que en Colombia ofrecen asignaturas relacionadas con la entomología, lo hacen sin consulta con sus pares académicos. Existen instituciones en las cuales las materias están ubicadas en los semestres bajos del plan de estudios; en otras son electivas u optativas; algunas tienen líneas de profundización y en otras se han eliminado por la falta de docentes capacitados. Una generación de profesores que trabajó en los Centros de Educación Superior y fue partícipe de la existencia de Socolen, al cumplir su edad de jubilación, se retiró. Las instituciones no hicieron planes para un relevo generacional. Los docentes que entraron a ocupar los cargos no tienen la experiencia de campo, para el caso de las Facultades de Ingeniería Agronómica. Inicialmente debe plantearse que los planes de estudio en los diferentes centros universitarios que forman Agrónomos o Ingenieros Agrónomos no son idénticos. Existe una marcada diferencia. En algunos de ellos ha desaparecido la obligatoriedad de la Entomología. En otras instituciones no se dictan ni electivas, ni cursos de contexto o líneas de profundización sobre la Entomología. En otras universidades la intensidad horaria se ha disminuido. La universidad colombiana no preparó a los nuevos docentes y esto puede afectar no solo la entomología sino la formación de los nuevos profesionales. Es importante que en los planes de estudio se incluyan o se sostengan las asignaturas regulares: Entomología General, Entomología Económica y Manejo de Plagas. Así mismo que se ofrezcan las electivas: Control Biológico, Patología de Insectos, Problemas Entomológicos Especiales, Ecología de Insectos y Etología de Insectos. Sería interesante ofrecer asignaturas de contexto como: El Maravilloso Mundo de los Insectos; El Desarrollo de la Humanidad y los Insectos; La Entomofagia; La Utilidad de los Insectos, entre otras. En aquellas facultades que no tengan línea de profundización, se puede organizar la misma, con las electivas. Es de gran utilidad que los docentes de diversas asignaturas como Fitopatología, Malezas y Cultivos unifiquen criterios sobre el Manejo de los Problemas Fitosanitarios. Existen serias diferencias conceptuales. Algunos docentes propenden por el control químico, otros aceptan el MIP. En este sentido es deseable acordar criterios. Por último se considera de gran apoyo la organización de al menos un evento entomológico al año en cada Facultad. Apoyándose en los trabajos de grado, en los profesionales de la zona o en profesores, se pueden seleccionar trabajos a presentar. Ojalá estos eventos sean gratuitos. La Universidad debería apoyar esta tarea publicando las memorias de cada Foro o Seminario (Vergara 2003).

Socolen, debe jugar un papel importante en la enseñanza de la Entomología, tal como lo contemplan sus estatutos. Es necesario retomar la realización en los Congresos de Foros, como el efectuado en el Congreso 28 de Pereira en el 2001. Allí participaron como ponentes los doctores

Ingeborg Zenner de Polanía, Paulina Muñoz, Gerhard Fischer y César Cardona. Sería estupendo poder realizar eventos en temas como: La enseñanza de la Entomología, Formación Pedagógica de Entomólogos; La Entomología como Formación Profesional; La Taxonomía en la Entomología; Etnoentomología y otros temas de interés para proyectar a Socolen en este siglo XXI.

4. La entomología en Colombia: consideraciones finales

“En Colombia, un país con evidentes necesidades de grandes transformaciones, la educación ha estado tradicionalmente al servicio del conformismo, de la rutina, del statu quo social y mental”

Abad-Gómez, H. 1990. Manual de Tolerancia.

La historia, así como el presente y las proyecciones de la Entomología en Colombia, están asociadas con el desarrollo de la educación. Cuando los habitantes de un país, valoren la educación, el conocimiento, comprenderán que ese proceso permitirá el progreso. En estas notas, las cuales no se consideran, únicas ni definitivas, se ha intentado hacer un recorrido del ayer, del hoy y del mañana de la Entomología en Colombia. Para los críticos rigurosos, este documento es parcial, pero su autor solo eligió un objetivo: despertar conciencia, interés, amor y dedicación al estudio de los artrópodos (ácaros e insectos) y otros grupos afines. La ciencia entomológica en el país ha requerido de una gran cantidad de esfuerzos de investigadores, docentes y técnicos, en la búsqueda de obtener conocimientos sólidos sobre el mayor grupo del reino animal. En esta empresa, Socolen ha sido la organización que ha aglutinado el mayor número de interesados en este tema. La realización de 39 Congresos es una actividad llena de historia y de excelentes aportes a la población colombiana.

Si se acepta que el conocimiento puede ser definido, como una reproducción conceptual de la realidad, este documento comprende en gran parte lo que es la Entomología en Colombia. Por esto se hacen propuestas en las proyecciones para darle derroteros a esta ciencia, pero ellas tienen que contar con las personas que así lo deseen. Pero a este propósito tiene que adicionarse el respaldo del Estado. Colombia requiere de la voluntad política, de quienes planean el accionar y las decisiones sobre el futuro en lo agropecuario, en salud pública y en lo educativo para así aceptar que el desarrollo sostenible es posible. No solo la sanidad agropecuaria, sino la salud pública y la preservación de la biodiversidad, tienen que enmarcarse en estos propósitos.

Al firmar Colombia, tratados de Libre Comercio, con varios países, se verá sometida a una presión, por la innovación de los métodos de protección de cultivos. Será obvio, que en los próximos años por la razón o por la fuerza, tendrá que imponerse, en el caso del sector agropecuario, un manejo de plagas que supere el modelo tradicional. Por la razón, porque las alternativas mencionadas no

son contaminantes. Algunas de ellas ayudarían a reducir costos de producción, evitarían riesgos de intoxicaciones, no destruyen los enemigos naturales, no afectan a la flora y fauna silvestre y en general porque son estrategias de eficiencia comprobada. Quizás, si esto no es aceptado ahí sí vendrá la fuerza. Esto significa que los países compradores y en ellos los consumidores exigirán alimentos más limpios, que no tengan residuos tóxicos. Las actuales normas de la Comunidad Económica Europea son drásticas en este sentido. Aparentemente el Estado Colombiano está involucrado en impulsar una agricultura sin tanto producto tóxico. Existe una ley sobre agricultura biológica, en la Constitución Política existe un numeral sobre el derecho a tener un ambiente limpio y además existen entidades oficiales impulsando el Manejo Integrado de Plagas (MIP). Como se afirma si se dan los cambios a nivel político y económico, se podrá augurar una drástica re-conversión de los agroecosistemas. No se dependerá de tantos agroinsumos de alta toxicidad y las alternativas de control serán de mayor demanda por los productores. Aunque en el mercado existen productos biológicos, en el futuro se necesitarán más, ello significa posibilidades de trabajo para diversas personas. Pero esto no sólo se piensa a nivel ciudadano. Las compañías de agroquímicos ya vienen trabajando en esa línea. En USA y en Europa promueven sus productos biológicos, insecticidas y herbicidas en especial, pero también trampas y feromonas. En todo el mundo existe una presión por lo ambiental y Colombia no se podía aislar de esta campaña. Posiblemente todos los errores cometidos con el uso de plaguicidas permitieron a los técnicos y a los agricultores reconsiderar la equivocada práctica del abuso de insecticidas. Al cabo de mucho tiempo se logró algo que durante su vida pidieron Elkin Bustamante y Hernando Patiño C (q.e.p.d) y fue la necesidad de una toma de conciencia fitosanitaria.

La Entomología debe prevalecer en el país. Requiere superar obstáculos y avanzar para el beneficio de quienes estudian los artrópodos. Estos organismos que son verdaderos fenómenos bioecológicos deben ser estudiados e investigados por todos aquellos que lograron crear a Socolen, que han asegurado su permanencia y le trazan un futuro exitoso: Los Entomólogos.

Literatura citada

- ANDRADE, C.M.B. 1996. Apuntes para una historia de la entomología en Colombia. p. 17-35. En: Insectos de Colombia. Estudios Escogidos. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales Colección Jorge Álvarez Lleras No. 10 Coeditado en el Centro Editorial Javeriano. 541 p.
- BACH DE ROCA, C. 1991. La entomología, ¿una ciencia en crisis? Boletín Asociación Española de Entomología 15:11-27p.
- BEJARANO, J.A. 1993. Notas para una historia de las ciencias agropecuarias en Colombia. En: Historia Natural y Ciencias Agropecuarias. 381-389 P.
- BUSTILLO, P.A. 1992. El control biológico como un componente en un programa de manejo integrado de la broca del café *Hypothenemus hampei*. En: II Simposio Nacional sobre Control Biológico en Colombia. Memorias, Medellín. 225-234 p.
- DAWE, M.T. 1915. Insectos nocivos de Colombia. Indicaciones para matar, preservar y empacar los insectos. Revista Agrícola 1(10): 584-587p.

- DAWE, M.T. 1916. El pulgón de la patata. *Revista Agrícola* 2(7): 458-461 p.
- DAWE, M.T. 1916. Memorandum sobre la destrucción de la langosta por la mosca langosticida colombiana. *Revista Agrícola* 2(3): 143-150 p.
- DAWE, M.T. 1916. Nota adicional respecto a la mosca langosticida colombiana. *Revista Agrícola* 2(4): 216-219 p.
- DIAZ-PIEDRAHITA, S. 1997. Luis María Murillo Quinche – Obra selecta. Presentación. Bogotá. 186 p.
- ESPAÑA, G. 1998. Jean Baptiste Boussingault. El padre de la agricultura moderna. Colciencias, Panamericana Formas e Impresos S.A., Bogotá. 80 p.
- FERNÁNDEZ, C. F.; ANDRADE, C. M.G. y AMAT, G.G.D. 2004. Insectos de Colombia. (Eds.). El estudio de los insectos en Colombia y los retos de la entomología del nuevo siglo. 11-15 p.
- FRANCO, U.A. 1958. Control de las plagas y malezas en la agricultura. Caja de Crédito Agrario. Provisión Agrícola Editorial Santafé, Bogotá, D.E. 110 p.
- GALLEGO, F.L. 1946. Estudios fundamentales. Editorial Bedout, Medellín. (pi).
- GALLEGO, J.F.L. 1992. Piroplasmosis estudio sobre la garrapata. Tesis de Grado. Escuela Superior de Agronomía y Medicina Veterinaria, 213-264 p.
- GARCÍA, R.F. y JIMÉNEZ, V.J. 1996. Producción y manejo de *Trichogramma* en Colombia. En: Zapater, C.M. (ed.). El control biológico en América Latina. Gráfica Integral, Buenos Aires. 107-113 p.
- GAVIRIA, M.J.D. 1993. El control biológico de los insectos-olagas de la caña de azúcar en Colombia. En: Control Biológico en Colombia: Historia-Avances-Proyecciones. FERIVA, Cali. 42-70 p.
- HOWARD, L.O. 1930. A history of applied entomology. *Smithson, Misc. Colins.* 84:1-564 p.
- MADRIGAL, C.A. 2012. Francisco Luis Gallego Montaña, una vida de servicio. *Boletín del Museo Entomológico Francisco Luis Gallego* 4(3): 7-12.
- MURILLO, L.M. 1959. Nuestro ambiente y la ciencia. En: Díaz-Piedrahita, S. y Murillo, P. M.T. (eds.). Luis María Murillo Quinche. Obra selecta. Santafé de Bogotá, 1997. 1-15.
- POSADA, O.L. 1989. Lista de insectos dañinos y otras plagas en Colombia. Instituto Colombiano Agropecuario, Bogotá. 662 p. (Boletín Técnico no. 41).
- RAIGOSA, B.J. 1992. Manejo Nacional de algunas plagas de la caña de azúcar. En: II Simposio Nacional sobre Control Biológico en Colombia. Memorias, Medellín. 251-263 p.
- ROTTMAYR, L.M. 1922. El gusano blanco o chisa. *Revista Agrícola* 7(8): 446-447.
- VALENZUELA, G. 1993. Itinerario del control biológico de plagas agrícolas en Colombia. En: Control Biológico en Colombia: Historia-Avances-Proyecciones. FERIVA, Cali. 1-8 p.
- VALENZUELA, V.G.O. 1973. Reseña histórica de la entomología económica en Colombia. I Congreso Sociedad Colombiana de Entomología, Socolen, Bogotá. 8-35 p.
- VERGARA, R.R. 2003. Aspectos históricos, estado actual y visión futura del manejo de plagas agrícolas. En: Foro Entomológico No. 50 Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. 24 p.
- VERGARA, R.R. 2006. Realizaciones y avances del control biológico en Colombia. En: IV Congreso Internacional de Control Biológico. CIAT, Cali. 12 p.

Insectos que escuchan como humanos: Mecanismos de producción de sonido y análisis de frecuencia auditiva en saltamontes (Orthoptera: Tettigoniidae)

Insects that hear like humans: Mechanisms of sound production and auditory frequency analysis in katydids (Orthoptera: Tettigoniidae)

Fernando Montealegre-Z.¹

¹ Profesor de Biología sensorial y Biomecánica. School of Life Sciences, Riseholme Campus, University of Lincoln. Lincoln. LN2 2LG, United Kingdom. fmontealegrez@lincoln.ac.uk

Resumen. La comunicación acústica es esencial en muchos animales, los cuales necesitan escuchar no solo los sonidos de reconocimiento específico sino también los del medio ambiente para poder sobrevivir. Para esto, los animales terrestres deben de convertir la energía acústica contenida en las ondas de presión de sonido que viajan en el aire en señales neuronales. Los órganos de audición de muchos animales incluyendo los mamíferos pueden descomponer un sonido complejo en las diferentes frecuencias que lo integran. Esto se conoce como análisis de frecuencia. Curiosamente algunos insectos como los saltamontes (también conocidos como chapulines) de las selvas neotropicales, poseen mecanismos biofísicos de procesamiento auditivo equivalentes a los de los mamíferos. Aunque los oídos del saltamontes son muy pequeños y además están localizados en las patas anteriores, estos insectos experimentan las mismas etapas vitales de acople de vibraciones sonoras de aire a líquido, como también de amplificación y análisis de frecuencia. Esto lo logran mediante el uso de un sistema de palanca que cumple la misma función de los huesecillos del oído de los mamíferos pero que tiene diseño morfológico diferente. Además, a lo largo de la cadena de audición el análisis de frecuencias de sonido se basa en propagación de ondas a través de un medio líquido, como en la cóclea de los mamíferos. Por lo tanto, dos organismos no emparentados filogenéticamente, saltamontes (insectos) y mamíferos, han evolucionado una serie de soluciones convergentes a los problemas biofísicos de audición comunes, a pesar de que estas dependen de estructuras morfológicas diferentes.

Palabras clave: Cóclea, audición en insectos, fisiología del oído, *Crista acustica*, Membrana basilar.

Abstract. Acoustic communication is essential in many animals, which must detect not only intra-specific sounds but also other sounds from the environment relevant to their survival. In order to hear sounds from the environment, terrestrial animals must convert the acoustic energy contained in the airborne sound pressure waves into neural signals. The hearing organs

of many animals including mammals can decompose a complex sound in its different frequencies; this is known as frequency analysis. Interestingly some netropical insects like katydids (also known as bushcrickets), have biophysical mechanisms and auditory processing equivalent to those of mammals. Even though the katydid ears are very small and are located on the front legs, these insects perform the crucial stage of air-to-liquid impedance conversion, signal amplification, as well as frequency analysis. This is achieved by a lever system, which plays a role analogous to that of the middle ear ossicles in mammals, but have different morphological design. Moreover, along the chain of the hearing, frequency analysis relies on wave propagation through a fluid medium, as in the mammalian cochlea. Therefore, two phylogenetically unrelated organisms, katydids (insects) and mammals have evolved a number of similar solutions to common biophysical hearing problems, although these rely on different morphological structures.

Key words: Cochlea, insect hearing, ear physiology, *Crista acustica*, basilar membrane.

Introducción

En el reino animal muchas especies necesitan identificar sonidos del medio ambiente para incrementar sus chance de supervivencia. La comunicación acústica se da en muchos grupos desde los invertebrados hasta organismos superiores como los mamíferos. Para citar algunos ejemplos, los casos más estudiados de comunicación acústica se han enfocado en mamíferos (delfines, murciélagos y elefantes), aves, anfibios y en artrópodos (crustáceos e insectos) (Bradbury y Vehrencamp, 1998). Pero debido a su diversidad biológica, los insectos conforman un gran porcentaje de la comunidad que invade el espacio acústico de muchos hábitats terrestres. Ejemplos concretos son las cigarras (Cicadidae), los grillos (Gryllidae) y los saltamontes (Tettigoniidae). En los Tettigoniidae el macho canta para atraer a sus hembras co-específicas con fines reproductivos (Robinson y Hall 2002). Los cantos se producen por estridulación tegminal: una de las alas anteriores posee una vena modificada con una serie de dientecillos y la otra tiene un borde esclerotizado en el margen anal en forma de raspador (Morris 1999). El sonido es generado entonces mediante el frotamiento de las alas anteriores y las frecuencias sonoras que estos insectos explotan varían aproximadamente desde 5 kilohercios (kHz) hasta 150 kHz, según la especie (Montealegre-Z. 2009). Desde éste punto de vista, el sistema auditivo funciona en un contexto social para facilitar la comunicación intraespecífica. Sin embargo, en la naturaleza los animales están expuestos a muchos otros sonidos que necesitan ser reconocidos. Por ejemplo, una gran mayoría de especies se han adaptado a la vida nocturna, incluyendo los Tettigoniidae, y en la noche el ruido ambiental incrementa en gran proporción (en unos 20 decibeles en relación con el ruido ambiental diurno) después de la puesta del sol (Lang *et al.* 2006). El ruido ambiental se compone de muchos sonidos con frecuencias diferentes que ocurren a la vez; unos permanentes durante todo el día como los sonidos de los ríos (rápidos y caídas de agua), y otros

temporales y cambiantes como los cantos de animales nocturnos, la lluvia, el viento, etc. Por lo tanto, además de los sonidos específicos, en muchas especies el sistema auditivo debe estar capacitado para detectar una gama amplia de frecuencias. Esta banda ancha debe abarcar sonidos que se identifiquen como amenazas potenciales; por ejemplo, los ultrasonidos producidos por los murciélagos insectívoros para navegar y buscar alimento en las noches (Belwood y Morris 1987; Faure y Hoy 2000). El oído de los Tettigoniidae ha evolucionado para funcionar de esta forma. El objetivo de este documento es presentar detalladamente la funcionalidad auditiva, haciendo un paralelo entre el oído de los Tettigoniidae y el de los mamíferos.

En los mamíferos, la audición depende de tres etapas vitales en el procesamiento de señales acústicas: 1) Transformación de ondas sonoras de presión en vibraciones mecánicas (mediante una membrana timpánica). 2) Acoplamiento y amplificación de la energía mecánica a través de un mecanismo de palancas (los huesecillos). 3) Análisis de frecuencia y amplificación a nivel neural (Fettiplace y Hackney 2006) (Fig. 1A). El acoplamiento de energía ocurre entre dos medios diferentes, gas (ondas que se desplazan en el aire) y líquido (el fluido coclear) (Palghat Udayashankar *et al.* 2012). Dentro de la cóclea las ondas se propagan en una dirección y se descomponen en sus frecuencias gracias a las propiedades anisotrópicas de la membrana basilar (Ramamoorthy *et al.* 2010; Vater y Kössl 2011). Esto produce un gradiente de selección que hace que las vibraciones se desplacen en el fluido de la cóclea en una sola dirección (Fig. 1B). (Una explicación más detallada de este proceso se ofrece durante el desarrollo de este documento.)

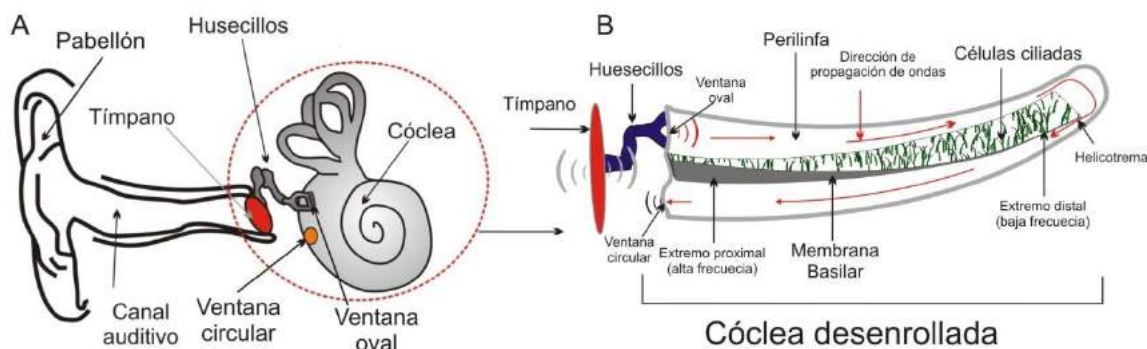


Figura 1. El oído del mamífero. A. Anatomía general del oído humano. B. Versión simplificada del oído mostrando la cóclea extendida para facilitar explicación sobre su funcionalidad (ver texto).

Entre los insectos los mecanismos que determinan la sensibilidad de frecuencia de los receptores auditivos individuales varían. En la langosta (Orthoptera: Acrididae) por ejemplo, la membrana del tímpano, situada en la parte lateral del abdomen, actúa como un filtro mecánico para la descomposición y análisis de frecuencias. La descomposición de frecuencias sonoras a este nivel es posible debido a las propiedades anisotrópicas de la membrana timpánica (Windmill *et al.* 2005). Sin embargo este mecanismo es muy simple debido a que la captura de sonido y análisis de frecuencias sucede en el mismo sitio (la membrana timpánica), por lo tanto tiene muchas

limitaciones. No obstante en el oído de los chapulines o saltamontes (Orthoptera: Tettigoniidae) existen mecanismos de análisis de frecuencia diferentes más complejos (Oldfield 1982; Romer 1983; Montealegre-Z. *et al.* 2012; Palghat Udayashankar *et al.* 2012).

Sistemas auditivos complejos con mecanismo de acoplamiento y conversión de energía acústica aérea y dispersión de ondas en medio líquido, y además capacitados para descomponer frecuencias, se han identificado sólo en los vertebrados superiores, por ejemplo en los mamíferos. Recientemente el autor demostró que los saltamontes neotropicales utilizan un mecanismo de audición análogo al de los mamíferos, en el cual se evidencian los tres pasos cruciales mencionados anteriormente (Montealegre-Z. *et al.* 2012). Lo que constituye un caso trascendental de evolución convergente de la función del oído entre mamíferos y saltamontes. Esta tendencia demuestra que la sensibilidad auditiva y el análisis complejo de frecuencias pueden existir en sistemas auditivos a escalas diminutas, con bases funcionales análogas pero con diferente estructura anatómica.

Anatomía del oído del saltamontes

En los saltamontes cada oído consta de un sistema sofisticado que incluye dos tímpanos: una membrana timpánica anterior y una posterior, situados en la parte proximal de la tibia en cada pata delantera (Fig. 2A). Los tímpanos están apoyados en un tubo lleno de aire derivado del sistema respiratorio (la tráquea acústica), la cual se origina en el espiráculo torácico, desde donde se extiende hacia delante, atravesando la cavidad femoral de la pata delantera, y terminando en la parte proximal de la tibia (Bailey 1993; Schumacher 1973) (Fig. 2A-D). En esta región el tubo traqueal se divide en dos ramas (una anterior y otra posterior), cada una de estas ramificaciones soporta una membrana timpánica (Fig. 2E). Visto en corte transversal este sistema auditivo es asimétrico, la rama traqueal anterior ocupa una gran parte de la superficie dorsal del órgano timpánico (Bailey 1990; Roessler *et al.* 2006) (Fig. 2E). Es en esta superficie triangular donde reposan las células mecanorreceptoras que forman la *crista acústica* (Fig. 2D,E); esta superficie se encuentra inmersa en el fluido contenido en la vesícula auditiva, un órgano de audición recientemente descubierto (Montealegre-Z. *et al.* 2012) (Fig. 2bc). Los mecanorreceptores en la *crista acústica* están organizados tonotópicamente, las células sensoriales que responden a frecuencias altas se encuentran en la parte distal de la *crista acústica* y aquellas con sensibilidad a frecuencias bajas se encuentran en la parte proximal (Oldfield 1982; Romer 1983) (Fig. 2D). Sin embargo, estas células sensoriales no están directamente en contacto con los tímpanos como ocurre en otros insectos con capacidades auditivas (por ejemplo, las langostas y las polillas) (Yack 2004; Robert 2005). La transformación de las ondas sonoras en señales neuronales y el análisis de frecuencia por lo tanto no se producen en la membrana timpánica en sí. En los Tettigoniidae las vibraciones sonoras se transmiten desde el tímpano hacia la vesícula auditiva usando como mecanismo de acoplamiento una estructura esclerotizada (la placa timpánica) que conecta el tímpano con la vesícula auditiva (Fig. 2C-E). Las frecuencias de estas vibraciones se descomponen subsecuentemente a nivel de la vesícula auditiva y la *crista acústica*. Esto indica que el acople y

transmisión de energía se da de aire a líquido y que las vibraciones se propagan en el medio líquido en un gradiente que coincide con la organización tonotópica de *crista acústica*. En otras palabras, las ondas viajan en el líquido que cubre la *crista acústica*, exactamente de la zona de alta frecuencia hacia la zona de baja frecuencia, como en la cóclea de los mamíferos (Montealegre-Z. *et al.* 2012; Palghat Udayashankar *et al.* 2012).

En los siguientes segmentos se explica desde un punto de vista comparativo (en relación con oído del mamífero) la estructura y función del oído del saltamontes. Esta explicación se presenta paso a paso siguiendo las tres etapas de procesamiento de sonido vitales en la audición, desde la captación de sonido hasta la descomposición de frecuencias.

Captación del sonido

Diferente del prototipo vertebrado, los oídos de los saltamontes ofrecen dos rutas principales de entrada de sonido: 1. el sonido llega directamente a la superficie externa de la membrana y / o 2. el sonido viaja internamente a través del tubo traqueal que conecta los tímpanos con el espiráculo torácico (Fig. 2A-E). La tráquea acústica representa la ruta principal de entrada de sonido en un gran número de especies (Heinrich *et al.* 1993; Lewis 1974). Sin embargo, las dos rutas de entrada de sonido al tímpano son importantes y ambas producen diferentes modos de amplificación y de velocidad de propagación de sonido. Por ejemplo, las vibraciones que llegan a la superficie externa del tímpano viajan en el aire a la velocidad normal del sonido (340.29 m/s a nivel del mar), pero las que llegan a la superficie interna viajan dentro de la tráquea a una velocidad menor (entre 150 y 250 m/s) (Michelsen *et al.* 1994). Por lo tanto en los saltamontes una señal acústica tiene dos tiempos de llegada al tímpano: el sonido llega primero a la superficie externa del tímpano, y unos milisegundos después el mismo sonido llega a la superficie interna con el efecto de amplificación que ofrece la tráquea acústica.

Es posible que la tráquea acústica de los saltamontes haya evolucionado como una forma de equilibrar la presión atmosférica en ambos lados de los tímpanos, así como las trompas de Eustaquio en artrópodos terrestres. Sin embargo en los mamíferos la entrada principal de sonido es el oído externo; las trompas de Eustaquio no conducen sonidos externos, sino ayudan a equilibrar las presiones de aire en ambas superficies del tímpano. Una vez establecido este mecanismo de equilibrio, subsecuentemente se seleccionó el desarrollo de un sistema traqueal menos ramificado y especializado en un solo tubo que pudo haber favorecido la captación y preamplificación de sonido antes de que este llegara a la superficie interna del tímpano (al igual que el pabellón auricular y el canal auditivo en el ser humano). Este tubo especializado también pudo haber favorecido el mejoramiento de la audición direccional debido a que la diferencia de llegada del sonido a las superficies externa e interna producen contrastes binaurales que permiten identificar la dirección del sonido.

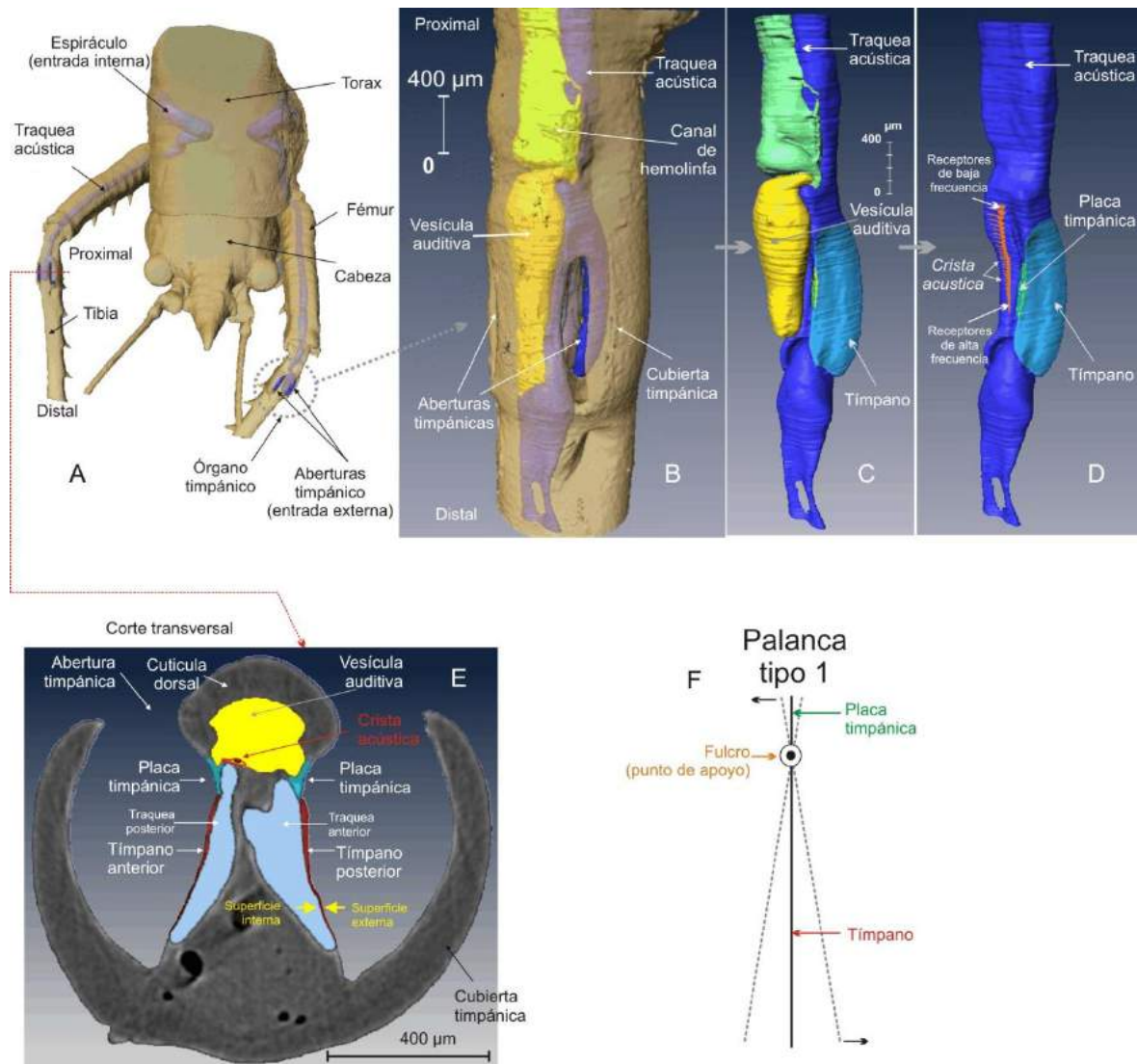


Figura 2. El oído de *Copiphora gorgonensis* (Tettigoniidae) estudiado con micro-tomografía de rayos X. A. Anatomía general mostrando el oído en la parte proximal de la tibia anterior y los dos tímpanos en cada pata. Cada tímpano está respaldado por una cámara de aire o traquea acústica que es un tubo derivado del sistema respiratorio y que abre al exterior en el tórax a través del espiráculo torácico. B. Acercamiento del oído en la pata izquierda mostrando en detalle las aberturas timpánicas y los órganos internos del oído a través del exoesqueleto. C. Estructura interna del oído expuesta mediante la remoción del exoesqueleto de la pata. La vesícula auditiva (en amarillo) es un órgano recientemente descubierto y actúa en consorcio con la crista acústica para descomponer las vibraciones de las ondas de presión en sus respectivas frecuencias. D. La *crista acústica* en la superficie dorsal de la de la división anterior de la traquea expuesta después de remover la vesícula auditiva. E. Corte transversal del oído mostrando la división traqueal, la posición de los tímpanos y las respectivas placas timpánicas con respecto a la *crista acústica* y a la vesícula auditiva. Note el espesor de la cutícula dorsal que protege el fluido de la vesícula auditiva. F. Modelo físico de palanca tipo 1, para representar el movimiento del tímpano y placa timpánica.

Acoplamiento de energía acústica de medio gaseoso a líquido: el oído medio del saltamontes

Una vez que las vibraciones llegan al tímpano estas deben ser transmitidas a un medio líquido para que se dé la descomposición de frecuencias. Este paso es el acoplamiento o transmisión eficiente de las vibraciones que viajan en el aire a las células receptoras inmersas en medio líquido (Montealegre-Z. *et al.* 2012). En los mamíferos esto se consigue mediante los osteocillos óticos, los cuales conectan el tímpano con la cóclea (u oído interno) (Figs. 1, 3). Los osteocillos óticos, son una cadena de tres huesos diminutos denominados por su arquitectura anatómica con el nombre del *Martelus* (martillo), el *Anvilus* (yunque) y el *Estribalis* (estribo). El estribo es el hueso mas pequeño del cuerpo humano y en la cadena de osteocillos éste incrusta en la cóclea a través de una pequeña ventana recubierta por una membrana, la ventana oval (Robles y Ruggero 2001), Fig. 1). La función de los osteocillos óticos (oído medio) es la de transformar las ondas sonoras que viajan en el aire en ondas sónicas que viajen en el medio del líquido perilinfático del oído interno (Bronzino 2006). En el oído medio, la estrecha conexión de estos huesecillos hace que la vibración del martillo se transmite al yunque y este golpea al estribo inmediatamente. Después de este proceso las ondas de presión entran a la cóclea por la ventana oval y crea cambios en la presión del fluido coclear. Debido a que el fluido es incompresible, la energía que no es convertida en impulsos eléctricos se libera por la ventana circular (Figs. 1B, 3C).

El tímpano de los mamíferos posee una gran superficie comparada con el área de la ventana oval, con proporción que varía entre 12.5 y 21.1 (en humanos es cerca de 17), no obstante al vibrar, la fuerza acumulada en la extensa superficie de la membrana timpánica se concentra sobre el área reducida de la membrana oval, lo cual produce un efecto de amplificación de la presión ejercida por el tímpano (Boistel *et al.* 2011). La relación superficie área entre tímpano y membrana oval y el mecanismo de palancas de los huesecillos produce entonces otro nivel de amplificación de energía en los mamíferos (Rosowski 1991; Ruggero y Temchin 2002; Slama *et al.* 2010). Por lo tanto las vibraciones que llegan a la cóclea han pasado previamente por dos niveles de amplificación: el oído externo (pabellón auricular y canal auditivo) que funciona como cuerno exponencial (Ruggero y Temchin 2002), y el oído medio que amplifica mecánicamente la vibraciones y las acopla al oído interno (Purves *et al.* 2012).

Este nivel de acoplamiento también existe en el oído del saltamontes en su esfuerzo de transmisión de energía de aire a líquido (Fig. 3). En los saltamontes esa tarea se realiza mediante la placa timpánica, que es un parche esclerotizado de cutícula derivada de la membrana timpánica (Figs. 2C-E). El área de la membrana timpánica es mayor que el área de contacto con el medio líquido (es decir que el área de la placa timpánica), con una proporción que varía entre 12 y 15 (dependiendo de la especie) (Montealegre-Z. *et al.* 2012). Este valor se encuentra entre el intervalo de proporción estimado entre el tímpano y la ventana oval en mamíferos (Boistel *et al.* 2011).

La función de la placa timpánica que sirve de acople entre el tímpano y el conjunto vesícula auditiva-*crista acustica* en saltamontes, fue descubierta recientemente (Montealegre-Z *et*

al. 2012), lo que explica que su importancia no fuera resaltada en trabajos anteriores relacionadas con este tema (Rossler y Kalmring 1994; Palghat Udayashankar *et al.* 2012). La placa y la membrana timpánica vibran con fase opuesta (Fig. 4A, B); sin embargo, el tímpano vibra con gran desplazamiento y baja fuerza, ejerciendo una fuerza mayor sobre el área diminuta de la placa timpánica, la cual a su vez se mueve con desplazamiento breve (Fig. 4C). Esta acción se da por un sistema de palanca de tipo 1 (Fig. 2F, Montealegre-Z. *et al.* 2012). Dado las proporciones de la membrana y placa timpánicas, este sistema de palanca resulta en una relación de conversión 1:10 entre el esfuerzo (placa timpánica) y de carga (placa-timpánica y fluido).

Se desconoce si la anatomía interna y el mecanismo de conversión de impedancia aquí descritos se da en todas las especies de saltamontes (unas 6500 especies conocidas). El modelo descrito se obtuvo principalmente en una sola especie (*Copiphora gorgonensis*) y se ha confirmado en tres más.

En estas cuatro especies de saltamontes la membrana y la placa timpánicas están asociadas anatómicamente pero son estructuras claramente distintas. En *C. gorgonensis* la membrana timpánica es delgada (6-16 micras) y ambas superficies de la membrana están en contacto con el aire del medio que las rodea. Por otro lado la placa timpánica es más gruesa (20-30µm) y a diferencia de la membrana timpánica, la superficie externa está en contacto con el aire del medio y la interna con el fluido de la vesícula auditiva (Figs. 2E, 3C).

El contorno de toda la membrana timpánica es claramente en forma de riñón en las especies de saltamontes que han sido estudiadas (Figs. 4A, B). La placa timpánica esta situada cerca de la curvatura dorsal de este contorno y conecta con el segmento más distal de la superficie de la *crista acustica* (Fig. 2C-E). La mecánica vibratoria del tímpano, obtenida mediante vibrometría láser, indica que esta forma específica de riñón puede servir para canalizar las vibraciones del tímpano hacia placa timpánica, la cual a su vez se comunica con la vesícula auditiva. Membranas timpánicas en forma de riñón, observadas en algunas estas especies de saltamontes pero ausentes en otras, podrían ser indicio de este elaborado sistema conversión de impedancia y análisis de frecuencia.

Descomposición espectral y ondas de propagación en medio líquido: el oído interno del saltamontes

Para llevar a cabo el análisis de frecuencia (o análisis espectral) los oídos cuentan con células receptores individuales que se encuentran por lo general inmersas en fluido, las cuales además presentan respuesta natural y sensibilidad a ciertas frecuencias (Purves *et al.* 2012). La respuesta y especialización de cada célula está directamente relacionada con su ubicación dentro del órgano receptor y se conoce como tonotopía. El ejemplo más conocido es la organización tonotópica que incrementa la sensibilidad a diferentes frecuencias a lo largo de la membrana basilar en la cóclea de los mamíferos (Robles *et al.* 1986). Por organización tonotópica se entiende que cada célula ciliada en la membrana basilar responde a una frecuencia específica de acuerdo

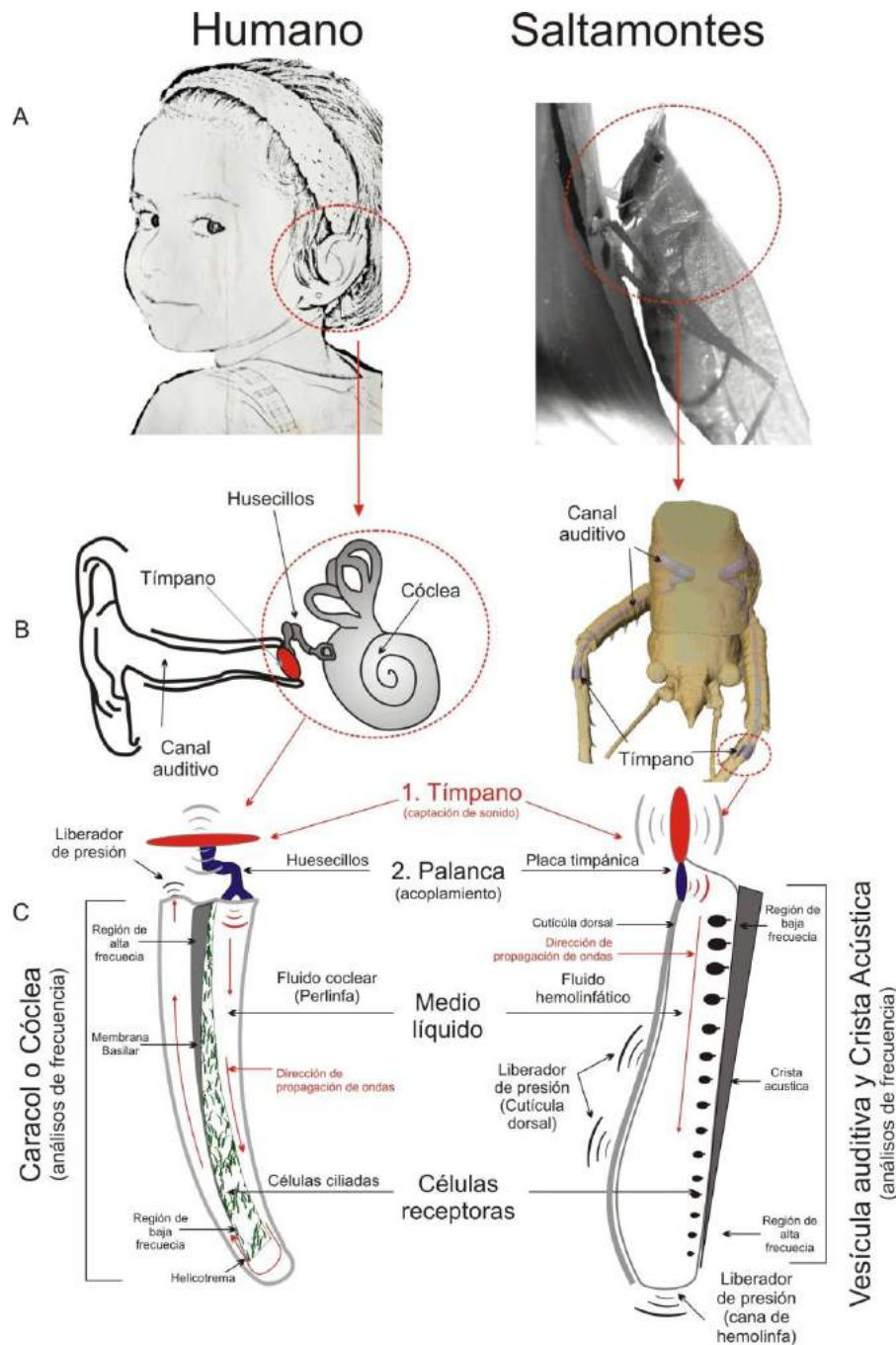


Figura 3. Anatomía comparada del oído del saltamontes y el del mamífero. A. Ubicación del oído en ambos organismos. En los mamíferos los oídos se encuentran en el cráneo, y en los saltamontes en las patas anteriores. B. Anatomía general del oído en ambos grupos. Ambos organismos tienen adaptaciones para recolectar y preamplificar las vibraciones sonoras que viajan en el aire (un canal auditivo). C. Representación gráfica del funcionamiento del oído en ambos grupos. Ambos organismos utilizan los tres pasos básicos de procesamiento auditivo de señales acústicas. 1. Captación de sonido y preamplificación, 2) Conversión de impedancia y segundo estado de amplificación (transmisión de energía acústica de medio gaseoso a líquido), 3) Análisis de frecuencia y tercer estado de amplificación.

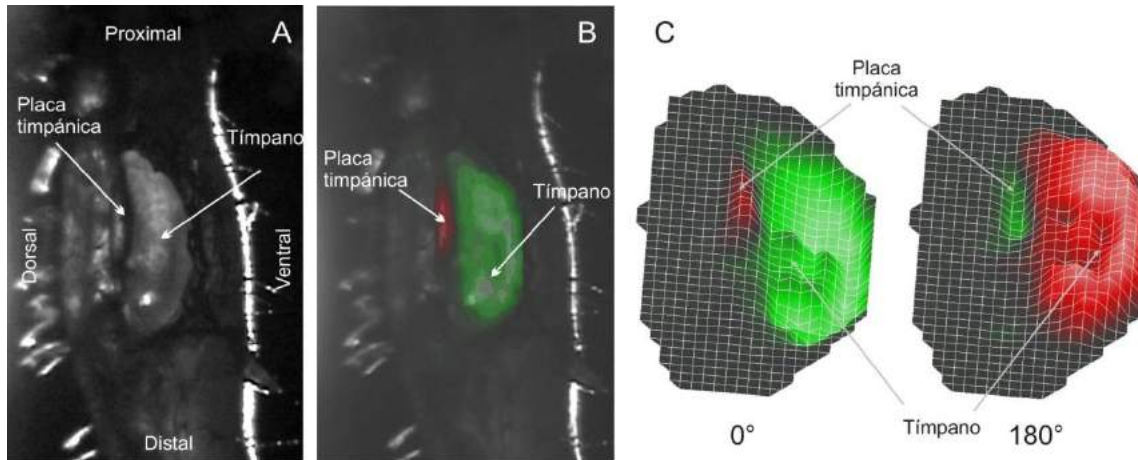


Figura 4. Anatomía externa del tímpano. A. Tímpano anterior de la pata derecha, expuesto mediante la eliminación de la cubierta timpánica; note la forma de riñón del tímpano y su asociación con la placa timpánica. B. Mapa de vibración del tímpano y la placa timpánica. El color rojo indica fase positiva, y el verde fase negativa. Las dos estructuras, tímpano y placa timpánica vibran con fase opuesta de 180 grados. C. Mapa de vibración en 3D obtenido con vibrometría Laser.

con su ubicación a lo largo de la membrana basilar. En la cóclea las células ciliadas sensoriales se distribuyen como un conjunto ordenado lineal a lo largo de la membrana basilar. La membrana basilar presenta un gradiente de rigidez, anchura y grosor, siendo angosta y gruesa en su parte proximal y más ancha y delgada en su parte distal (Figs. 1, 3C). La región proximal por lo tanto presenta resonancia a frecuencias altas y la región distal a frecuencias bajas (Robles *et al.* 1986; 1988; 1997). De acuerdo con este gradiente, los receptores sensibles a frecuencias altas están situados en el extremo proximal y los sensibles a frecuencias bajas en el extremo distal de la membrana basilar (Fig. 3C). Los receptores de frecuencias intermedias yacen entre estos dos extremos. Aunque es la membrana basilar la que analiza y descompone las frecuencias de las ondas de presión, las células que en realidad decodifican esta información y la envían al cerebro se encuentran en el órgano de Corti. El órgano de Corti tiene estructuras altamente especializadas que responden a las vibraciones transmitidas por el fluido en la cóclea y contiene entre 15.000-20.000 receptores del nervio auditivo y cada receptor tiene su propia célula ciliada (Greenberg 1997; Elliott y Shera 2012).

El oído interno del saltamontes lo integran la *crista acústica* y la vesícula auditiva que baña las células mecanorreceptoras organizadas tonotópicamente (Figs. 2C, D). La vesícula auditiva forma una cavidad parcialmente encerrada, la cual es angosta y ciega en su extremo distal y expandida y abierta en su extremo proximal; donde conecta con el canal principal de hemolinfa (hemolinfa es la sangre del insecto) a través de una constricción de diámetro variable en las diferentes especies (Fig. 2C). En las cuatro especies neotropicales estudiadas a fondo por el grupo de investigación del autor, generalmente se ha observado que los dos extremos de la vesícula

auditiva llevan cada uno un tapón de material coloidal; actualmente se desconoce la naturaleza y función de esta estructura.

Como observa en la figura 2D, la superficie de la *crista acustica* es triangular y algo convexa, angosta en su parte distal y ancha en su parte proximal. La vesícula toma esta misma forma debido a que ésta cubre la superficie de la *crista acustica*, pero su forma es mas globular y voluminosa que plana (Fig. 2C). La cercana asociación entre la vesícula auditiva y *crista acustica* no se conocía antes debido a que tradicionalmente la cavidad de la vesícula era considerada simplemente como una continuación del canal hemolinfático en la pata anterior (Rossler *et al.* 1994; Palghat Udayashankar *et al.* 2012). La vesícula auditiva es un componente importante del órgano de audición del saltamontes porque ésta proporciona un medio adecuado para la propagación de ondas y además facilita la descomposición de frecuencias y produce un paso adicional en la amplificación. La evacuación del fluido de la vesícula altera notablemente el sistema, por ejemplo cambia la fase de vibración del tímpano y de la respectiva placa timpánica, afecta negativamente la propagación de ondas y al parecer reduce la respuesta eléctrica de las células receptoras de la *crista acustica* (datos del autor aun no publicados). Esto sugiere que además de proporcionar estabilidad hidrostática, la vesícula auditiva posee una composición química especial. Análisis preliminares de la composición química de la vesícula auditiva indican que su fluido no es hemolinfa, sino que contiene lípidos y quizás cationes que facilitan la propagación de las ondas y la transmisión eléctrica de estas a las células receptoras (Lomas *et al.* 2012; Montealegre-Z. *et al.* 2012). Lo cual indica que puede existir otro nivel de convergencia con el fluido perilinfático y endolinfático de la cóclea de los mamíferos.

Georg von Békésy fue galardonado con el Premio Nobel en 1961 por su descubrimiento de ondas de propagación (o viajeras) en la cóclea humana, realizando experimentos en cadáveres humanos frescos (von Békésy, 1960). Posteriormente, la existencia de ondas de propagación en vivo ha sido demostrada indirectamente en una amplia gama de especies animales (ej., Greenberg 1997; Robles y Ruggero 2001; Elliott y Shera 2012), en el oído del saltamontes se ha demostrado el mismo fenómeno (Montealegre-Z. *et al.* 2012; Palghat Udayashankar *et al.* 2012).

En el oído de los Tettigoniidae, una vez las vibraciones del tímpano han sido transmitidas a la vesícula auditiva, las ondas de presión viajan en una sola dirección desde la parte distal hasta la parte proximal de la vesícula. En otras palabras, las ondas se propagan desde la región más estrecha de la *crista acustica* (extremo distal) hacia su región ancha mas proximal. Las ondas de frecuencias altas transmiten mejor en el extremo estrecho, y las células de frecuencias bajas en el otro; como el la cóclea del mamífero se observa especialización en frecuencias intermedias entre los dos extremos (Montealegre-Z. *et al.* 2012; Palghat Udayashankar *et al.* 2012). Este gradiente y la dirección de propagación corresponde a la ubicación de las células receptores que se encuentran organizadas tonotópicamente: receptores con sensibilidad a frecuencias altas yacen en la parte angosta y distal de la superficie de la *crista acustica* mientras que aquellos con sensibilidad a frecuencias bajas se localizan en la parte ancha y proximal (Fig. 2D). Aunque no se tiene evidencia concreta de la estructura de la superficie traqueal que forma la *crista acustica*,

estudios con microtomografía de rayos X en las 4 especies estudiadas muestran que esta pared traqueal es más gruesa en su extremo angosto (extremo distal) que en su extremo ancho o parte proximal (Montealegre-Z. *et al.* en preparación). Por lo tanto la superficie de la *crista acustica* parece funcionar como la membrana basilar en la cóclea de los mamíferos: una estructura laminar con anisotropía mecánica que produce el gradiente tonotópico que se conoce. Como se explicó antes, la dispersión de ondas en la cóclea del mamífero se debe al acoplamiento entre el fluido coclear y la estructura de la membrana basilar; este acople y dependencia se observa también entre la *crista acustica* y el fluido de la vesícula auditiva (Figs. 3C, D).

Debido al complejo enrollamiento de la cóclea en los mamíferos la propagación de ondas en el fluido coclear se ha inferido con métodos indirectos y no mediante acceso directo, esto con el fin de reducir el riesgo de invasión y daño (Palghat Udayashankar *et al.* 2012). En los saltamontes el oído interno no es enrollado en forma de caracol sino lineal, lo cual facilita el acceso para monitorear la dispersión de ondas. Además la estructura y composición del oído en muchas especies permite acceder a estas vibraciones internas a través del exoesqueleto (cutícula dorsal) (Figs. 2E, 3C). Por lo tanto en los saltamontes es posible estudiar la dinámica del fluido del oído interno de una forma que es 100% no invasiva. Por ejemplo, la dispersión de ondas en el fluido de la vesícula auditiva se ha estudiado usando vibrometría láser y las vibraciones se pueden monitorear a través de la cutícula dorsal que protege la vesícula auditiva (Montealegre-Z. *et al.* 2012). Este método no requiere de la destrucción de la cutícula ni de la evacuación del fluido de la vesícula auditiva para exponer la superficie de la *crista acustica*. Estos resultados resaltan la importancia de la vesícula auditiva como medio de dispersión y potencialmente como medio de transmisión eléctrica, al igual que el fluido coclear. En los mamíferos, la remoción o alteración en la composición bioquímica del fluido coclear produce trastornos serios en la audición (Horner y Barkway 1986; Horner y Cazals 1990; Horner 1991) y es posible que el los saltamontes tenga el mismo resultado.

Sistema de disipación de las ondas de presión a través del medio líquido del oído

En el oído de los mamíferos, las vibraciones transmitidas por la cadena de huesecillos a la ventana oval causan un cambio en la presión del fluido coclear. Puesto que los fluidos son incompresibles, los cambios de presión dentro del fluido coclear se deben compensar de alguna forma. Estos cambios de presión se liberan a través de la ventana circular (Fig. 1). Las vibraciones que entran por la ventana oval se transmiten en el fluido coclear desde la rampa vestibular hasta la rampa timpánica a través del helicotrema. Esto ayuda a conducir la energía de las ondas de presión (que no son convertidas en sonido por las células receptoras de la membrana basilar) hacia la ventana circular que, por su capacidad de plegarse, disipa esta energía (Wit *et al.* 2003). Por lo tanto, la ventana circular vibra con fase opuesta a la ventana oval; es decir una presión hacia dentro de la ventana oval se refleja como una presión hacia afuera de la ventana circular (Figs. 1, 3C).

En el saltamontes las vibraciones y las ondas que viajan en el oído interno se pueden registrar a través de la cutícula dorsal que protege la vesícula auditiva usando vibrometría láser (Montealegre-Z. *et al.* 2012). Esto es realmente sorprendente, pues esta cutícula es 10-20 veces más gruesa que las mismas membranas timpánicas (Fig. 2E) y sin embargo vibra (Montealegre-Z. *et al.* 2012). La respuesta vibratoria y actividad de la vesícula es casi tres veces más alta que la de los tímpanos. Por supuesto los resultados presentados por Montealegre-Z. *et al.* (2012) pueden ser subestimados de valores reales, debido a que las vibraciones de la vesícula auditiva han sido evaluadas a partir de las ondas de dispersión que viajan entre dos medios diferentes (el fluido de la vesícula y la cutícula esclerotizada del exoesqueleto). Lo cierto es que estas vibraciones son el resultado de los niveles de amplificación proporcionados por la acción de palanca de la placa timpánica (Figs. 2F, 4C) y por el fluido de la vesícula auditiva. Es racional preguntarse cómo y por qué la gruesa cutícula (Fig. 2E) que protege el órgano de la audición del saltamontes vibra. Es claro que debe haber un mecanismo de acople entre la cutícula y la vesícula auditiva, sin embargo es importante también observar la analogía de este fenómeno con el mecanismo de liberación o dispersión de ondas de presión acumuladas en el fluido de la cóclea de los mamíferos, el cual se explicó anteriormente.

La vesícula auditiva del saltamontes es ciega en un extremo, mientras que el otro extremo es abierto, presentando generalmente una estrecha conexión con el canal de hemolinfa (Fig. 2C). Esta conexión está además acompañada por un tapón de material coloidal. Como fluido, el líquido de la vesícula auditiva no se puede comprimir, por lo tanto cualquier cambio en la presión debe ser equilibrado en forma de disipación o liberación de energía. Este proceso de disipación en el oído interno del saltamontes se da a través de la cutícula dorsal y a través del canal de hemolinfa en la pata del insecto (Fig. 3C). La cantidad de energía disipada en cada medio (cutícula o canal de hemolinfa) puede variar entre diferentes especies y quizás este relacionada con el grado de estrechez de la conexión que comunica la vesícula con el canal de hemolinfa. Por ejemplo, cuando esta conexión es muy angosta se esperaría que las ondas de presión se disipen mejor hacia la cutícula dorsal. Los tettigonidae son un grupo muy diverso, con cerca de 7000 especies conocidas, por lo tanto sería muy probable encontrar muchas variaciones en el sistema auditivo y por supuesto en el de disipación de ondas de propagación en el oído. Pero en las especies estudiadas desde este punto de vista, esta hipótesis explicaría la alta resolución de las vibraciones obtenidas con vibrometría láser (Montealegre-Z. *et al.* 2012) las cuales, vistas a través de la cutícula dorsal, muestran claramente el movimiento de ondas viajando en el fluido de la vesícula. Por lo tanto, la cutícula dorsal y el canal de hemolinfa sirven como un medio dispersivo para liberar la energía acústica en el oído interno del saltamontes, desempeñando el papel de la ventana circular en la cóclea de los mamíferos.

Diferencias entre los dos sistemas de audición (mamífero y saltamontes)

Se han mostrado aquí las similitudes funcionales entre el oído de los mamíferos y el oído de los saltamontes; sin embargo, es primordial resaltar las diferencias entre los dos sistemas. Las diferencias más notables son topología y simplicidad. *Topología*: el oído del saltamontes se encuentra en las patas delanteras, mientras que en los vertebrados se encuentra en el cráneo (Fig. 3A). *Simplicidad*: mientras que en los mamíferos la membrana basilar puede contener miles de células sensoriales en la cóclea del mamífero (Fettiplace y Hackney 2006; Ashmore 2008; Elliott y Shera 2012) (> 11,000 en la cóclea humana) en una disposición lineal de varios milímetros, la superficie de la *crista acústica* del saltamontes tiene entre 15 y 70 células sensoriales distribuidas en una serie lineal de 400 - 600 micras (Fig. 2d). La palabra "Simplicidad" debe usarse con cautela en este caso, pues debido a que el oído de los Tettogoniidae es diminuto no se ha explorado en su totalidad y es posible que el funcionamiento de este requiera de mecanismos más complejos que los que se conocen hasta ahora.

Otro aspecto importante que merece referencia es que cada oído del saltamontes consta de dos membranas timpánicas (Fig. 2E), en comparación con el oído de los mamíferos que tiene una (Fig. 1). La presencia de dos membranas timpánicas en cada oído contribuye a mejorar la sensibilidad global de la audición en los saltamontes, doblando la fuerza de conversión transmitida a los mecanorreceptores.

Finalmente es importante señalar que los saltamontes requieren de un mecanismo especial que les permita reconocer la dirección de la fuente sonora debido al tamaño reducido de su cuerpo. Aún cuando los órganos timpánicos se encuentren separados por la distancia entre cada pata (la cual es mayor que la distancia que habría si los oídos estuvieran situados en la cabeza, como en los mamíferos), estos insectos deben estimar la diferencia en tiempo y en amplitud de la vibración entre los oídos de cada pata. En estos insectos este mecanismo se basa en identificar las diferencias de presión entre cada una de las superficies del tímpano (interna y externa) expuesta al sonido. El sonido llega primero a la superficie externa que a la interna debido a que dentro de la tráquea la velocidad del sonido se reduce hasta en un 50%. Además, debido al efecto de amplificación exponencial de la tráquea acústica, la presión es mayor en el lado interno que en el externo. Por lo tanto, el órgano timpánico del saltamontes y el cerebro deben analizar todas estas variables para detectar la dirección y distancia de la fuente sonora. El oído de los mamíferos es un receptor de presión normal, con una sola cara (la superficie externa) expuesta al sonido. La dirección del sonido en este caso se determina por la distancia entre los dos oídos y el efecto de sombra que impone la cabeza. En el primer caso se establecen diferencias temporales entre los dos oídos, mientras que en el segundo prima la dispersión de sonido alrededor de la cabeza lo cual produce diferencias de presión en cada lado.

Literatura citada

- ASHMORE, J. 2008. Cochlear outer hair cell motility. *Physiological Reviews* 88, 173-210.
- BAILEY, W.J. 1990. The ear of the bushcreeper. In: Bailey, W.J. Rentz, D.C.F., (Eds.) *The tettigoniidae. Biology, systematics and evolution*. Crawford House Press, Bathurst, Australia, 217-247 p.
- BAILEY, W.J. 1993. The tettigoniid (Orthoptera, Tettigoniidae) ear - multiple functions and structural diversity. *International Journal of Insect Morphology and Embryology* 22: 185-205.
- BELWOOD, J.J.; MORRIS, G.K. 1987. Bat predation and its influence on calling behavior in neotropical katydids. *Science* 238, 64-67.
- BOISTEL, R.; AUBIN, T.; CLOETENS, P.; LANGER, M.; GILLET, B.; JOSSET, P.; POLLET, N.; HERREL, A. 2011. Whispering to the deaf: Communication by a frog without external vocal sac or tympanum in noisy environments. *Plos One* 6.
- BRADBURY, J.W.; VEHCENCAMP, S.L. 1998. *Principles of animal communication*. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts.
- BRONZINO, J.D. 2006. *Biomedical engineering fundamentals*. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL.
- ELLIOTT, S.J.; SHERA, C.A. 2012. The cochlea as a smart structure. *Smart Materials and Structures* 21.
- FAURE, P.A.; HOY, R.R. 2000. The sounds of silence: Cessation of singing and song pausing are ultrasound-induced acoustic startle behaviors in the katydid *neoconocephalus ensiger* (Orthoptera; tettigoniidae). *Journal of Comparative Physiology a-Sensory Neural and Behavioral Physiology* 186: 129-142.
- FETTIPLACE, R.; HACKNEY, C.M. 2006. The sensory and motor roles of auditory hair cells. *Nature Reviews Neuroscience* 7: 19-29.
- GREENBERG, S. 1997. The significance of the cochlear traveling wave for theories of frequency analysis and pitch. In: Lewis, E.R., Steele, C.; Lyon, R.F. (Eds.) *Diversity in auditory mechanics*. World Scientific Publishing, Singapore, 1-8 p.
- HEINRICH, R.; JATHO, M.; KALMRING, K. 1993. Acoustic transmission characteristics of the tympanal tracheas of bush-crickets (Tettigoniidae) .2. Comparative-studies of the tracheas of 7 species. *Journal of the Acoustical Society of America* 93: 3481-3489.
- HORNER, K.C. 1991. Old theme and new reflections - hearing impairment associated with endolymphatic hydrops. *Hearing Research* 52: 147-156.
- HORNER, K.C.; BARKWAY, C. 1986. Central auditory function in a hearing-impaired white-mouse. *Hearing Research* 23: 71-79.
- HORNER, K.C.; CAZALS, Y. 1990. Alterations of cap audiogram by increased endolymphatic pressure and its relation to hydrops. *Hearing Research* 45: 145-150.
- LANG, A.B.; KALKO, E.K.V.; ROMER, H.; BOCKHOLDT, C.; DECHMANN, D.K.N. 2006. Activity levels of bats and katydids in relation to the lunar cycle. *Oecologia* 146: 659-666.
- LEWIS, D.B. 1974. The physiology of the tettigoniid ear. I. The implications of the anatomy of the ear to its function in sound reception. *Journal of Experimental Biology* 60: 821-837.
- LOMAS, K.F.; GREENWOOD, D.R.; WINDMILL, J.F.C.; JACKSON, J.C.; CORFIELD, J.; PARSONS, S. 2012. Discovery of a lipid synthesising organ in the auditory system of an insect. *Plos One* 7, e51486.

- MICHELSSEN, A.; HELLER, K.G.; STUMPNER, A.; ROHRSEITZ, K. 1994. A new biophysical method to determine the gain of the acoustic trachea in bush-crickets. *Journal of Comparative Physiology A Sensory Neural and Behavioral Physiology* 175: 145-151.
- MONTEALEGRE-Z, F. 2009. Scale effects and constraints for sound production in katydids (Orthoptera: Tettigoniidae): Generator morphology constrains signal parameters. *Journal of Evolutionary Biology* 22, 355–366.
- MONTEALEGRE-Z, F.; JONSSON, T.; ROBSON-BROWN, K.A.; POSTLES, M.; ROBERT, D. 2012. Convergent evolution between insect and mammalian audition. *Science* 338: 968-971.
- MORRIS, G.K. 1999. Song in arthropods. In: Davey, K.G., (Ed.) *Encyclopedia of reproduction*. Academic Press, San Diego 508–517 p.
- OLDFIELD, B.P. 1982. Tonotopic organization of auditory receptors in tettigoniidae (Orthoptera, Ensifera). *Journal of Comparative Physiology* 147: 461-469.
- PALGHAT UDAYASHANKAR, A.; KÖSSL, M.; NOWOTNY, M. 2012. Tonotopically arranged traveling waves in the miniature hearing organ of bushcrickets. *Plos One* 7, e31008.
- PURVES, D.; AUGUSTINE, G.J.; FITZPATRICK, D.; HALL, W.C.; LAMANTIA, A.S.; MCNAMARA, J.O.; WHITE, L.E. 2012. *Neuroscience*. Sinauer Associates, Sunderland, MA.
- RAMAMOORTHY, S.; ZHA, D.-J.; NUTTALL, A.L. 2010. The biophysical origin of traveling-wave dispersion in the cochlea. *Biophysical Journal* 99: 1687-1695.
- ROBERT, D. 2005. Directional hearing in insects. In: Popper, A.N.; Fay, R.R. (Eds.) *Sound source localization*. Springer-Verlag New York, 6-35 p.
- ROBINSON, D.J.; HALL, M.J. 2002. Sound signalling in Orthoptera. *Advances in Insect Physiology* 29, 151-278.
- ROBLES, L.; RUGGERO, M.A. 2001. Mechanics of the mammalian cochlea. *Physiological Reviews* 81, 1305-1352.
- ROBLES, L.; RUGGERO, M.A.; RICH, N.C. 1986. Basilar-membrane mechanics at the base of the chinchilla cochlea. 1. Input-output functions, tuning curves, and response phases. *Journal of the Acoustical Society of America* 80: 1364-1374.
- ROBLES, L.; RUGGERO, M.A.; RICH, N.C. 1988. Nonlinear-interactions in the mechanical response of the cochlea to 2-tone stimuli. *Archivos de Biología y Medicina Experimentales* 21: R326-R326.
- ROBLES, L.; RUGGERO, M.A.; RICH, N.C. 1997. Two-tone distortion on the basilar membrane of the chinchilla cochlea. *Journal of Neurophysiology* 77: 2385-2399.
- ROESSLER, W.; JATHO, M.; KALMRING, K. 2006. The auditory-vibratory sensory system in bushcrickets. In: DROSOPOULOS, S.; CLARIDGE, M. (Eds.) *Insect sounds and communication: Physiology, behaviour, ecology and evolution*. Taylor & Francis, London, 35-69 p.
- ROMER, H. 1983. Tonotopic organization of the auditory neuropil in the bushcricket tettigonia-viridissima. *Nature* 306: 60-62.
- ROSOWSKI, J.J. 1991. The effects of external-ear and middle-ear filtering on auditory threshold and noise-induced hearing-loss. *Journal of the Acoustical Society of America* 90: 124-135.
- ROSSLER, W.; HUBSCHEN, A.; SCHUL, J.; KALMRING, K. 1994. Functional-morphology of bush-cricket ears - comparison between 2 species belonging to the phaneropterinae and decticinae (insecta, ensifera). *Zoomorphology* 114: 39-46.

- ROSSLER, W.; KALMRING, K. 1994. Similar structural dimensions in bush-cricket auditory organs in spite of different foreleg size - consequences for auditory tuning. *Hearing Research* 80, 191-196.
- RUGGERO, M.A.; TEMCHIN, A.N. 2002. The roles of the external, middle, and inner ears in determining the bandwidth of hearing. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 99: 13206-13210.
- SCHUMACHER, R. 1973. Morphologische untersuchungen der tibialen tympanalorgane von neun einheimischen laubheuschrecken-arten (orthopter, tettigonioidea). *Zeitschrift fur Morphologie* 75: 267-282.
- SLAMA, M.C.C.; RAVICZ, M.E.; ROSOWSKI, J.J. 2010. Middle ear function and cochlear input impedance in chinchilla. *Journal of the Acoustical Society of America* 127: 1397-1410.
- VATER, M.; KÖSSL, M. 2011. Comparative aspects of cochlear functional organization in mammals. *Hearing Research* 273: 89-99.
- VON BÉKÉSY, G. 1960. *Experiments in hearing*. McGraw-Hill, New York.
- WINDMILL, J.F.C.; GOPFERT, M.C.; ROBERT, D. 2005. Tympanal travelling waves in migratory locusts. *Journal of Experimental Biology* 208: 157-168.
- WIT, H.P.; FEIJEN, R.A.; ALBERS, F.W.J. 2003. Cochlear aqueduct flow resistance is not constant during evoked inner ear pressure change in the guinea pig. *Hearing Research* 175: 190-199.
- YACK, J.E. 2004. The structure and function of auditory chordotonal organs in insects. *Microscopy Research and Technique* 63. 315-337.

Microbiología y entomología: ¿Qué podemos aprender desde la ecología química?

Jorge Alberto Molina¹

¹ Ph. D. Universidad de los Andes, Bogotá, D.C.

Introducción

Las células procariotas son los organismos vivos más abundantes en la naturaleza (Curtis *et al.* 2002; Torsvik *et al.* 2002). Pueden ser encontrados en hábitats extremos y no extremos del planeta (Madigan y Marrs 1997) e interactuando de diversas maneras con otros procariotas o eucariotas (Peleg *et al.* 2008; Kai *et al.* 2009).

Una pregunta que se formula constantemente cuando se comienza a profundizar en las interacciones que involucran procariotas es: ¿qué compuestos químicos son utilizados como intermediarios en dichas interacciones? Para muchos microbiólogos no es raro reconocer que las bacterias tienen un olor (Schulz y Dikschaft 2007; Bailly y Weisskopf 2012) y a partir de esta experiencia sensorial no es difícil imaginarse que estos compuestos volátiles emitidos por las bacterias como parte de su metabolismo pueden estar directamente involucrados en procesos que median la comunicación entre organismos de diferentes o de la misma especie (Kai *et al.* 2009).

Por su parte, dentro de los eucariotas los organismos más abundantes son los insectos (Grimaldi y Engel 2005), quienes también pueden ser encontrados en diversos hábitats del planeta y sobreviviendo a diferentes condiciones extremas (Bale 1996; Strathdee y Bale 1998; Watanabe *et al.* 2002). Desde el punto de vista de las interacciones entre insectos con otros organismos sobresalen aquellas que llevan a cabo con bacterias simbióticas (Werren 1997), con levaduras (Witzgall *et al.* 2012) y con las plantas como polinizadores (Bourke *et al.* 2013).

En el caso de los insectos la pregunta que siempre está relacionada con las interacciones con otros organismos es: ¿cómo detectan los insectos las señales químicas que juegan un papel en su ecología? Para los entomólogos las capacidades olfativas de los insectos son ampliamente reconocidas y para entender el funcionamiento de este sistema sensorial la mayoría de las investigaciones se han centrado en las antenas como órganos quimiorreceptores presentes en los insectos (Grimaldi y Engel 2005; Bőroczi *et al.* 2013).

Para hacernos una idea de la complejidad del mundo químico al que están expuestos los sistemas sensoriales de los insectos podemos tomar como ejemplo una casa normal y observar todos los elementos que se encuentran en el comedor. Para nosotros los humanos el pobre olor de este ambiente en realidad es un espacio de olores muy complejo que comprende un amplio rango de volátiles desde la perspectiva de la antena de una mosca (Stensmyr 2004).

Acerquémonos al frutero de la mesa y los aproximadamente 230 volátiles emitidos por un banano, o los 200 emitidos por una piña se convertirán en una sinfonía de olores que aumentará en la medida que las frutas vayan madurando y pasen de alcoholes y aldehídos en las fases verdes del fruto a los ésteres típicos de las fases maduras (Stensmyr 2004). Finalmente, se espera que con la degradación de la fruta se obtenga una mezcla de diferentes clases de compuestos productos del metabolismo de los microorganismos actuando sobre el recurso (Stensmyr 2004).

Así como en el ejemplo anterior, el objetivo de esta revisión es relacionar la microbiología con la entomología y para ello vamos a poner a interactuar los olores emitidos por los procariotas durante su metabolismo con las capacidades de detección de dichas moléculas volátiles por las antenas de los insectos. Para lograr esto voy a llamar la atención sobre el papel de las sustancias volátiles emitidas por bacterias como intermediarios en diferentes interacciones biológicas que involucran insectos. Como se verá en algunos de los ejemplos que se van a abordar a continuación, las interacciones son diversas, pero en todas, los dos grupos de organismos más diversos y abundantes en el planeta resaltan la importancia de la ecología química como una disciplina multidisciplinaria e integradora con un amplio potencial de investigación a futuro y con la ventaja de aportar al desarrollo de soluciones prácticas a problemas agrícolas, forenses y de transmisión de enfermedades tropicales.

Ecología química y detritívoros

Un vertebrado muerto tiene una sucesión faunística compleja y dependiente del tiempo que está compuesta por aves, mamíferos omnívoros e insectos (Paczkowski y Schütz 2011). Sin embargo, con respecto a las sucesiones microbiológicas que se pueden encontrar en los cadáveres de vertebrados la literatura experimental existente es poca (Hopkins *et al.* 2000).

A pesar de este hecho, es claro que los microorganismos juegan un papel muy importante como recicladores en los ecosistemas al degradar materia orgánica e inorgánica (Paczkowski y Schütz 2011). En estos procesos de degradación las reacciones químicas catalizadas por enzimas microbianas liberan compuestos orgánicos volátiles como productos intermedios o terminales (Paczkowski y Schütz 2011). Debido a que las reacciones de descomposición dependen de la temperatura del hábitat, de la composición del material a degradar y de la competencia entre diferentes especies de microbios (Kai *et al.* 2009), los patrones de liberación de los volátiles es bastante compleja (Vass *et al.* 2008; Paczkowski y Schütz 2011).

Dentro de la gran diversidad de compuestos volátiles liberados por procesos bacterianos sobresalen los alcoholes, ácidos orgánicos, ésteres, aldehídos, cetonas y compuestos aromáticos. Sin embargo, tal vez las moléculas volátiles más reconocidas durante el proceso de descomposición de un vertebrado son los compuestos nitrogenados productos de la actividad bacteriana al descomponer proteínas, como por ejemplo los compuestos poco volátiles conocidos como cadaverina y putrescina (Statheropoulos *et al.* 2007; Paczkowski y Schütz 2011).

Estos compuestos son no solo atractivos para insectos que buscan poner sus huevos en los cadáveres, sino que también son utilizados por diferentes plantas para asegurar su polinización. Como ejemplos que nos ayudan a ilustrar el caso tenemos las flores e inflorescencias más grandes del planeta (*Rafflesia* sp. y *Amorphophalus titanum* respectivamente) y también algunas otras flores que no solo por su bizarra forma son llamativas, sino también por su fuerte bouquet de olores que recuerdan un cadáver en descomposición (Stensmyr *et al.* 2002). Los volátiles producidos por la flor actúan como mensaje para atraer insectos y capturarlos temporalmente en la flor para asegurar su polinización (Stensmyr *et al.* 2002; Stensmyr 2004). Finalmente, este interesante sistema de polinización tiene como elemento adicional el engaño al que es sometido un grupo de insectos, a los cuales sus sistemas sensoriales les indican que se está acercando a un cadáver, cuando en realidad su comportamiento está contribuyendo silenciosamente a un caso de reproducción sexual en el cual el insecto no recibe ningún tipo de retribución por la labor llevada a cabo (Stensmyr 2004).

Una de las aplicaciones más importante del estudio de las interacciones bacteria-insectos en cadáveres en descomposición es la relacionada con la emisión de compuestos volátiles y como estos pueden ayudar a determinar el intervalo postmortem durante las investigaciones de crímenes (Paczkowski y Schütz 2011). La lógica detrás de la ecología química del proceso es que varios autores sugieren que patrones dinámicos de emisión de volátiles podrían ser utilizados para determinar el intervalo postmortem con base en las larvas de insectos presentes en el cadáver. Debido a la complejidad química del proceso de degradación se sugiere que se podrían utilizar los insectos y sus fases inmaduras como filtros indicadores de tiempo (Paczkowski y Schütz 2011). Como ejemplo que ilustra lo anterior se tiene a dípteros generalistas como *Calliphora vicina* o *Lucilia caesar* presentes durante todas las fases de descomposición y otras especies especialistas que solamente se encuentran en ciertas etapas de decaimiento del cuerpo como *Hydrotaea aenescens* o *H. meteorica* (Matuszewski *et al.* 2010; Paczkowski *et al.* 2011).

Ecología química y fitófagos

La presencia de bacterias en el suelo y liberando sustancias volátiles que tienen efectos benéficos sobre el crecimiento de las plantas ha sido documentada (Ryu *et al.* 2003) y revisada (Bailly y Weisskopf 2012). Dentro de los compuestos volátiles emitidos por las bacterias y con un efecto sobre el crecimiento de las plantas resaltan 300 moléculas identificadas y una alta proporción aún no identificadas (Bailly y Weisskopf 2012).

Reducción en el crecimiento de plantas también ha sido reportada ante la presencia de bacterias como: *Burkholderia* sp, *Chromobacterium* sp, *Pseudomonas* sp, *Serratia* sp. y *Stenotrophomonas* sp. responsables de liberar compuestos como amonio, dimetil disulfido y cianuro de hidrógeno (Bailly y Weisskopf 2012). Por su parte, un aumento en el crecimiento de plantas ha sido registrado cuando crecen plantas con bacterias como *Arthrobacter* sp, *Bacillus* sp,

Burkholderia sp, *Pseudomonas* sp. y *Serratia* sp. y que producen volátiles como acetoin, 2,3-butanediol, dimetilhexadecilamina y 2-pentilfuran (Bailly y Weisskopf 2012).

Además de la presencia de bacterias en el suelo, las superficies aéreas de las plantas proveen diversos hábitats que también pueden ser colonizados por diferentes especies de bacterias (Junker *et al.* 2011). En estos casos, la presencia de nutrientes y la emisión o secreción de metabolitos secundarios que inhiben o facilitan el crecimiento bacteriano tienen un impacto en la distribución de las bacterias sobre diferentes partes de las plantas (Bednarek y Osbourn 2009).

La filósfera es el hábitat microbiano encontrado sobre la superficie aérea de las plantas (Izhaki *et al.* 2013) y ha sido reconocida por ser colonizada por ensamblajes de microorganismos que incluyen hongos filamentosos, levaduras, bacterias y bacteriófagos (Lindow y Brandl 2003). Las hojas han sido las partes aéreas de las plantas más estudiadas y en ellas se han encontrado bacterias pertenecientes a las familias Enterobacteriaceae, Pseudomonadaceae y Microbacteriaceae (Krimm *et al.* 2005; Junker *et al.* 2011).

Las flores como superficie óptima para el crecimiento de bacterias han sido menos estudiadas en comparación con las hojas (Junker *et al.* 2011). Sin embargo, los pocos estudios realizados demuestran que la diversidad de bacterias es menor sobre las flores que sobre las hojas y que la familia Enterobacteriaceae es la predominante en los pétalos (Krimm *et al.* 2005; Junker *et al.* 2011). El papel en la polinización de las moléculas volátiles emitidas por las bacterias presentes en las flores es un campo en la interacción planta-bacteria-insecto aún a la espera de ser abordado (Junker *et al.* 2011).

La amplia variedad de cepas bacterianas y especies de plantas reportadas en interacciones mediadas por VOCs sugiere que la respuesta fisiológica a moléculas señales puede ser compartida universalmente (Bailly y Weisskopf 2012). Este concepto es soportado asombrosamente por el hecho de que la mayoría de los compuestos volátiles bacterianos fueron ya descritos como semioquímicos en la comunicación planta-insecto o las interacciones bacteria-bacteria y bacteria-animal (Kai *et al.* 2009).

Finalmente es importante resaltar las interacciones planta-bacteria patógena-vector, en las cuales sobresale como las plantas atacadas por bacterias cambian su producción de sustancias volátiles en cantidad y calidad y como este cambio en el patrón de olores beneficia a los insectos vectores del patógeno que se ven fuertemente atraídos por las sustancias ahora liberadas (Mann *et al.* 2012). Por ejemplo, plantas de cítricos infectadas con la bacteria *Candidatus Liberibacter asiaticus* liberan más metilsalicilato que las plantas no infectadas quienes a su vez liberan más metil antranilato y D-limoneno. Esta liberación diferencial atrae más al insecto vector *Diaphorina citri*. Este tipo de interacciones demuestran como las bacterias afectan a su planta huésped para aumentar la posibilidad de su transmisión a nuevas plantas aún no infectadas (Mann *et al.* 2012).

Ecología química y hematófagos

Las bacterias que habitan la piel de los humanos no solamente actúan como patógenos o como defensa contra enfermedades, sino que también son importantes produciendo olores que son atractivos para mosquitos, ácaros, garrapatas y triatominos (Verhulst *et al.* 2010; Ortiz y Molina 2010; Ortiz *et al.* 2011).

La producción de estas sustancias volátiles importantes en la atracción de insectos hematófagos se logra por la presencia de las bacterias cutáneas en la vecindad de las glándulas apocrinas y ecrinas de la piel, quienes logran que el sudor humano inodoro adquiera un olor después de ser incubado por ellas (Verhulst *et al.* 2010). Es así como las *Corynebacterias* toman los ácidos grasos de cadena larga de la piel y los transforman en ácidos grasos de cadena corta o media que producen mal olor (James *et al.* 2004). Luego las *Brevibacterias* y los *Micrococos* toman estos ácidos grasos cortos y los metabolizan aún mas (James *et al.* 2004). Completando la secuencia de producción de sustancias volátiles se encuentran los *Staphylococcus* quienes convierten los aminoácidos de cadenas ramificadas en aminoácidos de cadenas cortas altamente volátiles (James *et al.* 2004).

La demostración del efecto de las bacterias sobre la producción de volátiles atractivos para mosquitos se logró después de incubar sudor ecrino con bacterias durante uno o dos días y luego confirmar su efecto atractivo para mosquitos de la especie *Anopheles gambiae* (Braks y Takken 1999). Posteriormente se demostró que los volátiles emitidos por bacterias cultivadas de la piel y mantenidas *in vitro* en cajas de Petri con agar son también atractivas para *Anopheles gambiae* (Verhulst *et al.* 2009).

El papel de las bacterias de la piel en la atracción de insectos hematófagos y su importancia evolutiva en las interacciones huésped-vector quedó demostrada con la reciente evidencia de atracción en insectos hemimetábolos como *Rhodnius prolixus* de los volátiles emitidos por las bacterias cutáneas (Ortiz y Molina 2010). En esta especie la aplicación de geles antibacteriales en la piel de la cara elimina el efecto atractivo por algunas horas y este se recupera después de 12 horas de iniciado el tratamiento (Ortiz y Molina 2010; Ortiz *et al.* 2011).

Microbiología, entomología y ecología química aplicadas

Tal vez uno de los ejemplos más interesantes de interacción tritrófica entre bacterias e insectos fue reportada por Leroy *et al.* (2011). El caso es uno de los mejores ejemplos que ayuda a ilustrar como la ecología química surge como una estrategia novedosa para brindar herramientas que permitan controlar una plaga que se ha convertido en un serio problema en la producción agrícola. Las estrategias de control (químico y biológico) que por excelencia son implementadas en casos donde la plaga tiene fuertes efectos en la economía han sido burladas y han permitido el aumento de las poblaciones del áfido *Acyrtosiphon pisum* (Leroy *et al.* 2011).

En este ejemplo se encontró como la bacteria *Staphylococcus sciuri* aislada de las secreciones ricas en azúcares y aminoácidos del áfido *A. pisum* produce las cairomonas 3-metil-2-butenal y el ácido 2-metilbutanoico que aumentan la atracción e inducen la ovoposición en la mosca *Episyrphus balteatus*, enemigo natural del áfido (Leroy *et al.* 2011).

Los volátiles producidos por la bacteria y que actúan como cairomonas son producto del metabolismo de los abundantes aminoácidos presentes en las secreciones de los áfidos y llevados a cabo a nivel general por todos los *Staphylococcus* (Schulz y Dickschat 2007).

Experimentos de laboratorio, en invernadero y en campo demostraron que la aplicación de *S. sciuri* en las plantas induce una atracción y al mismo tiempo una ovoposición significativamente mayor sobre ellas de las moscas con potencial de ser utilizadas como controladoras biológicas (Leroy *et al.* 2011). Estos resultados sugieren entonces que la aplicación de las cairomonas producidas por *Staphylococcus sciuri* podrían ser utilizadas para aumentar la posibilidad de que los áfidos y las moscas entren en contacto, disminuyendo de esta manera el efecto negativo de los primeros sobre las plantas.

Aplicaciones en biosensores

Los biosensores son básicamente instrumentos de medición que muestrean compuestos químicos, organismos o parámetros físicos por la combinación espacial y funcional de componentes biológicos orgánicos como proteínas, organelos, células o fragmentos de organismos con partes de un dispositivo técnico o transductor químico que generalmente produce una señal eléctrica de salida (Paczkowski *et al.* 2011). Con la combinación de un transductor técnico y una unidad sensorial biológica es posible reproducir las capacidades de sensibilidad y selectividad de los sensores naturales en campos de aplicación casi ilimitados (Paczkowski *et al.* 2011).

Los biosensores se clasifican dependiendo del tipo de biocomponente utilizado, el estado de desarrollo (generación) y el tipo de transductor (Paczkowski *et al.* 2011). Para el caso de la presente revisión voy a centrarme exclusivamente en biosensores inspirados en el sistema olfativo de los insectos, que sean de segunda o tercera generación y por afinidad, es decir que no producen un metabolito como producto.

Los biosensores inspirados en el sistema olfativo de los insectos utilizan como principio básico la alta selectividad y sensibilidad de las proteínas receptoras olfativas que se encuentran en las membranas dendríticas de las neuronas sensoriales. Por ejemplo, *Bombyx mori* es capaz de rastrear 1000 moléculas/s de su feromona bombycol en 1 cm³ de aire. Esto es equivalente a detectar 1 g de azúcar diluido y distribuido en todo el volumen de agua del lago Constanza (Paczkowski *et al.* 2011). Además de la sensibilidad del sistema otra ventaja es la capacidad de detección de la molécula de interés en ambientes químicos complejos, para este caso se puede ilustrar la situación con la especie *Melanophila acuminata* que puede detectar a más de un kilómetro las moléculas de un pino (*Pinus sylvestris*) de 30 cm de diámetro quemándose y liberando 7 g de guaiacol por hora bajo una velocidad del viento de 0,3 m/s (Schütz *et al.* 1999).

La aproximación metodológica base para los biosensores inspirados en antenas de insectos son los electroantenogramas, una técnica desarrollada en 1957 (Schneider 1957). Cambios de voltaje en las señales eléctricas obtenidas en la antena estimulada con sustancias químicas y filtradas para el ruido electromagnético de 60 Hz son las respuestas observadas. Los resultados obtenidos pueden de esta manera ser cuantificados para determinar el efecto de compuestos individuales y del aumento en sus concentraciones (Park y Baker 2002). El efecto sobre un electroantenograma de varias antenas de una misma especie de insecto conectadas en serie es el aumento de la amplitud de la respuesta obtenida al estimular químicamente a la antena (Moore 1981; Park y Baker 2002). De igual manera, el poder de discriminación de sustancias volátiles en ambientes complejos en olores puede ser aumentado al conectar electrónicamente antenas de diferentes especies (Park *et al.* 2002).

La utilización de antenas de insectos intactas como biocomponentes que sirvan como detectores en biosensores necesita de uniones mecánicas y electrónicas estables que eviten que la antena sufra algún daño durante el proceso (Paczkowski *et al.* 2011). Para ello han demostrado ser de mucha utilidad los BioFETs o sensores híbridos que consisten en la unión de una antena de un insecto y un transistor de efecto de campo (FET) (Schöning *et al.* 2000; Schroth *et al.* 2001). En principio, después de acoplar la antena al FET por medio de una interface compuesta de un electrolito, la señal de la antena puede ser detectada y amplificada por el transistor (Schroth *et al.* 2001). Una vez las moléculas de olor son detectadas la antena genera dipolos eléctricos a lo largo de las sensillas antenales y una suma de todos estos pequeños dipolos se genera a lo largo de toda la antena, la cual es detectada y amplificada por el FET (Schroth *et al.* 2001; Paczkowski *et al.* 2011). Los cambios de corriente registrados por el FET son dependientes de la concentración de la sustancia que la antena detecta (Paczkowski *et al.* 2011).

Dos aproximaciones experimentales han sido evaluadas para BioFETs; la primera consiste en mantener la antena conectada al insecto y la parte distal de la antena embebida en el electrolito. Esta técnica se conoce como “whole-insect BioFET”. Por su parte, la segunda técnica consiste en retirar la antena del insecto, mantener la parte distal y proximal de la antena embebida en el electrolito y utilizar la antena como un sensor aislado del insecto, en este caso se conoce como “isolated-antenna BioFET” (Schroth *et al.* 2001; Paczkowski *et al.* 2011). En cualquiera de los dos casos se debe asegurar que una buena parte de la antena esté expuesta al flujo de aire a analizar (Schroth *et al.* 2001).

En la técnica, para eliminar las respuestas de los mecanorreceptores presentes en la antena es necesario aplicar una corriente de aire constante y a esa corriente se aplican en diferentes momentos las diversas concentraciones de las sustancias químicas a evaluar (Schroth *et al.* 2001).

Cuatro aplicaciones de esta técnica con antenas de insectos se presentan a continuación:

- Detección de fuego; en este caso antenas de los coleópteros pertenecientes a las especies *Melanophila acuminata*, *Leptinotarsa decemlineata* y *Phaenops cyanea* han sido evaluados para detectar incendios en estadios tempranos (Schütz *et al.* 1999; Schroth *et al.* 2001).
- Detección de infestación por fitófagos en cultivos; en este caso se conoce que la especie *Leptinotarsa*

decemlineata es capaz de detectar y reconocer los volátiles emitidos por plantas atacadas por conespecíficos, por el hongo *Phytophthora infestans* o por daños mecánicos producidos por maquinaria agrícola (Schütz y Weissbecker 2003). c) Evaluación del aumento de infestación de insectos plagas de bosques; en este caso sobresale la utilización de antenas de insectos para detectar árboles débiles y que potencialmente pueden ser atacados por insectos. Como ejemplo se tiene al coleóptero *Phaenops cyanea* que es capaz de detectar diferentes volátiles emitidos por el árbol después de sufrir estrés hídrico, daño mecánico o ataque de hongos (Schroth *et al.* 2001; Schütz *et al.* 2004); y d) Estimación del intervalo postmortem en medicina legal; como se describió anteriormente en el texto, las antenas de especies generalistas de insectos pueden ser utilizadas para detectar la presencia de cadáveres, mientras que las antenas de insectos especialistas podrían ser utilizadas para detectar solo determinadas fases en el estado de descomposición del cadáver (Paczkowski *et al.* 2011).

Debido a la diversidad de interacciones ecológicas entre animales y otros organismos vivos en la naturaleza, el concepto de biosensores y aproximaciones biomiméticas pueden conducir a numerosas aplicaciones adicionales para rastrear, vigilar y monitorear procesos ambientales e industriales (Paczkowski *et al.* 2011).

La mayor desventaja de la técnica arriba mencionada es la corta vida de las antenas utilizadas como sensores y por lo tanto la necesidad también de personal especializado para operar el sistema. Por lo tanto, los biosensores son más útiles para realizar pruebas de detección y seguimiento de corta duración y en menor medida monitoreos a largo plazo (Paczkowski *et al.* 2011).

Literature cited

- BAILLY A.; WEISSKOP L. 2012. The modulating effect of bacterial volatiles on plant growth. *Plant Signaling & Behavior* 7: 1-7.
- BALE J.S. 1996. Insect cold hardiness: A matter of life and death. *European Journal of Entomology*. 93: 369-382.
- BEDNAREK P.; OSBOURN A. 2009. Plant-microbe interactions: Chemical diversity in plant defense. *Science* 324: 746-748.
- BÖRÖCZKI K.; WADA-KATSUMATA A.; BATCHELOR D.; ZHUKOVSKAYA M.; SCHAL C. 2013. Insects groom their antennae to enhance olfactory acuity. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*. 110: 3615-3620.
- BRAKS M.A.H.; TAKKEN W. 1999. Incubated human sweat but not fresh sweat attracts the malaria mosquito *Anopheles gambiae sensu stricto*. *Journal of Chemical Ecology* 25: 663-672.
- BURKLE L.A.; MARLIN J.C.; KNIGHT T.M. 2013. Plant-pollinator interactions over 120 years: Loss of species, co-occurrence, and function. *Science* 339: 1611-1615.
- CURTIS T.P.; SLOAN W.T.; SCANNELL J.C. 2002. Estimating prokaryotic diversity and its limits. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*. 99: 10494-10499.
- GRIMALDI D.; ENGEL M.S. 2005. *Evolution of the insects*. Cambridge University Press, New York. 755 p.

- HOPKINS D.W.; WILTSHIRE P.E.J.; TURNER B.D. 2000. Microbial characteristics of soils from graves: An investigation at the interface of soil microbiology and forensic science. *Applied Soil Ecology* 14: 283-288.
- IZHAKI I.; FRIDMAN S.; GERCHMAN Y.; HALPERN M. 2013. Variability of bacterial community composition on leaves between and within plant species. *Current Microbiology* 66: 227-235.
- JAMES A.G.; HYLIANDS D.; JOHNSTON H. 2004. Generation of volatile fatty acids by axillary bacteria. *International Journal of Cosmetic Science* 26: 149-156.
- JUNKER R.R.; LOEWEL C.; GROSS R.; DÖTTERL S.; KELLER A.; BLÜTHGEN N. 2011. Composition of epiphytic bacterial communities differs on petals and leaves. *Plant Biology* 13: 918-924.
- KAI M.; HAUSTEIN M.; MOLINA F.; PETRI A.; SCHOLZ B.; PIECHULLA B. 2009. Bacterial volatiles and their action potential. *Applied Microbiology and Biotechnology* 81: 1001-1012.
- KRIMM U.; ABANDA-NKPWATT D.; SCHWAB W.; SCHREIBER L. 2005. Epiphytic microorganisms on strawberry plants (*Fragaria ananassa* cv. Elsanta): Identification of bacterial isolates and analysis of their interaction with leaf surfaces. *FEMS Microbiology Ecology* 53: 483-492.
- LEROY P.D.; SABRI A.; HEUSKIN S.; THONART P.; LOGNAY G.; VERHEGGEN F.J.; FRANCIS F.; BROSTAUX Y.; FELTON G.W.; HAUBRUGE E. 2011. Microorganisms from aphid honeydew attract and enhance the efficacy of natural enemies. *Nature Communications*. 2:348 DOI:10.1038/ncomms1347.
- LINDOW S.E.; BRANDL M.T. 2003. Microbiology of the phyllosphere. *Applied and Environmental Microbiology* 69: 1875-1883.
- MADIGAN M.T.; MARRS B.L. 1997. Extremophiles. *Scientific American* 4: 82-87.
- MANN R.S.; ALI J.G.; HERMANN S.L.; TIWARI S.; PELZ-STELINSKI K.S.; ALBORN H.T.; STELINSKI L.L. 2012. Induced release of a plant-defense volatile 'deceptively' attracts insect vectors to plants infected with a bacterial pathogen. *PLoS Pathogens* 8 (3): e1002610. doi:10.1371/journal.ppat.1002610.
- MATUSZEWSKI S.; BAJERLEIN D.; KONWERSKI S.; SZPILA K. 2010. Insect succession and carrion decomposition in selected forests of Central Europe. Part 2: Composition and residency patterns of carrion fauna. *Forensic Science International* 195: 42-51.
- MOORE I. 1981. Biological amplification for increasing electroantennogram discrimination between two female sex pheromones of *Spodoptera littoralis* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Chemical Ecology* 7: 791-798.
- ORTIZ M.I.; MOLINA J. 2010. Preliminary evidence of *Rhodnius prolixus* (Hemiptera: Triatominae) attraction to human skin odour extracts. *Acta Tropica* 113: 174-179.
- ORTIZ M.I.; SUAREZ-RIVILLAS A.; MOLINA J. 2011. Behavioral responses to human skin extracts and antennal phenotypes of sylvatic first filial generation and long rearing laboratory colony *Rhodnius prolixus*. *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz*. 106: 461-466.
- PACZKOWSKI S.; SCHÜTZ S. 2011. Post-mortem volatiles of vertebrate tissue. *Applied Microbiology and Biotechnology* 91: 917-935.
- PACZKOWSKI S.; WEISSBECKER B.; SCHÖNING M.; SCHÜTZ S. 2011. Biosensors on the basis of insect olfaction. Chapter 12. 225-240 p. En: *Insect Biotechnology, Biologically-inspired systems 2*. Vilcinskis A. (Ed.). Springer Verlag, New York. 268 p.
- PARK K.C.; BAKER T.C. 2002. Improvement of signal-to-noise ratio in electroantennogram responses using multiple insect antennae. *Journal of Insect Physiology* 48: 1139-1145.

- PARK K.C.; OCHIENG S.A.; ZHU J.; BAKER T.C. 2002. Odor discrimination using insect electroantennogram responses from an insect antennal array. *Chemical Senses* 27: 343-352.
- PELEG A.Y.; TAMPAKAKIS E.; BURGWYN B.; ELIOPOULOSG.M.; MOELLERING R.C.; MYLONAKIS E. 2008. Prokariote-eukariote interactions identified by using *Caenorhabditis elegans*. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 105: 14585-14590.
- RYU C-M.; FARAG M.A.; HU C-H.; REDDY M.S.; WEI H-X.; PARÉ P.W.; KLOPPER J.W. 2003. Bacterial volatiles promote growth in *Arabidopsis*. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 100: 4927-4932.
- SCHNEIDER D. 1957. Elektrophysiologische Untersuchungen von Chemo- und Mechanorezeptoren der Antenne des Seidenspinners *Bombyx mori* L. *Zeitschrift für Vergleichende Physiologie*. 40: 8-41.
- SCHROTH P.; SCHÖNING M.J.; LÜTH H.; WEISSBECKER B.; HUMMEL H.E.; SCHÜTZ S. 2001. Extending the capabilities of an antenna/chip biosensor by employing various insect species. *Sensors and Actuators B*. 78: 1-5.
- SCHULZ S.; DICKSCHAT J.S. 2007. Bacterial volatiles: The smell of small organisms. *Natural Products Report* 24: 814-842.
- SCHÜTZ S.; WEISSBECKER B. 2003. Mechanismen duftvermittelter Pflanze-Insekt-Interaktionen: von Pflanzenstress zum Pflanzenfrass. *Nova Acta Leopoldina NF*. 87: 215-235.
- SCHÜTZ S.; WEISSBECKER B.; HUMMEL H.E.; APEL K-H.; SCHMITZ H.; BLECKMANN H. 1999. Insect antenna as smoke detector. *Nature* 398: 298-299.
- SCHÜTZ S.; WEISSBECKER B.; APEL K-H.; WENK M. 2004. Duftstoffsignale als Marker für die Befallsdisposition von Kiefern durch den Blauen Kiefernprachtkäfer *Phaenops cyanea* F. (Col. Buprestidae). *Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für allgemeine und angewandte Entomologie* 14 :301-306.
- SCHÖNING M.J.; SCHROTH P.; SCHÜTZ S. 2000. The use of insect chemoreceptors for the assembly of biosensors based on semiconductor field-effect transistors. *Electroanalysis*. 12: 645-652.
- STATHEROPOULOS M.; AGAPIOU A.; SPILIOPOULOU C.; PALLIS G.C.; SIANOS E. 2007. Environmental aspects of VOCs evolved in the early stages of human decomposition. *Science of the Total Environment*. 385: 221-227.
- STENSMYR M.C. 2004. The fly nose – Function and evolution. *Swedish University of Agricultural Sciences, Alnarp*. 50 p.
- STENSMYR M.C.; URRU I.; COLLU I.; CELANDER M.; HANSSON B.S.; ANGLOY A.M. 2002. Rotting smell of dead-horse arum florets. *Nature* 420: 625-626.
- STRATHDEE A.T.; BALE J.S. 1998. Life on the edge: Insect ecology in arctic environments. *Annual Review of Entomology* 43: 85-106.
- TORSVIK V.; OVREAS L.; THINGSTAD T.F. 2002. Prokariotic Diversity – Magnitude, dynamics, and controlling factors. *Science* 296: 1064-1066.
- VASS A.A.; SMITH R.R.; THOMPSON C.V.; BURNETT M.N.; DULGERIAN N.; ECKENRODE B.A. 2008. Odor analysis of decomposing buried human remains. *Journal of Forensic Sciences* 53: 384-391.
- VERHULST N.O.; BEIJLEVELD H.; KNOLS B.G.J.; TAKKEN W.; SCHRAA G.; BOUWMEESTER H.J.; SMALLEGANGE R.C. 2009. Cultured skin microbiota attracts malaria mosquitoes. *Malaria Journal*. 8:302 doi:10.1186/1475-2875-8-302.

- VERHULST N.O.; TAKKEN W.; DICKE M.; SCHRAA G.; SMALLEGANGE R.C. 2010. Chemical ecology of interactions between human skin microbiota and mosquitoes. *FEMS Microbiology Ecology* 74: 1-9.
- WATANABE M.; KIKAWADA T.; MINAGAWA N.; YUKUHIRO F.; OKUDA T. 2002. Mechanism allowing an insect to survive complete dehydration and extreme temperatures. *Journal of Experimental Biology* 205: 2799-2802.
- WERREN J.H. 1997. Biology of *Wolbachia*. *Annual Review of Entomology* 42: 587-609.
- WITZGALL P.; PROFFIT M.; ROZPEDOWSKA E.; BECHER P.G.; ANDREADIS S.; CORACINI M.; LINDBLOM T.U.T.; REAM L.J.; HAGMAN A.; BENGTSSON M.; KURTZMAN C.P.; PISKUR J.; KNIGHT A. 2012. "This is not an apple"-Yeast mutualism in codling moth. *Journal of Chemical Ecology* 38: 949-957.

Hembras que cortejan y machos caníbales sexuales en *Allocosa brasiliensis* (Araneae: Lycosidae): una araña lobo con inversión de roles sexuales

Courting females and sexually cannibalistic males in *Allocosa brasiliensis*
(Araneae: Lycosidae): a wolf spider with sex role reversal

Anita Aisenberg¹

¹Doctora en Ciencias Biológicas, Laboratorio de Etología, Ecología y Evolución, Instituto de Investigaciones Biológicas Clemente Estable, Avenida Italia 3318, Código Postal 11600, Montevideo, Uruguay. anita.aisenberg@gmail.com

Resumen. La araña lobo *Allocosa brasiliensis* construye cuevas a lo largo de los arenales costeros de Argentina, Brasil y Uruguay. Se trata de uno de los muy escasos ejemplos de inversión de roles sexuales en arañas. A diferencia de lo tradicional para este grupo, los machos son más grandes que las hembras y las hembras salen en búsqueda de pareja, localizan a los machos en sus cuevas e inician el cortejo. Ambos sexos son selectivos al momento del apareamiento: las hembras prefieren a los machos con cuevas más largas y los machos prefieren a hembras vírgenes con mayor peso y ancho abdominal. Existe canibalismo sexual masculino y por lo tanto las hembras que son rechazadas para el apareamiento pueden ser canibalizadas. Este comportamiento tan llamativo y prácticamente único en el Reino Animal ha sido confirmado en el campo. Si ocurre el apareamiento, luego de finalizado, los machos donan sus propias cuevas a las hembras y antes de alejarse obturan las entradas de las cuevas desde el exterior. Cada hembra permanecerá dentro de la cueva masculina, realizará su puesta de huevos allí, y emergerá para la dispersión de las crías. La entrega de la cueva sería costosa ya que los machos quedan expuestos a la depredación y disminuyen sus oportunidades de apareamiento hasta la construcción de otra larga cueva. Se expondrán los avances más recientes de estudios sobre *A. brasiliensis*, analizando causas y consecuencias de las estrategias de hembras y machos a la luz de hipótesis de inversión de roles sexuales.

Abstract. The wolf spider *Allocosa brasiliensis* constructs burrows along the sandy coasts of Argentina, Brazil and Uruguay. It is one of the very few examples of sex role reversal in arachnids. In opposition to the expected pattern for this group, males are larger than females and females search for potential sexual mates, localize males inside their burrows and initiate courtship. Both sexes are selective when taking mating decisions: females prefer those males showing larger burrows and males prefer virgin females with higher weight and abdominal width values. Furthermore, rejected females can be cannibalized. This astonishing male cannibalistic behavior, mostly unique in Animal Kingdom, has been confirmed also at the field. If mating occurs, after it finishes males donate their own burrows to the females and, before leaving, they plug burrow entrances from outside. Each mated female remains inside the male

burrow, oviposits there and leaves the burrow when it is time for spiderling dispersal. Male donation of the burrow is expected to be a high investment for this sex because individuals are exposed to predation and diminish their mating opportunities until the construction of a new long burrow. I will expose the advances of recent studies on *A. brasiliensis*, analyzing the causes and consequences of female and male strategies under sex role reversal hypotheses.

Inversión de roles sexuales

Tradicionalmente, los roles sexuales reflejarán las contribuciones de cada sexo en la producción y mantenimiento de gametos, y en la reproducción en general (Trivers 1972; Andersson 1994; Bonduriansky 2001). Así, la asimetría en inversión en gametos entre hembras y machos determinará que el patrón más extendido sea el de machos competitivos, que intentan maximizar el número de apareamientos, y hembras selectivas que realizan una mayor inversión parental. Sin embargo, en especies en las cuales los machos tienen una alta inversión reproductiva, ya sea durante el cortejo, la cópula, o luego de la misma, los roles sexuales típicos pueden invertirse de los patrones esperados. De acuerdo con Gwynne (1991), en los casos de inversión de roles sexuales las hembras serán quienes salen en búsqueda de machos, los cortejan, y hasta podrán competir por sus potenciales parejas, y los machos se podrán volver selectivos. Se considera que la inversión de roles es total cuando solamente los machos son selectivos, y parcial cuando ambos sexos son selectivos al momento del apareamiento (Gwynne 1991). Estos cambios en los roles sexuales esperados pueden ser acompañados por cambios en el dimorfismo sexual típico para ese grupo animal (Andersson 1994). La inversión de roles sexuales ha sido descrita o sugerida en aves, anfibios, peces, crustáceos, insectos (Gwynne 1991; Eens y Pinxten 2000; Bonduriansky 2001), y existen dos casos citados en arañas del género *Allocosa* (Aisenberg *et al.* 2007; Aisenberg y Costa 2008), de los cuales trataremos en detalle a *Allocosa brasiliensis* en la siguiente sección.

La mayoría de los ejemplos de inversión de roles sexuales en vertebrados provienen de especies en las que existe inversión paternal, y tanto los roles durante el cortejo como la inversión en la progenie difieren de lo esperado para ese grupo animal. Sin embargo, algunos artrópodos sin inversión paternal muestran patrones inesperados sobre el sexo vagabundo que inicia el cortejo y el sexo selectivo. En estos casos, se cree que una elevada contribución masculina asociada con el cortejo, la entrega de regalos nupciales costosos o el esfuerzo de cópula, podrían explicar los patrones encontrados (Bonduriansky 2001; Vahed 2007). Asimismo, existen especies con alta inversión paternal que no presentan inversión de roles sexuales (Gwynne 1991; Eens y Pinxten 2000).

Por lo tanto, las causas principales moldeando la inversión de roles sexuales son debatidas. Lo que podemos afirmar es que éstos cambios en los roles típicos se asocian con una inversión reproductiva masculina que iguala o excede la inversión femenina, reduciendo las posibilidades de apareamiento de los machos y transformándolos en el recurso escaso por el cual es preciso competir (Gwynne 1991). Sin embargo, los altos costos reproductivos masculinos no determinan

per se la inversión de roles sexuales y posiblemente muchos factores relacionados con la historia natural, ecología, comportamiento e historia filogenética de cada especie deben ser considerados.

En resumen, estas excepciones comportamentales quizás estén más extendidas que lo esperado y estudios futuros sobre estos tópicos aportarán hacia decidir si se trata realmente de excepciones o si las reglas deben ser re-analizadas a la luz de estos casos.

Una araña lobo sudamericana con inversión de roles sexuales

Allocosa brasiliensis (Petrunkévitch 1910), llamada también araña blanca de los arenales, construye cuevas en los arenales costeros de Argentina, Brasil y Uruguay (Capocasale 1990). Esta araña lobo permanece en sus cuevas durante el día y en los meses más fríos del año, volviéndose muy activa en las noches de verano (Costa 1995; Costa *et al.* 2006). Su coloración blanquecina la hace críptica con el entorno arenoso. *A. brasiliensis* presenta inversión de roles sexuales y de dimorfismo sexual de tamaño, típico en arañas (Aisenberg *et al.* 2007). A diferencia de lo que ocurre en la gran mayoría, los machos son más grandes que las hembras y son sedentarios, permanecen enterrados dentro de sus cuevas por largos períodos prácticamente sin alimentarse (Aisenberg *et al.* 2009, 2010b, 2011b). Las hembras, en cambio, son el sexo móvil y quienes salen en búsqueda de potenciales parejas e inician el cortejo (Aisenberg *et al.* 2007). Los machos emiten feromonas sexuales que ayudan a las hembras a localizarlos (Aisenberg *et al.* 2010a). Luego de localizar a un macho, la hembra se asoma a la cueva masculina y comienza a sacudir sus patas delanteras, enfrentándolas hacia el macho (Aisenberg *et al.* 2007). El macho puede responder realizando vigorosas sacudidas corporales retrocediendo hasta llegar al final de la cueva. La hembra lo sigue y, si el cortejo continúa, ambos sexos intercambian posiciones, quedando la hembra en el fondo de la cueva masculina y el macho enfrentado, localizado más cerca de la entrada de la cueva. Las hembras son selectivas con respecto al largo de las cuevas masculinas (Aisenberg *et al.* 2007), prefiriendo a aquellos machos que presentan cuevas más largas. Posiblemente durante el cortejo y mientras sigue al macho hacia el fondo de la cueva, la hembra inspeccionaría las características de las mismas y tomaría la decisión de aparearse o dejar la cueva.

La cópula ocurre en la típica posición descripta para arañas lobo (Foelix 2011), pero en este caso verticalmente, con el macho localizado por encima de la hembra en sentidos opuestos. Luego de la cópula, que incluye varias montas y desmontas, el macho abandona su cueva y cierra la entrada completamente desde el exterior (Aisenberg *et al.* 2007). La hembra permanecerá dentro de la cueva masculina y allí realizará su puesta de ooteca, abandonando la cueva al momento de la dispersión de las crías (Costa *et al.* 2006; Postiglioni *et al.* 2008). Las hembras pueden poner hasta cuatro ootecas a lo largo de un período reproductivo y la más exitosa es la primera puesta (Postiglioni *et al.* 2008). Las hembras no construyen cuevas profundas como las de los machos, sino refugios provisorios (Aisenberg *et al.* 2007; Aisenberg y Peretti 2011). De hecho, son los machos quienes poseen setas modificadas en forma de pala localizadas en el área distal del palpo, que facilitarían la eficiencia durante el cavado (Aisenberg *et al.* 2010b). Para obtener una

cueva larga con las condiciones adecuadas para realizar las siguientes puestas de huevos, las hembras deberán aceptar nuevos apareamientos. Por otro lado, los machos necesitarán construir cuevas nuevas para obtener refugio y generar más oportunidades de apareamiento.

La donación de la cueva masculina a modo de regalo nupcial se puede considerar costosa para este sexo ya que se limitan las oportunidades de apareamiento hasta la construcción de otras cuevas largas. Se requerirá de una alta inversión energética en términos de los comportamientos de excavación per se, la producción de seda y la deposición de múltiples capas de seda para mantener una cueva larga y estable en arena (Aisenberg y Peretti 2011). Considerando la alta inversión reproductiva masculina por machos de *A. brasiliensis* y bajo hipótesis de inversión de roles sexuales, se esperaría que los machos también sean selectivos al momento del apareamiento.

Machos exigentes y canibalismo sexual invertido en *A. brasiliensis*

Estudios que analizaron el comportamiento sexual en esta especie encontraron que los machos sí son selectivos al momento de tomar decisiones de apareamiento (Aisenberg *et al.* 2011b). Los machos prefieren aparearse con hembras vírgenes que posean mayor peso y ancho abdominal. Ambas características estarían asociadas con una mayor descendencia. La primera ooteca es la más exitosa en número de huevos y, al aparearse con una hembra virgen que luego quedará enterrada en su cueva hasta la emergencia de las crías, el macho se asegura esta primera camada. Por otra parte, en arañas se considera que el peso y ancho abdominal se asocian positivamente con un mayor número de huevos (Wise y Wagner 1992).

El hecho más llamativo de la selectividad masculina es que las hembras rechazadas de *A. brasiliensis* pueden ser canibalizadas por los machos (Aisenberg *et al.* 2011b). El canibalismo masculino sobre hembras se considera un fenómeno poco frecuente y las muy escasas citas sobre casos de ésta índole provienen de enfrentamientos realizados en condiciones de cautiverio (Elgar 1992; Prenter *et al.* 2006). Sin embargo, se han encontrado machos de *A. brasiliensis* canibalizando hembras en condiciones naturales, en el campo (Aisenberg *et al.* 2009). En general, en arácnidos los machos son las víctimas más frecuentes debido a su menor tamaño y mayor vulnerabilidad cuando se acercan a las hembras (Wilder *et al.* 2009). Sin embargo, en *A. brasiliensis* los machos son más grandes que las hembras y son las hembras quienes se acercan a éstos e inician el cortejo. La alta inversión reproductiva masculina que afecta la tasa de apareamiento en este sexo estaría de acuerdo con esta elección extrema por parte de los machos (Aisenberg *et al.* 2011b). Los ataques siempre ocurrieron luego del cortejo de ambos sexos, durante la monta pero previo a las inserciones palpareas.

Por lo tanto, en el caso de *Allocosa brasiliensis* es preciso reinterpretar las hipótesis previamente utilizadas para explicar el canibalismo sexual femenino sobre machos. En este caso no se puede tratar de un caso de desconocimiento de identidad (Gould 1984), debido a que ambos sexos cortejaron en todos los casos. Tampoco los resultados estarían de acuerdo con hipótesis de

forrajeo adaptativo de Newman y Elgar (1991), ya que no ocurrió que los machos con menor peso y/o ancho abdominal atacaran con mayor frecuencia (Aisenberg *et al.* 2011b). Tampoco nuestros resultados concuerdan con hipótesis de agresividad desbordada (Arnqvist y Henriksson 1997); los ataques masculinos no fueron indiscriminados sino hacia hembras con ciertas características. El canibalismo sexual masculino descrito para *A. brasiliensis* concuerda con hipótesis de elección extrema (Elgar y Nash 1988), que proponen que el macho decidiría entre aparearse o canibalizar de acuerdo a la calidad de la hembra.

El canibalismo sexual masculino descrito para *A. brasiliensis* sería otra excepción más a lo tradicional. Se trata del primer caso de canibalismo sexual invertido en arañas y uno de los muy escasos ejemplos para el Reino Animal (Aisenberg *et al.* 2011b). El hecho de que luego de cada apareamiento la hembra queda en la cueva masculina hasta la emergencia de las crías, asegurará al macho de que la hembra que lo visita no se ha apareado con él, al menos en un tiempo cercano. Por otra parte, las hembras al no ser buenas cavadoras y precisar nuevas cuevas para realizar sus puestas de huevos, se arriesgan a obtener un nuevo apareamiento y cueva, o morir.

Algunos estudios recientes realizados en esta especie y proyecciones

Estudios recientes realizados sobre esta especie han descrito los ataques de avispas parasitoides del género *Anoplius* sobre *A. brasiliensis*, hecho que ocurriría con mayor frecuencia en hembras y juveniles que en machos adultos (Stanley *et al.* 2013). Posiblemente, las cuevas más largas y mayor tamaño corporal masculino podrían estar relacionados con una más efectiva defensa contra estas avispas.

Asimismo, nos encontramos poniendo a prueba si los machos son capaces de responder a un rechazo femenino alargando sus cuevas hacia una posterior visita femenina. Resultados preliminares indican que efectivamente alargan sus cuevas de acuerdo a la disponibilidad y calidad de hembras confirmando que existe plasticidad con respecto al comportamiento constructor en esta especie (Baldenegro *et al.* 2012). También nos encontramos poniendo a prueba la plasticidad en el comportamiento constructor de acuerdo a la granulometría del sustrato (De Simone *et al.* 2012; Albín *et al.*, en preparación). *A. brasiliensis*, presenta una distribución muy amplia que también implica una variación en las características del sustrato arenoso. De acuerdo con resultados de un reciente estudio, los individuos de *A. brasiliensis* presentan una variación en la longitud de la cueva de acuerdo a la granulometría del sustrato: en arenas de grano grueso, las cuevas masculinas son más largas que en arena fina (De Simone *et al.* 2012). Dando opción simultánea de elección de sustrato, los machos prefieren con mayor frecuencia cavar en arena gruesa con respecto a arena de grano fino (Albín *et al.*, en preparación). Dado que el comportamiento constructor se puede considerar costoso sobre todo por la producción y deposición de seda (Aisenberg y Peretti 2011), mantener una cueva estable en arena fina requerirá de más capas de seda que si se construye en arena de grano más grueso, lo cual podría explicar las diferencias encontradas.

En este momento nos encontramos analizando los mecanismos de discriminación entre hembras vírgenes y copuladas que utilizarían los machos, y analizando cómo afectan variables como el pasado reproductivo y el estado nutricional de los machos sobre la existencia de canibalismo sexual en esta especie.

Por último, cabe destacar la importancia de los estudios en esta araña lobo sudamericana hacia una mejor comprensión de las presiones conduciendo los roles sexuales y el canibalismo sexual en arácnidos.

Literatura citada

- AISENBERG, A.; BARUFFALDI, L.; GONZÁLEZ, M. 2010a. Behavioural evidence of male volatile pheromones in the sex-role reversed wolf spiders *Allocosa brasiliensis* and *Allocosa alticeps*. *Naturwissenschaften* 97: 63-70.
- AISENBERG, A.; COSTA, F. G. 2008. Reproductive isolation and sex role reversal in two sympatric sand-dwelling wolf spiders of the genus *Allocosa*. *Canadian Journal of Zoology* 86: 648-658.
- AISENBERG, A.; COSTA, F. G.; GONZÁLEZ, M. 2011a. Male sexual cannibalism in a sand-dwelling wolf spider with sex role reversal. *Biological Journal of The Linnean Society* 103: 68-75.
- AISENBERG, A.; COSTA, F. G.; GONZÁLEZ, M.; POSTIGLIONI, R.; PÉREZ-MILES, F. 2010b. Sexual dimorphism in chelicerae, forelegs and palpal traits in two burrowing wolf spiders (Araneae: Lycosidae) with sex-role reversal. *Journal of Natural History* 44: 1189-1202.
- AISENBERG, A.; GONZÁLEZ, M.; LABORDA, Á.; POSTIGLIONI, R.; SIMÓ, M. 2009. Reversed cannibalism, foraging and surface activities of *Allocosa alticeps* and *Allocosa brasiliensis* (Lycosidae), two wolf spiders from coastal sand dunes. *Journal of Arachnology* 37: 135–138.
- AISENBERG, A.; PERETTI, A. V. 2011. Male burrow digging in a sex role reversed spider inhabiting water-margin environments. *Bulletin of the British Arachnological Society* 15: 201–204.
- AISENBERG, A.; SIMÓ, M.; JORGE, C. 2011b. Spider as a model towards the conservation of coastal sand dunes in Uruguay. En: *Sand dunes: Conservation, Shapes/Types and Desertification* (J. A. Murphy, ed.), pp. 75-93. NOVA Science Publishers, USA.
- AISENBERG, A.; VIERA, C.; COSTA, F. G. 2007. Daring females, devoted males and reversed sexual size dimorphism in the sand-dwelling spider *Allocosa brasiliensis* (Araneae, Lycosidae). *Behavioral Ecology and Sociobiology* 62: 29-35.
- ANDERSSON, M. 1994. Sexual selection. Princeton: Princeton University Press.
- ARNQVIST, G.; HENRIKSSON, S. 1997. Sexual cannibalism in the fishing spider and a model for the evolution of sexual cannibalism based on genetic constraints. *Evolutionary Ecology* 11: 255–273.
- BALDENEGRO, F.; CARBALLO, M.; AISENBERG, A. 2012. Modificación del largo de las cuevas tras el rechazo femenino en machos de *Allocosa brasiliensis* (Araneae, Lycosidae). *Proceedings II Congreso Uruguayo de Zoología*, Montevideo: 23
- BONDURIANSKY, R. 2001. The evolution of male mate choice in insects: a synthesis of ideas and evidence. *Biological Reviews* 76: 305–339.

- COSTA, F. G. 1995. Ecología y actividad diaria de las arañas de la arena *Allocosa* spp. (Araneae, Lycosidae) en Marindia, localidad costera del sur del Uruguay. *Revista Brasileira de Biologia* 55(3): 457-466.
- COSTA, F. G.; SIMÓ, M.; AISENBERG, A. 2006. Composición y ecología de la fauna epígea de Marindia (Canelones, Uruguay) con especial énfasis en las arañas: un estudio de dos años con trampas de intercepción. En: *Bases para la conservación y el manejo de la costa uruguaya* (R. Menafrá, L. Rodríguez-Gallego, F. Scarabino & D. Conde, eds.), pp. 427-436. Vida Silvestre Uruguay, Montevideo
- DE SIMONE, G.; AISENBERG, A.; PERETTI, A.V. 2012. Respuesta diferencial en el cavado en diferentes sustratos en una araña lobo con inversión de roles sexuales. *Proceedings II Congreso Uruguayo de Zoología*, Montevideo: 66
- EENS, M.; PINXTEN, R. 2000. Sex-role reversal in vertebrates: behavioural and endocrinological accounts. *Behavioural Processes* 51: 135-147.
- ELGAR, M. A. 1992. Sexual cannibalism in spiders and other invertebrates. pp. 128-155. En: Elgar, M. A.; Crespi, B. J. (Eds.) *Cannibalism: ecology and evolution among diverse taxa* (Oxford University Press, Oxford).
- ELGAR, M. A.; NASH, D. R. 1988. Sexual cannibalism in the garden spider *Araneus diadematus*. *Animal Behaviour* 36: 1511-1517.
- FOELIX, R. F. 2011. *Biology of spiders*. New York: Oxford University Press.
- GOULD, S. J. 1984. Only his wings remained. *Natural History* 93: 10-18.
- GWYNNE, D. T. 1991. Sexual competition among females: what causes courtship-role reversal? *Trends in Ecology and Evolution* 6: 118-121.
- NEWMAN, J. A.; ELGAR, M. A. 1991. Sexual cannibalism in orbweaving spiders: an economic model. *American Naturalist* 138: 1372-1395.
- POSTIGLIONI, R.; GONZÁLEZ, M.; AISENBERG, A. 2008. Permanencia en la cueva masculina y producción de ootecas en dos arañas lobo de los arenales costeros. *Proceedings of the XI Jornadas de Zoología del Uruguay*, Montevideo, Uruguay: 145
- PRENTER, J.; MACNEIL, C.; ELWOOD, RW. 2006. Sexual cannibalism and mate choice. *Animal Behaviour* 71: 481-490.
- STANLEY, E.; TOSCANO-GADEA, C.; AISENBERG, A. 2013. Spider hawk in sand dunes: *Anoplius bicinctus* (Hymenoptera: Pompilidae), a parasitoid wasp of the sex-role reversed spider *Allocosa brasiliensis* (Araneae: Lycosidae). *Journal of Insect Behavior*. DOI 10.1007/s10905-012-9369-x
- TRIVERS, R. L. 1972. Parental investment and sexual selection. In: *Sexual selection and the descent of man 1871-1971* (B. Campbell, ed.), pp. 136-179. Aldine: Chicago.
- VAHED, K. 2007. All that glitters is not gold: sensory bias, sexual conflict and nuptial feeding in insects and spiders. *Ethology* 113:105-127.
- WILDER, S. M.; RYPSTRA, A. L.; ELGAR, M. A. 2009. The importance of ecological and phylogenetic conditions for the occurrence and frequency of sexual cannibalism. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 40: 21-39.

Conceptos claves, prevención y manejo de resistencia de insectos a insecticidas

Efraín Becerra Contreras¹

¹Ingeniero Agrónomo Dow AgroSciences. ehbecerra@dow.com

Introducción

Desde hace varias décadas hemos tenido diferentes compuestos químicos o productos para luchar contra los insectos plaga en el campo. Cada día la industria para la protección de cultivos está desarrollando nuevos conceptos encaminados a ofrecer altos niveles de control dentro de los cada día más exigentes requerimientos de los productores, las agencias de gobierno y principalmente los consumidores. También es cierto que cada día es más difícil satisfacer todas estas demandas y desarrollar compuestos que llenen estas exigencias, lo que lleva a que la situación esté cambiando, y no hay muchos productos en el horizonte. Esto ha venido incrementando las preocupaciones por el desarrollo de fenómenos de resistencia y su impacto en los costos de producción.

La resistencia de los insectos a los compuestos para la protección de cultivos es quizás lo menos comprendido en el controvertido sistema de control de plagas en estos días. De hecho, existen una cantidad de mitos y aseveraciones acerca de lo que es la resistencia y cómo debe ser manejada.

Varios de los mitos más comunes referentes a la resistencia son: los insectos plaga crean resistencia o se convierten en inmunes a los insecticidas; los insectos plaga son resistentes a los compuestos insecticidas débiles o inferiores; si se aumenta la dosis o la concentración del insecticida en las aplicaciones controlaremos la resistencia; aplicar un insecticida a bajas dosis genera resistencia; y finalmente, intercambiando o rotando insecticidas de diferente modo de acción obtendremos siempre un buen control sobre la resistencia.

En la charla de hoy vamos a desarrollar el tema de manejo de resistencia de insectos y vamos a analizar si los mitos que he expuesto en el párrafo anterior son o no correctos. Este es un tema complicado que se presta a confusión o se interpreta de diferentes maneras de acuerdo al fin que se persiga. Sin embargo hoy vamos a tratar de aclarar algunos conceptos para que cada quien tome su propia decisión en esta área.

Situación actual

La resistencia de los insectos hacia los plaguicidas no es un fenómeno nuevo. Cerca de 1908 se conoció que la escama de San José (en el estado de Washington) había adquirido resistencia

contra las aplicaciones por atomización de sulfuro de lima. Al día de hoy se reporta que aproximadamente 550 especies han desarrollado resistencia a uno o más compuestos, siendo los organofosforados (3357), piretroides (3077) organoclorados (1481) y carbamatos (704) los que presentan una mayor frecuencia de casos de desarrollo de resistencia. Con referencia a los órdenes de insectos Diptera (2557), Lepidoptera (2537), Hemíptera (1741) y aunque no pertenece a la clase insecta, Acari (1150) y Coleoptera (982), son los de mayor frecuencia frente al desarrollo de resistencia.

Para hablar de resistencia debemos entender tres puntos claves:

Resistencia de insectos a insecticidas confunde a mucha gente. Es un área donde se teme que estamos creando un "súper Insecto", el cual no es afectado por productos químicos. Este no es el caso que estamos tratando. **Resistencia no es inmunidad.** La inmunidad como tal se desarrolla para cada individuo y la exposición y sobrevivencia de un insecto a bajas dosis de insecticida no lo hace inmune a altas dosis más tarde. El fenómeno de resistencia sí se desarrolla para toda una población y se puede transmitir genéticamente.

El segundo punto a comprender es que **cada compuesto químico tiene diferente potencial para desarrollar resistencia.**

Como último punto es que **tenemos herramientas para evitar que se presente la resistencia:** la más fácil y accesible a todos nosotros es la rotación de insecticidas. Para esto lo que se necesita es reconocer que existen diferentes familias de compuestos químicos, y la utilización racional de ellos alternadamente (y combinando esta rotación con otras prácticas de control) es la práctica más recomendable a seguir.

Si al final de esta charla se entienden estos tres puntos que yo presento, se habrá comprendido completamente el significado del término resistencia.

Definición de resistencia

Aclaremos algunos de los conceptos que se utilizan dentro de este tema:

Los términos "resistencia" o "inmunidad" son comúnmente utilizados de igual manera para describir lo que es resistencia, pero estos significan cosas completamente diferentes.

Resistencia: es la reducción de la susceptibilidad de una población debido a mecanismos controlados genéticamente.

Hay dos palabras claves en esta definición, susceptibilidad y población. Todas las poblaciones de insectos son susceptibles en alguna medida a los insecticidas. Cuando la susceptibilidad de la población se reduce, significa que una mayoría de insectos va a sobrevivir a la aplicación del

insecticida. La otra palabra clave es que están controlados genéticamente, es decir que los cambios son transmitidos de generación en generación. En otras palabras la resistencia es genética, los insectos no la crean ni la desarrollan individualmente, sino que han nacido o no resistentes a un insecticida en específico.

Otra definición de resistencia un poco más detallada es: "La resistencia a un insecticida es la pérdida de la susceptibilidad de este compuesto por parte de una población de insectos, originado de un mecanismo genético controlado.

El otro término a definir es "**resistencia cruzada**": la selección con un producto produce también resistencia a otros productos, aunque estos no hayan sido utilizados anteriormente. La selección de una población a un piretroide puede producir resistencia a otro piretroide. Esta población podría ser resistente a otro piretroide nuevo a pesar de que el nuevo piretroide nunca fue aplicado antes.

Casi todas las poblaciones de insectos poseen dentro de ellas individuos resistentes a algún insecticida en específico (estos son un número pequeño dentro de la población). Por ejemplo, cuando una plaga es resistente a un insecticida carbamato, usualmente esto se debe a que el insecto posee un tipo de enzima muy específico, que puede romper y desintoxicar el ingrediente activo o molécula del insecticida.

La resistencia de estos individuos es pasada a su descendencia. Esta resistencia no se convertirá en un problema mientras este conjunto de individuos no crezca o la población se especifique en una sola línea genética.

Por otra parte la inmunidad es una condición creada por los individuos. Por ejemplo: los humanos se convierten en inmunes a enfermedades (tales como sarampión o varicela) luego de padecerlas por primera vez. Pero esta inmunidad no es heredada a sus hijos debido a que no es una característica genética.

Comúnmente se cree que los insectos al encontrarse constantemente expuestos a dosificaciones bajas para su mortalidad, puede crearse inmunidad por parte de estos hacia ese compuesto. Los insectos no desarrollan tal inmunidad; ellos son resistentes o susceptibles por sus características genéticas. Por tanto las sub-dosificaciones no hacen a las plagas resistentes o inmunes. No obstante reducir las dosis tampoco nos provee de un control efectivo.

Irónicamente la mayoría de los individuos resistentes a insecticidas, son del total de la población, los más débiles. Estos se reproducen y desarrollan de manera más lenta que los demás, poseen mayor susceptibilidad a las enfermedades, se mueven de manera más lenta o son de tamaño inferior a sus congéneres. Solamente en un aspecto ellos son más fuertes "su resistencia a un tipo de plaguicida". Una gran cantidad de entomólogos han determinado la razón de esto, y es simplemente que el gen que causa la resistencia de estos individuos generalmente está ligado a genes adversos en el mismo cromosoma. Si no se utilizaran insecticidas por un periodo de tiempo en una población, los individuos resistentes disminuirían constantemente hasta desaparecer (ya que los susceptibles son más fuertes).

1. Desarrollo de la resistencia

Con base en lo planteado anteriormente entonces podemos afirmar que la resistencia es un fenómeno genético. Esto quiere decir que es causado por genes específicos, los cuales pre-existen en una población de insectos a dosis bajas, aún antes de que el insecticida haya sido usado. Un insecto puede nacer resistente, si tiene los genes de resistencia. Cuando estos insectos sobreviven a una aplicación de insecticida, ellos pasan los genes de resistencia a su progenie incrementando la resistencia (o número de individuos resistentes) a dicha población.

Este fenómeno no aparece de la noche a la mañana, generalmente muchas generaciones de especies de insectos han ido y venido antes de que observemos un cambio notable en la población, dejando allí una tasa significativa de individuos resistentes a un insecticida en particular.

Un incremento en la población de individuos resistentes generalmente es acompañado de un decrecimiento de los individuos susceptibles. Existen tres factores que influyen en la rapidez de esto:

- La genética de los insectos
- La actividad biológica de los insectos
- Los métodos utilizados para el control de insectos

Todos hemos oído hablar de Darwin y la mal llamada "Ley del más fuerte" que hoy en día se ha denominado como "Ley de sobrevivencia" que se fundamenta en que sobrevive el mejor adaptado. Comparemos el dinosaurio con la cucaracha. Esta última existe hoy, mientras los dinosaurios desaparecieron hace miles de años; la razón para ello es que la cucaracha se encuentra mejor adaptada para los cambios.

La genética juega un papel fundamental de acuerdo a un principio básico: la supervivencia de los más aptos. Cuando se utiliza un mismo plaguicida repetidas veces para proteger un cultivo (o una serie de cultivos), de una población de insectos la mayoría de los individuos que no posean el gen para la resistencia de ese insecticida serán eliminados. Mientras que las pequeñas poblaciones de individuos resistentes sobrevivirán y se multiplicarán. A menos que se utilicen otros métodos de control estas poblaciones resistentes crecerán hasta el punto de realizar daños significativos en el cultivo (Figura 1).

En el caso de los insectos el fenómeno de la resistencia ocurre por presión de selección. Cuando aplicamos determinado producto, empezamos un proceso de selección para insectos con el gen R (significa resistencia).

En términos comunes se escucha hablar de incremento de resistencia. Esto no es más que un incremento en la frecuencia del gen R.

Resistencia

GEN R
GEN S

R = resistente. S= Susceptible

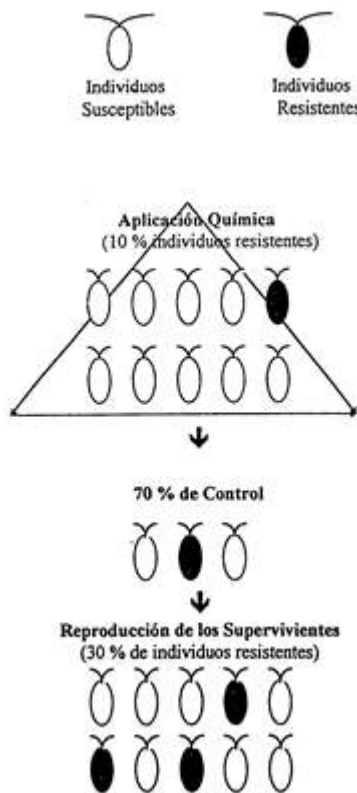


Figura 1. Incremento de individuos resistentes en una población

Una vez la frecuencia del gene R aumenta, la población se vuelve más resistente. Una manera de ilustrar la resistencia es comparando el número de insectos resistentes en una población sin tratar, contra el número de insectos resistentes en una población tratada. Por ejemplo, si consideramos que la población se compone de 100 insectos (individuos), y en ella se encuentran 5 resistentes a la frecuencia es de:

GEN R (5)

Resistentes	_____
	GEN S (95)

100 individuos = 5 resistentes más 95 susceptibles.

Si aplicamos un producto y 80 de los insectos susceptibles mueren, quiere decir que la proporción se cambió:

	GEN R (5)
Resistentes	_____
	GEN S (15)

La relación entre los sobrevivientes cambia y en vez de ser 95 a 5 como antes de la selección, ahora es 15 a 5. Cuando estos 20 insectos se aparean, su progenie de 500 insectos podría componerse de 400 susceptibles y 100 resistentes. Si se continuara seleccionando la proporción entre insectos resistentes y susceptibles se incrementaría con cada generación que es tratada. La idea es prevenir el incremento de la frecuencia del gen R, de tal manera que se evite o retarde el establecimiento de la resistencia. Se puede trabajar de dos maneras:

Si existe una población con genes R, se debe introducir insectos con genes S. Si no se ha establecido, trabajar para prevenir su aparición y la clave es reducir la presión de selección.

Por lo tanto el objetivo final es controlar la población y al mismo tiempo mantener la frecuencia del gen resistente en bajos niveles. Es fácil mantener este gen en bajos niveles, pero las dos cosas al mismo tiempo es difícil. Si nunca se aplica un insecticida a una población, la frecuencia del gen resistente permanecerá bajo y no se presentará resistencia. Pero la población del insecto crecerá tanto que el resultado será un serio daño económico al cultivo.

Hay dos factores que influyen la introducción de genes susceptibles en una población de insectos. Estos son:

1.1. Inmigración y refugio

El primer concepto que me gustaría discutir es el impacto de inmigración en el desarrollo de la resistencia. Como mencioné anteriormente, cualquier cosa que mantenga los genes susceptibles ayudará a prevenir la resistencia. La inmigración de individuos o insectos susceptibles en una población tratada tendrán el efecto de dilución de genes R, y por lo tanto retardarán el incremento de la resistencia.

El segundo factor es el impacto de refugio en el desarrollo de la resistencia. El Dr. George Georgiou de la Universidad de California en Riverside, introdujo este término. En otras palabras significa la evasión de los insectos al tratamiento insecticida. La idea es que al tratar un área,

algunos de los insectos están ocultos y no son alcanzados por la acción del insecticida. Por lo tanto estos no son seleccionados y permanecen susceptibles.

Decíamos anteriormente que cualquier cosa que evite el incremento del gen R ayudará a evitar el establecimiento de la resistencia. Hay algunos factores que pueden ayudar a reducir la presión de selección. Por ejemplo, dosis alta de insecticidas, gran número de aplicaciones y productos muy residuales son tres factores que ayudan a seleccionar gen R y por lo tanto causar resistencia. Se aprecia que las dosis altas incrementan la presión de selección y se disminuye el tiempo para que se presente resistencia. Lo mismo sucedería si aumentáramos el número de aplicaciones o si usáramos plaguicidas de mayor residualidad.

2. Mecanismos de resistencia

Todos los insectos tienen un nivel de susceptibilidad a cada producto. Existen algunos mecanismos bioquímicos que conducen a la resistencia. Según Miller (1988) se clasifican en 4 categorías:

2.1. Resistencia por comportamiento

- Comportamiento evasivo
 - Estimulo dependiente – Repelencia irritabilidad
 - Estimulo Independiente – Prefiere otros hábitats a los normales

2.2. Resistencia a la penetración

- Menor velocidad de penetración
- Mayor capacidad de almacenar y/o excretar el insecticida sin metabolizar
- Excreción aumentada
- Almacenamiento en cuerpos grasos

2.3. Resistencia metabólica

- Sistemas enzimáticos
- Esterasas
- Oxidasas (OFM)
- Glutathion s-transferasas

2.4. Resistencia al sitio de acción

- Insensibilidad en el sitio objetivo

3. Principales mecanismos asociados a los insecticidas

3.1. Organofosforados

Cuando un insecto es resistente a un insecticida organofosforado, generalmente es por causa de un incremento del metabolismo. Este fenómeno es conocido como *resistencia metabólica*, en donde la plaga produce rápidamente una enzima que rompe al insecticida organofosforado desintoxicando al insecto. Este tipo de enzimas generalmente son del tipo de las esterasas. Los organofosforados como chlorpirifos, metamidofos, profenofos, son degradados generalmente por un sistema enzimático de esterasas, y ellos tienden a ser mucho más específicos para cada producto. La resistencia cruzada entre organofosforados es mucho menor. Por ejemplo, se puede tratar con diazinon y seleccionar para una enzima que degrada diazinon. Esta enzima específica podría no afectar a Lorsban* de tal manera que los insectos podrían todavía ser susceptibles. Las enzimas esterasas son usualmente selectivas, y cada una de ellas degradan muy pocos compuestos. Por esta razón **es raro observar resistencia cruzada entre insecticidas organofosforados, a menos que estos posean estructuras químicas parecidas. De igual manera es raro observar resistencia cruzada entre insecticidas organofosforados y carbamatos u organofosforados y piretroides.**

Compuesto insecticida	Tipo de Resistencia			
	Comportamiento	Penetración	Metabólica	Insensibilidad al sitio de acción
Organoclorados			Esterasas, Oxidasas (OFM)	Receptor GABA
DDT	Repelente, Irritante	Mayor cantidad de proteínas cuticulares, Mayor cantidad de lípidos, Mayor esclerotización	Glutation-s-transferasas	Axon - Canal Na - Kdr
Organofosforados			Carboxil esterasas, Oxidasas	Acetil colinesterasa (AChE)
Malathion			Carboxil-esterasas	Acetil colinesterasa (AChE)
Carbamatos			Esterasas, Oxidasas (OFM)	Acetil colinesterasa (AChE)
Piretroides	Repelente, Irritante	Penetración reducida	Oxidasas (OFM), Monooxigenasas, Glutation-s-transferasas	Axon - Canal Na - Kdr
Neonicotinoides			Monooxigenasas	
Reguladores de crecimiento			Monooxigenasas	
Avamectinas / Milbemectinas		Penetración reducida. Excreción aumentada		Disminución en número de receptores
Disruptores de la energía			Monooxigenasas	
Ketoenoles			Oxidasas	
<i>Bacillus thuringiensis</i>				Receptores alterados y/o disminución en número de receptores

3.2. Carbamatos

La resistencia metabólica es utilizada también por los insectos con relación a los insecticidas carbamatos. No obstante el principal mecanismo de resistencia usado por los insectos contra este tipo de compuestos es el sistema enzimático Mixto Función Oxidasa (M.F.O). La resistencia a carbamatos es producida por un mecanismo que es un aumento del metabolismo, el cual descompone la estructura del insecticida. En otras palabras lo que quiere decir es que este sistema enzimático (MFO) ataca el producto y cambia su estructura. Tan pronto como esto sucede el producto se inactiva. A menudo este sistema enzimático presenta resistencia cruzada con otros carbamatos, porque la mayoría de los carbamatos son muy similares en estructura. Por lo tanto el sistema MFO también trabajará en ellos. Este sistema MFO se puede neutralizar con productos sinérgicos. Por ejemplo, el Butoxido de piperonyl.

Pero nosotros encontramos que este sinérgico es utilizado con mayor frecuencia en el control de plagas caseras y no tanto en el control de insectos en cultivos, porque estos productos "sinérgicos" tienden a ser inestables en el medio ambiente exterior.

Este es un sistema general que puede degradar un alto rango de insecticidas. Es por esta razón que **es común observar resistencia cruzada entre insecticidas carbamatos.**

3.3. Piretroides

La resistencia a piretroides es más complicada, debido a que existen varios y diferentes tipos de mecanismos comunes que utilizan los individuos resistentes para metabolizarlos. Hay básicamente tres tipos de mecanismos que producen la resistencia a piretroides. Uno de los mecanismos es penetración reducida. Este mecanismo no es bien entendido pero sabemos que con la penetración reducida se obtiene una baja del transporte del piretroide a través de la cutícula del insecto.

La mayoría de los piretroides son activos como insecticidas de contacto. Los piretroides se tienen que mover a través de la cutícula antes de ser activos y la penetración reducida ocurre cuando se presentan cambios en la cutícula del tal forma que el piretroide no puede atravesarla y producir el efecto tóxico. Generalmente, el incremento de metabolismo para piretroides es el mecanismo MFO. En el mismo sistema enzimático discutido anteriormente para carbamatos. El butóxido de piperonyl actúa inhibiendo este sistema enzimático. Si recuerdan, cuando los piretroides naturales fueron introducidos por primera vez ellos tuvieron un gran poder de volteo. Si se aplicaba a un insecto este inmediatamente caía; pero después de 10 a 20 minutos, se levantaba y se iba. El sistema MFO degrada las piretrinas naturales tan rápidamente que los insectos eran capaces de

recuperarse. Posteriormente se le agregó el Butóxido de piperonil. Este sinergista inhibe el sistema MFO para que los insectos no se recuperen.

Hay sitios químicos específicos en la molécula de piretroides que están sujetos al ataque del sistema MFO. Una de las razones por las cuales los nuevos piretroides son más activos que las piretrinas naturales, es porque esos sitios han sido químicamente alterados para bloquear el sistema MFO. Esta es la razón por la cual los nuevos piretroides no son sinergizados muy bien con el Butóxido de piperonil. El sistema MFO es el principal mecanismo de defensa de los mamíferos, y esta es la razón por la cual los nuevos piretroides son más tóxicos a los humanos que los viejos porque los nuevos productos no pueden ser fácilmente descompuestos por el sistema MFO.

El tercer mecanismo para resistencia a piretroides es también el más importante. Este es insensibilidad del sitio, llamado también resistencia KDR (Knockdown Resistance) o resistencia al volteo inmediato. Básicamente lo que sucede es que el sistema nervioso se vuelve insensible a las dosis letales normales del producto. El piretroides hacen contacto con el sistema nervioso, pero este no se ve afectado, por lo tanto el insecto no muere. Este mecanismo puede producir altos niveles de resistencia. El punto importante con este tipo de resistencia a piretroides es que la resistencia de un producto A produce resistencia cruzada al producto B así no estén relacionados entre sí.

En la mayoría de los casos el mecanismo de resistencia de los insectos no tiene nada que ver con el modo de acción del insecticida. Por el contrario la resistencia es normalmente causada por la inactivación bioquímica del insecticida. Esta desintoxicación está relacionada con la molécula química del insecticida y no con el modo de acción. Por ejemplo, aunque existen insecticidas carbamatos y piretroides con diferente modo de acción, se han reportado casos de resistencia cruzada entre estos insecticidas debido a que ambos son desintoxicados por medio del sistema enzimático (MFO). Por otra parte organofosforados y carbamatos poseen el mismo modo de acción, pero se han observado pocos casos de resistencia cruzada entre ellos, debido a los insectos resistentes poseen diferentes mecanismos de acción para desintoxicarlos.

4. Dinámica de la resistencia

Hay varios factores que influyen la selección de resistencia. Estos factores son: genéticos, biológicos y operacionales. Los factores genéticos y biológicos son inherentes a la biología del organismo. Los factores genéticos serian por ejemplo si los genes son resistentes, dominantes o recesivos.

4.1. Factores genéticos:

- Número de genes de resistencia
- Frecuencia de genes de resistencia
- Dominancia de los genes de resistencia
- Penetración y expresividad de los genes de resistencia

Historia de la selección con insecticidas relacionados

Integración de los genes de resistencia con la capacidad biótica

- Gen Adverso. Produce ciertas características negativas al individuo: menor reproducción, lento desarrollo, susceptibilidad a enfermedades, menor tamaño, movimiento lento.

4.2. Factores biológicos / ecológicos

Algunos de los factores biológicos son:

- Número de generaciones que se dan para un insecto
- Número de descendientes por par, rapidez de distribución en un área y su rango de migración, entre otros.
- Duración de la generación. Mientras más rápido sean transmitidos los genes de resistencia de una generación a la siguiente, mayor posibilidad de generar resistencia. A mayor número de generaciones por año, mayor posibilidad de generar resistencia.
- Ciclo de vida: especies con ciclo de vida corto tienen mayor probabilidad de generar resistencia.
- Cantidad de descendientes por generación. A mayor número de descendientes por par, mayor probabilidad de generar resistencia.
- Monofagia / Polifagia. Insectos plaga polífagos tienen mayor capacidad de detoxificación y por tanto mayor riesgo de desarrollo de resistencia.
- Insectos plaga con pocos hospederos alternos tienen mayor riesgo de desarrollar resistencia.
- Presencia de refugios. Al tratar una población, no todos los individuos serán expuestos al insecticida.
- Movilidad, dispersión. Mientras mayor sea el rango migratorio, mayor será el cruzamiento entre diferentes poblaciones y mayor será la posibilidad de recuperar genes de susceptibilidad retrasando el desarrollo de resistencia.

4.3. Factores operacionales

Los factores operacionales son aquellos que nosotros como productores, técnicos y como industria, y los usuarios finales pueden hacer para influir, prevenir o retardar la selección de resistencia. Por ejemplo, qué agroquímico se va a aplicar, cuántas veces se va a aplicar, qué tan adecuadamente se aplicó el tratamiento.

Hablando de factores operacionales, una de las prácticas utilizadas es las mezclas de insecticidas. Investigadores versados en la materia han logrado demostrar a nivel de laboratorio cómo el continuo uso de una mezcla puede llevar a crear resistencia a la combinación. Los factores operacionales deben considerar:

- Estado biológico. Instar larval
- Naturaleza del insecticida. Sistémicos vs. translaminares: Sistémico: con este tipo de productos cualquier insecto que se alimente de la planta estará expuesto al insecticida.
- Dosis del insecticida: usando la dosis mínima efectiva se retardará la resistencia porque se disminuye la presión de selección.
- Presencia de residuos: a mayor residualidad mayor probabilidad de eliminar los individuos susceptibles.
- Umbral de aplicación. Insectos plaga que atacan cultivos agrícolas con muy bajos o muy estrechos umbrales de acción tienen mayor posibilidad de desarrollar resistencia.
- Frecuencia de aplicación. Afecta la velocidad de resistencia. A mayor número de aplicaciones con el mismo producto mayor probabilidad de desarrollar resistencia.
- Calidad de aplicación. A mejor calidad de aplicación mayor exposición de los insectos susceptibles al producto.

5. ¿Cómo evitar la resistencia?

Cuando hemos despejado todas las dudas con respecto a la resistencia, es muy fácil y claro ver las estrategias a seguir para un buen manejo anti-resistencia de las plagas que se encuentran en un cultivo.

Si la estrategia para combatir la resistencia es implantada y no se obtienen resultados satisfactorios, esto es debido a que ya existe una población con gran cantidad de individuos resistentes. En este caso es muy difícil reducir la carga genética existente, pero la mejor opción es continuar con un plan establecido para bajar los porcentajes de individuos resistentes.

La otra práctica por la cual me inclino más debido a la racionalidad que conlleva, es la rotación de insecticidas. Esta práctica asume que en ausencia del producto la población es

reversible hacia individuos susceptibles. El desarrollo de resistencia se puede evitar con rotación de insecticidas porque cuando se rota de un insecticida a otro, cualquier resistencia que se haya formado para el primer insecticida desaparecerá durante el tiempo que el segundo insecticida es usado. Este esquema de rotación funciona si los productos en la secuencia de rotación tienen diferentes modos de acción y son de diferentes familias (clases o estructuras químicas).

5.1. ¿Cómo operar un programa usando productos diferentes?

El producto A se aplica a la primera generación de insectos, y un ligero incremento en la resistencia podría resultar. Durante la segunda generación se aplica el producto B. En ausencia de presión de selección del producto A, la resistencia comienza a declinar para el producto A. Luego se aplica el producto C. Cuando le corresponda al producto A ser aplicado nuevamente, la susceptibilidad habrá regresado a su nivel original. El mismo fenómeno aplica para los productos B, C y D.

¿Por qué la población resistente vuelve a retornar a población susceptible?

Esto ocurre porque generalmente los insectos que llevan el gen de resistencia no son tan "saludables" (bajo potencial biótico) como aquellos que son susceptibles. En presencia del insecticida, esta carencia de salud (o adaptación al medio ambiente) está oculta por su capacidad para sobrevivir a la presencia del agroquímico. Sin embargo, cuando el producto químico deja de ser aplicado, esta población no puede competir con la saludable (mejor adaptada) o población susceptible al insecticida.

Hablemos ahora un poco de cuando la resistencia se torna prácticamente irreversible, y para esos debemos hablar de los genes deletéreos, también conocidos como genes nocivos. En el proceso de generación de fenómenos de resistencia estos genes nocivos están estrechamente relacionados. Si la selección continúa, el factor negativo (genes deletéreos) que hace a los insectos "no saludables" deja de ser asociado con el gen de la resistencia. Una vez que esto ocurre, los individuos resistentes pueden competir igualmente con los susceptibles aún en la ausencia de los insecticidas. Por tanto, una vez el desarrollo de la resistencia ha progresado hasta tal punto, el hecho de retirar el uso del insecticida no hará regresar a la población al estado de susceptibilidad.

Los puntos importantes a recordar cuando se implementa un programa de rotación son:

El programa de rotación se debe implementar temprano de forma proactiva para prevenir el desarrollo de resistencia. Debemos prevenir que los genes de resistencia se separen de los genes deletéreos, ya que si esto llega a suceder no hay posibilidades de volver a recuperar los genes de susceptibilidad y por lo tanto la única alternativa es cambiar de compuestos.

Se debe rotar entre diferentes clases de productos, como organofosforados, piretroides, carbamatos, neonicotinoides, reguladores de crecimiento y otros. Estos productos no van a seleccionar para el mismo mecanismo de resistencia.

En resumen, les he mostrado que la resistencia no es inmunidad, y que adicionalmente la resistencia se desarrolla para una población y no para un individuo. También que cada especie tiene su propio perfil biológico y por lo tanto las poblaciones van a diferir con respecto al riesgo de desarrollar resistencia.

Discutimos cómo la resistencia se desarrolla por presión de selección, o sea eliminando todos los individuos con genes susceptibles.

Se ha visto que los diferentes productos tienen diferentes tendencias a desarrollar resistencia y el riesgo potencial a desarrollar resistencia varía dependiendo de la familia o clase a la cual pertenezca el insecticida.

Si la presión de selección se reduce, la resistencia puede ser retardada o evitada.

Por último, de los esquemas de manejo de productos, la rotación de insecticidas es el programa de manejo de resistencia más seguro económico y práctico conocido hasta ahora.

Literatura citada

- BECERRA, E. 2006. ¿Qué significa Resistencia a insectos? Dow AgroSciences. Bogotá Colombia. Documento interno.
- BADII MOHAMMAD, H.; GARZA ALMANZA, V. Resistencia en insectos, plantas y microorganismos. en: <http://www2.uacj.mx/IIT/CULCYT/Enero-Febrero2007/5ARTCULOBADII.PDF>
- CLOYD, R.; RICHARD, C. Manejo de Resistencia: Principios de Resistencia, modo de acción y rotación de pesticidas (Traducción al español (Ana Lucrecia de Mac Ven. Universidad Rafael Landívar Guatemala). En: http://www.ct.gov/caes/lib/caes/documents/publications/fact_sheets/forestry_and_horticulture/2010_resistance_fact_sheet_-_ksu_caes_spanish.pdf
- DEVRIES, D.; PAROONAGIAM, D. 2004. Understanding insecticide resistance. Dow AgrSciences power point presentation. Indianapolis, pag 60.
- GEORGHIOU, G. P.; TAYLOR, CH. E. 1986. Los insecticidas y la Resistencia de las plagas: Las consecuencias del abuso. En: http://www.cm.colpos.mx/moodle/file.php/13/LAS_CONSECUENCIAS_DEL_ABUSO.pdf
- GEORGHIOU, G. P.; LAGUNES, A.Y; BAKER, J. D. 1983. Effect of insecticide rotations on evolution of resistance. Fifth International Congress of Pesticide Chemistry (IUPAC), Kyoto. J. Miyamoto *et al.*, eds.
- THOMAS VAN LEEUWEN, J. V., TSAGKARAKOU, A.; DERMAUWA, W. TIRRY, L. 2010. Insect Biochemistry and Molecular Biology. En: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20685616>.

¿Por qué no se ha desarrollado resistencia a *Bacillus thuringiensis* en Lepidoptera que ataca a cultivos transgénicos? Ejemplos comparativos

Carlos Alberto Blanco¹

¹Ph.D. Adjunct Assistant Professor, Department of Biology, The University of New Mexico, Albuquerque, NM. Castetter Hall. Carlos.blanco1206@gmail.com / cblanco@unm.edu

Las nuevas variedades de cultivos desarrolladas a través de la ingeniería genética, también llamados genéticamente modificados (GM) o transgénicos, se han plantado en aproximadamente 35 países (ISAAA 2013) desde hace ≤ 17 años. El crecimiento del área agrícola con estos cultivos ha tenido diferentes niveles de crecimiento en cada país (James 2010), lo que con los últimos datos disponibles indica que ya representan el 10.9% del área agrícola mundial (Ramankutty *et al.* 2008, Brookes y Barfoot 2013). La adopción de dos modificaciones, la tolerancia a ciertos herbicidas, la de mayor aceptación a nivel mundial, y la resistencia a insectos, principalmente a lepidópteros, comprenden la gran mayoría de esa superficie. Debido a que ahora se planta $\sim 10\%$ del área agrícola con cultivos GM, esto ha reducido $\sim 9\%$ el uso de plaguicidas (Brookes y Barfoot 2013). El preservar / aumentar estos beneficios ambientales se ha tomado como una medida gubernamental en diversos países (e.g. Estados Unidos de América [Matten *et al.* 2012]), lo que se ha constituido en estrategias específicas para impedir el desarrollo de resistencia en insectos y malezas clave (US EPA 2001). Los requisitos específicos para preservar la susceptibilidad de las plagas objetivo a la acción de las proteínas de *Bacillus thuringiensis* (Bt) están basados en los principios teóricos de Georhiou y Taylor (1977 a,b). Para entender las particularidades de cultivos tan diversos como el algodón y maíz que producen estas proteínas, la diversidad de plagas que ambos tienen, y el por qué ha habido unos pocos brotes localizados de resistencia a Bt en el campo en ciertas zonas, países con diferente adopción de cultivos GM resistentes a lepidópteros, nos pueden servir de ejemplo para empezar a entender por qué la resistencia a esta bacteria se ha detectado en ciertas zonas y plagas, y en otras no.

Los principios que controlan la velocidad de desarrollo de la resistencia a insecticidas comprenden factores genéticos, biológicos y operacionales (Georhiou y Taylor 1977 a). Los primeros abarcan la frecuencia y el número de alelos resistentes presentes en la población antes de comenzar con la presión de selección del insecticida. La característica genética de estos alelos resistentes (recesivos vs. dominantes) tiene una gran influencia en el desarrollo de resistencia, lo cual se puede entender mejor cuando se toma en cuenta el grado de penetrancia, la expresividad y las interacciones entre los alelos resistentes. La influencia del detrimento en la capacidad biológica (*fitness*) que esta(s) mutación pueda tener en el insecto resistente, así como la historia de presión de selección causada por un tipo determinado de insecticida o por moléculas con modos de acción similar, tendrán una marcada influencia sobre la velocidad de desarrollo, así como en nuestra capacidad de detectar la resistencia. La respuesta biológica del insecto que

puede desarrollar resistencia a Bt también puede estar influida por su velocidad reproductiva (tiempo entre generaciones), la cantidad de progenie y la capacidad de poder hacer un adecuado uso de diferentes hospederos (e.g. monofagia vs. polifagia), la capacidad de desplazamiento entre plantas (movilidad vs. migración) y la capacidad genética / biológica para poder sobrevivir bajo condiciones no favorables durante diferentes periodos de tiempo (invernación / diapausa), y hacer un buen uso de los hospederos que le pueden servir como refugio. La influencia que el agricultor pueda tener en el desarrollo de resistencia abarca el tipo de plaguicida utilizado, la rotación de modos de acción diferentes, la frecuencia con la que se aplique y la residualidad del producto, así como el área que haya sido afectada por la aplicación del insecticida. Todos estos factores indudablemente tendrán que ver con el desarrollo de resistencia a Bt, pero algunos son más relevantes que otros, y en ciertos casos son los únicos con los que contamos con información. Para mostrar cómo estos modelos matemáticos de Georhiou y Taylor, y propuestas similares desarrolladas específicamente para los cultivos GM (Mellon y Rissler 1998), explican o contradicen la presencia de brotes aislados de resistencia a Bt en el mundo, los siguientes ejemplos y argumentos se basarán en solo unos pocos de estos conceptos.

Frecuencia de alelos resistentes a Bt

Una herramienta percibida como fundamental para poder anticipar el posible desarrollo de resistencia, es el conocer la frecuencia o cantidad de los alelos resistentes al plaguicida antes de comenzar a usar este químico. El único ejemplo que conozco sobre la cuantificación de la frecuencia de una mutación específica que hace al gusano tabacalero (*Heliothis virescens* L.) resistente a Bt, fue efectuada por el laboratorio del Dr. Fred Gould y sus colaboradores cuando apenas se empezaba a plantar algodón Bt en el sur de Estados Unidos, el cual expresa la proteína Cry1Ac (Gould *et al.* 1997). Los datos obtenidos indicaron que aproximadamente tres de cada mil adultos de esta plaga ya eran resistentes a Cry1Ac, lo que sirvió para predecir que con esta alta frecuencia de alelos resistentes, la tecnología Bt en este cultivo no iba a durar mucho tiempo. Diez años mas tarde se evaluó la frecuencia de resistencia en este insecto en esa misma zona, indicando que de una muestra similar (1,000 adultos) no se había detectado ninguno de ellos resistente a Bt (Blanco *et al.* 2009). Algo similar sucedió con el gusano rosado (*Pectinophora gossypiella* Saunders) en Arizona. Los investigadores en esa zona algodонера también detectaron una alta frecuencia de alelos resistentes a Cry1Ac (160/1000) un año después de que se empezó a plantar algodón Bt, permitiéndoles especular con la 'inminente' presencia de gusano rosado resistente y el abatimiento de este cultivo GM (Tabashnik *et al.* 2000). Después de esta cuantificación de alelos resistentes en el gusano rosado, se han hecho docenas de evaluaciones y aseveraciones del por qué no se ha detectado resistencia a Bt en esa zona, y la conclusión hasta este momento es que aunque haya habido una alta frecuencia de alelos resistentes, eso no es certidumbre de que se vaya a desarrollar resistencia.

Por otro lado, uno de los primeros países en reportar problemas de resistencia en maíz Bt fue Sudáfrica (*Busseola fusca*, van Rensburg 2007), con un historial de apenas siete años de haber plantado ese tipo de variedades en un área relativamente pequeña (~19%) (James 2010). En este país no se contaba con la cuantificación de los alelos resistentes a Bt antes de comercializar estas

variedades, y las preguntas son: ¿Hubiera sido de alguna utilidad? ¿En los demás países se ha hecho esta determinación 'a priori' y es por eso que no se han detectado brotes de resistencia? El otro país (Puerto Rico) con problemas con maíz Bt atacado por el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* Smith) empezó a presentar problemas en las plantaciones experimentales de maíz que expresa la proteína Cry1F (Matten *et al.* 2012) en ~2001. A pesar de un historial de uso de Bt muy bajo contra esta plaga, y la poca área sembrada con maíz Cry1F en esa isla, apenas hasta hace relativamente poco se sabe más sobre la frecuencia de resistencia de este insecto a esa proteína y a Cry1Ac (Blanco *et al.* 2010, Storer *et al.* 2010). Los ejemplos continúan (*Helicoverpa armigera* en Australia [Mahon *et al.* 2007], y en China [Gao *et al.* 2009], *Diatraea saccharalis* [Huang *et al.* 2008], *Ostrinia nubilalis* [Andow *et al.* 2000]), y las preguntan también: sepamos o no la frecuencia de los alelos resistentes, ¿tiene alguna aplicación práctica para retrasar el desarrollo de la resistencia? ¿Nos ha servido al menos para hacer alguna predicción moderadamente atinada? La respuesta es no.

Dominancia de los alelos resistentes a *Bacillus thuringiensis*

Con excepción de la única colonia de *Helicoverpa zea* que fue resistente a Bt, creada estrictamente bajo condiciones de laboratorio (Konasale *et al.* 2008), las siguientes especies han sido seleccionadas de insectos colectados en el campo, los que ya mostraban cierta tolerancia a Bt en los bioensayos y/o pruebas con cultivos Bt: *Heliothis virescens* (Gould *et al.* 1995), *Helicoverpa armigera* (Akhurst *et al.* 2003), *Spodoptera frugiperda* (Blanco *et al.* 2010, Storer *et al.* 2010), *Ostrinia nubilalis* (Alves *et al.* 2006), *Diatraea saccharalis* (Huang *et al.* 2007), y *Pectinophora gossypiella* (Liu *et al.* 2001). En todas estas colonias se ha determinado que la resistencia a Bt es recesiva o casi completamente recesiva. Sin embargo, cuando se empiezan a entender estos detalles con más información, pensamos que factores genéticos como penetrancia, expresividad y/o las interacciones entre los genes resistentes, pueden ofrecer un panorama diferente sobre lo que es resistencia, la manera de transmitirse, y lo que puede representar en términos de su manejo. En el caso de *H. virescens*, cuya colonia resistente (rr), capaz de tolerar 3,000 veces mas cantidad de Cry1Ac que la colonia susceptible (SS), fue cruzada con la susceptible para criar heterocigotos resistentes, el alelo de resistencia a Bt heredado por la madre, hizo que la descendencia (F_1 / rS) fuera ~40 veces mas resistente a Cry1Ac que los padres susceptibles, y cuando la resistencia fue heredada por el padre (Sr) únicamente ~10 veces mas tolerante (Blanco *et al.* 2008a). La manera como se hereda la resistencia a Cry1Ac en unas colonias de *S. frugiperda* contrasta con lo descrito anteriormente. La colonia de cogollero resistente demostró ser 50 veces más tolerante a esta proteína que la colonia susceptible. Cuando ambas colonias se cruzaron para producir descendencia F_1 , los cogolleros que heredaron la susceptibilidad a Cry1Ac por parte de la madre (Sr) fueron ~3 veces mas susceptibles a Bt que los padres susceptibles (SS), mientras que los que heredaron la resistencia por parte del padre (Sr) resultaron ser 73.000 veces más susceptibles. Resultados similares también se encontraron haciendo bioensayos con la proteína Cry1F (Blanco *et al.* 2010). Insectos heterocigotos con una capacidad ≥ 30 (¿?) veces mayor a tolerar Bt, siguen siendo de preocupación cuando se piensa en programas de manejo de resistencia. Las cruas de homocigotos resistentes con susceptibles, como en este caso específico de gusano tabacalero,

pueden producir progenie bastante apta para sobrevivir dosis sub óptimas de Bt expresadas en diferentes partes de las plantas (Mejia y Zenner de Polanía 2012).

Fitness (capacidad biológica)

En sentido estricto, los costos debidos a la pérdida de *fitness* por una mutación, deben ser medidos en ausencia del estresor, en este caso proteínas Bt, para poder distinguir qué diferencias hay a nivel reproductivo entre los insectos resistentes y los susceptibles (Gassmann et al 2009). En el condensado sobre este tema según los autores, indican que en 18 especies que han mostrado resistencia a Bt, incluyendo Coleoptera y Diptera, se detectó algún decremento en fitness en el 62%, del cual el 15% fue una menor supervivencia, el 7% con un cambio en el tiempo de desarrollo, y el 2% mostraron una menor masa corporal.

Fitness es un indicativo que se debe medir con bastante precisión, ya que por ejemplo, el utilizar un tamaño de muestra reducido, y hacer mediciones ‘crudas’ como suele ser el peso de los insectos, que tiene una variabilidad intrínseca muy alta, nos puede indicar a través de los análisis estadísticos que las diferencias no existen (e. g. Wu *et al.* 2009). Gassmann y colaboradores indican que estas reducciones en la capacidad reproductiva de los insectos resistentes son de mayor importancia cuando éstos se reproducen en los refugios donde no hay presión de selección y una mayor competencia con los conspecíficos susceptibles; algo en lo que yo estoy parcialmente de acuerdo. Consideremos por ejemplo la situación de *H. virescens* resistente a Bt. Estos tabacaleros resistentes producen la mitad de huevos que los resistentes (Blanco *et al.* 2008a), un factor por demás significativo para la sobrevivencia y mantenimiento de sus genes resistentes. Pero cuando se toma en cuenta otras características como el tiempo durante el que los huevos fueron producidos, se nota que hay dos curvas de distribución bastante definidas entre los resistentes y los susceptibles, y sobre todo la de los tabacaleros heterocigotos (ver cuadro 2, p. 1409 en Blanco *et al.* 2008a). Esta distribución de huevos en un periodo de tan solo 4 días puede indicar que el ‘aislamiento’ reproductivo temporal, puede beneficiar principalmente a los heterocigotos bajo ciertas condiciones ambientales y/o la presencia de enemigos naturales. A lo que voy aquí es que 1) los detalles con los que se debe medir el detrimento en *fitness* nos obliga a hacer la labor más detallada posible para contar con la mejor información, 2) la interpretación de los parámetros de cada especie se deben analizar caso por caso, y 3) en ciertas zonas de algunos países, los cultivos Bt cubren más del 90% del área, proporcionándoles la ventaja de poder competir más fácilmente con los insectos susceptibles.

Polifagia y/o número de hospederos

Los listados botánicos se remontan a siglos atrás (e. g. Carl Linnaeus [1707-1778]), y la distribución de plantas importantes se ha mantenido en la mayoría de los casos como algo estático. Por lo general, una vez que existe un récord de distribución de una planta en un área geográfica, permanece de ese momento en adelante, ya que es relativamente más difícil documentar que una planta ya no existe en la zona geográfica en la que se había reportado, ya que su ahora ausencia tiene que ver con la estacionalidad de cuando se hizo el nuevo censo, la capacidad de la planta para permanecer en el banco de semillas del suelo, etcétera, junto con la siempre cambiante

determinación taxonómica que agrupa y divide especies constantemente. Mi punto aquí es que una vez que se reportó que la especie de planta 'X' fue encontrada en, digamos Colombia, se tiende a pensar que ésta abunda por todo el país y/o que se encuentra presente todo el año. La maleza X bien pudo haber sido encontrada en una sola finca y por lo general la información del reporte o del espécimen en la colección del museo carece de datos que indiquen la distribución geográfica real y su densidad. La maleza X años después puede ser reportada como un hospedero de determinada plaga, o peor aun, que determinada plaga fue encontrada en esa planta, lo que no indica necesariamente que estuvo haciendo daño y/o su capacidad de reproducirse alimentándose de ella. Al hacer una revisión de literatura y ver estos récords se puede llegar a la conclusión de que la maleza X es uno de los hospederos de la plaga 'Y' en Colombia; nada más lejano de lo que puede ser la realidad.

Cuando comencé a trabajar en los hospederos de *H. virescens* en 1999, debido a mi falta de conocimiento, hice unos trabajos de tablas de vida utilizando dos plantas que había identificado en mi pobre entender como *Geranium* spp. Dichas plantas produjeron los mejores parámetros de expectativa de vida y fertilidad para el gusano tabacalero, pero ninguna de estas plantas habían sido reportadas como hospederos de *H. virescens*, y lo peor de esta situación es que cuando estas dos malezas se encontraban en los campos agrícolas de Mississippi, era en la época cuando no había actividad de esta plaga. La situación es más compleja de lo que he descrito en esta líneas por razones que espero explicar en un futuro, pero esto indica que algunos insectos tienen la capacidad de hacer un buen uso del alimento, no siendo éste el que pertenezca al medio y/o que haya sincronía espacio-tiempo entre hospedero y herbívoro. Otra situación que me ha llamado mucho la atención es por ejemplo la inclusión de nogal pecanero (*Carya illinoensis* (Wangenh.) K.Koch)) como hospedero de esta plaga (Payne y Polles 1974). De 1993 al 2003 trabajé intensamente en este cultivo en las áreas más importantes de Estados Unidos y México, durante el cual nunca pude ver algún tabacalero u oír algún reporte de esta plaga atacando a los árboles. Aunque la determinación taxonómica de los insectos en el reporte de Payne y Polles deja mucho que desear, el haber encontrado huevos de *Heliothis* / *Helicoverpa*, y daño en terminales en unos pocos árboles, indica la capacidad de este insecto de alimentarse fortuitamente (¿accidentalmente?) hasta en 99 especies de plantas (Blanco *et al.* 2007). Además, lo que en algún tiempo pudo haber sido uno de los hospederos favoritos de un insecto, como en el caso de *H. virescens* y *Geranium* spp. (Stabelbacher 1981), no indica que este insecto siga alimentándose de la misma planta 25 años después (Blanco *et al.* 2008b). Como ya había cometido el error de haber mal identificado ciertas malezas en mi trabajo previo con hospederos de tabacalero, situación que después corregí con la ayuda de taxónomos, me di a la labor de entender un poco más acerca de las diferencias entre el reporte de Stadelbacher (1981) y el mío (nuestro) (2007). Afortunadamente el Dr. Earl Stadelbacher sigue viviendo en la misma zona que ambos usamos para nuestros experimentos, así que pude entrevistarle. Su respuesta fue bastante simple: '*¿acaso estás ciego y no te has dado cuenta que el ambiente agrícola ha cambiado radicalmente en las últimas décadas?*' Ese ha sido uno de los mejores 'regañones' que haya tenido en mi vida profesional (Una explicación parcial a la situación de los hospederos de *H. virescens* la puedes encontrar en Blanco 2012). Sin embargo, los modelos matemáticos que toman en cuenta la densidad de hospederos y plagas, así como su rol en la dinámica de poblaciones, siguen siendo alimentados

con este tipo de información fuera de contexto actual, debido parcialmente a que no se cuenta con nuevos datos que validen o refuten esta información.

Lo anterior podrá tal vez tener cierto cariz anecdótico / histórico, pero contando con nueva información proveniente de los cada día más importantes / ubicuos trabajos de biología molecular, ahora entendemos que algunas especies tienden a alimentarse en ciertas plantas, aunque las no-tan-preferidas se encuentren presentes en el mismo lugar al mismo tiempo. Por ejemplo, *S. frugiperda* se ha clasificado en dos ‘razas’ llamadas arroz y maíz precisamente por la preferencia de estas dos razas simpátricas en muchas partes del Continente Americano (Pashley 1996, Saldamando y Vélez-Arango 2010, Salinas-Hernandez y Saldamando-Benjumea 2011), y que ahora se entiende que los mecanismos de especiación en esta plaga, que pueden ser verificados a nivel genético, están regidos en parte a través de diferentes mezclas que estas razas hacen con sus feromonas sexuales (Groot *et al.* 2008 y 2010). De la misma manera he especulado que esto debe estar sucediendo con *H. virescens* (Blanco 2012), obviamente basado en el trabajo de otros, y existen ahora datos que confirman mecanismos similares en *O. nubilalis* (Malaus *et al.* 2005) y *H. armigera* (Scott *et al.* 2005, Patil *et al.* 2006).

Movimiento (¿migración?) y refugios

El movimiento en los animales implica el uso de energía que podría utilizarse en otras funciones básicas como la reproducción. Las plagas en ambientes agrícolas por lo general están provistas de condiciones óptimas para que puedan completar su ciclo reproductivo, he de ahí que por lo general se convierten en un problema. La pregunta entonces es ¿qué involucra su movimiento y cuándo lo podemos considerar como migración?

Las plagas en los cultivos transgénicos tienden a moverse en la planta y entre ellas (e. g. *H. zea* en algodónero [Gore *et al.* 2002], *O. nubilalis* [Hunt *et al.* 2001, Razze *et al.* 2012], y *D. saccharalis* [Wangila *et al.* 2013] en maíz), buscando aquellas que provean un mejor sitio de alimentación y dispersándose de sus congéneres para evitar la competencia, pero para que este movimiento se pueda considerar como migración, de acuerdo a Loxdale y Lushai (1999), en las poblaciones de insectos herbívoros hay factores genéticos que impiden el movimiento a grandes escalas, a menos que las condiciones ambientales se deterioren al grado de forzarlos a migrar. Como la mayoría de los animales no son migratorios, la expansión y encogimiento de su distribución bien puede seguir patrones estocásticos y no un movimiento dirigido. El punto aquí es que el movimiento (¿migración?) a larga escala, se ha percibido como un mecanismo con el cual 1) alelos resistentes se pueden mover otra área geográfica y/o 2) alelos susceptibles ‘inundan’ otra población en la que se encuentran alelos resistentes con la consiguiente posible dilución de la resistencia. Citando nuevamente a Loxdale y Lushai, migración no es equivalente a flujo de genes. En su sentido estricto, el flujo de genes ocurre cuando los animales se reproducen exitosamente y dejan descendencia seguido por su movimiento entre dos o más poblaciones. La mayoría de los animales son ‘esclavos de su ambiente,’ y muy pocos son verdaderamente migratorios.

Bajo esta lógica del valor del movimiento de alelos susceptibles hacia una población donde hay resistentes, la premisa básica de la función de los refugios, debe de existir algún hospedero /

área libre de presión de selección donde los insectos susceptibles puedan reproducirse en una cantidad mucho mayor que los resistentes. Para que un refugio sirva como una parte del área agrícola en la que las plagas se pueden desarrollar sin presión de selección a Bt, ésta debe de producir insectos susceptibles simpátricamente con los resistentes a una distancia apropiada para que el movimiento haga que ambas poblaciones coincidan en espacio / tiempo. Los refugios se han pensado como una proporción (e. g. 0, 5, 20, 50%) del área dependiendo de la zona, el cultivo y la especie de plaga, teniendo en cuenta que en determinadas circunstancias puede haber dos o más cultivos transgénicos, a los que dos o mas plagas los atacan, por lo tanto no puede haber un diseño del refugio para cada caso en particular por sus restricciones prácticas. Sin embargo, para que esta superficie pueda cumplir con su función, consideraciones particulares se tienen que tener también en cuenta como la fragmentación del hábitat que produce un decremento en la riqueza de especies, lo que hace que esta falta de 'conectividad' entre fragmentos similares impida el movimiento y que ayude a que las plagas escapen del efecto de los enemigos naturales (Kruess y Tscharntke 1994), pero esto depende del tamaño del fragmento y de la especie de enemigo natural de que se trate (With *et al.* 2002).

Si nos basamos entonces en esta premisa de los refugios, con la que se supone la resistencia se puede manejar (Georhiou y Taylor 1977a, y los que han elaborado sobre este concepto desde entonces), sería de esperarse entonces que, por ejemplo, en Estados Unidos donde el refugio es ~15%, con un área de maíz GM equivalente a 32 millones de hectáreas (USDA-FAS 2013), y un historial de presión de selección que lleva ya 17 años, fuera un lugar donde el desarrollo de resistencia fuera mayor, comparada por ejemplo con Sudáfrica que tiene un refugio de maíz de ~81%, equivalente a 2,5 millones de ha y una presión de selección que comenzó diez años después que en Estados Unidos. Por supuesto que la comparación del desarrollo de resistencia a Bt en *Busseolla fusca*, el problema que tuvo Sudáfrica, con los noctuidos del maíz de Estados Unidos (e.g. *Spodoptera frugiperda*, *Helicoverpa zea*, y/o *Agrotis ipsilon*, entre otros) o con los barrenadores (*Ostrinia nubilalis*, *Diatraea* spp.), tal vez no sea la mejor forma de abordar este tema. Sin embargo, para conocer más sobre el efecto que puede tener un refugio, la ausencia de resistencia a Bt en lepidópteros en Estados Unidos, es un ejemplo que pone en tela de juicio el papel que fungen las zonas de refugio.

Otro caso interesante lo vuelve a ser *Heliothis virescens* en Estados Unidos, la plaga por la que se desarrolló el algodón Bt debido su gran importancia económica y altos niveles de resistencia a insecticidas sintéticos (Blanco 2012). El algodón Bt en ese país tiene una adopción similar a la del maíz Bt, lo que ejerce una presión de selección similar, y que sirve también como hospedero para seleccionar la resistencia a la bacteria en varias de las especies como *S. frugiperda* y *H. zea*, lo que aun hace mas interesante este dilema. A pesar de los reportes sensacionalistas sobre la 'evidencia' de la mal interpretada resistencia en Lepidoptera en Estados Unidos, a casi dos décadas de la enorme presión de selección, no se han detectado brotes en el campo que acusen este problema, ni se han aislado colonias provenientes de estos sitios que hayan demostrado resistencia a Bt en el laboratorio.

Por último, cuando de comercializó el algodón Bt en Australia, el gobierno pidió que 1) se implementaran los refugios necesarios de algodón convencional y además, 2) no se sembrara más del 70% de un predio agrícola con este cultivo, ampliando así a la fragmentación del

hábitat y la diversidad de hospederos (Downes *et al.* 2007). Irónicamente, Australia ha sido uno de los pocos países que ha reportado un incremento en la tolerancia a Bt en *H. armigera* con ciertos brotes localizados y esporádicos en los que esta plaga ha causado daño al cultivo (Downes y Mahon 2012).

Debido a mi (nuestro) pobre entendimiento de la biología y ecología de los cultivos y plagas, así como la falta de datos empíricos que nos ayuden a salir de la ignorancia, se ha tenido que recurrir a los modelos matemáticos para predecir las posibles consecuencias de la presencia de los cultivos transgénicos a gran escala. Para confiar en lo que éstos nos pueden enseñar, habrá que tomar también en cuenta la reflexión de uno de los matemáticos más importantes del siglo XX, George E. P. Box que escribió que '*hay que tener en cuenta que todos los modelos (matemáticos) están equivocados; pero la pregunta práctica es ¿qué tan mal tienen que estar para que no sean útiles?*'

Literatura citada

- AKHURST, R. J.; JAMES, W.; BIRD, L. J.; BEARD, C. 2003. Resistance to the Cry1Ac delta-endotoxin of *Bacillus thuringiensis* in the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Economic Entomology* 96: 1290-1299.
- ALVES, A. P.; SPENCER, T. A.; TABASHNIK, B. E.; SIEGFRIED, B. D. 2006. Inheritance of Resistance to the Cry1Ab *Bacillus thuringiensis* Toxin in *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera: Crambidae). *Journal of Economic Entomology* 99: 494-501.
- ANDOW, D. A.; OLSON, D. M.; HELLMICH, R. L.; ALSTAD, D. N.; HUTCHISON, W. D. 2000. Frequency of resistance to *Bacillus thuringiensis* toxin Cry1Ab in an Iowa population of European corn borer (Lepidoptera: Crambidae). *Journal of Economic Entomology* 93: 26-30.
- BLANCO, C. A.; TERÁN-VARGAS, A. P.; LÓPEZ Jr., J. D.; KAUFFMAN, J. V.; WEI, X. 2007. Densities of *Heliothis virescens* and *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae) in three plant hosts. *Florida Entomologist* 90: 742-750.
- BLANCO, C. A.; PERERA, O. P.; GOULD, F.; SUMERFORD, D. V.; HERNÁNDEZ, G.; ABEL, C. A.; ANDOW, D. A. 2008a. An empirical test of the F₂ screen for detection of *Bacillus thuringiensis*-resistance alleles in tobacco budworm (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Economic Entomology* 101: 1406-1414.
- BLANCO, C. A.; TERÁN-VARGAS, A. P.; ABEL, C. A.; PORTILLA, M.; ROJAS, M. G.; MORALES-RAMOS, J. A.; SNODGRASS, G. L. 2008b. Plant Host Effect on the Development of *Heliothis virescens* F. (Lepidoptera: Noctuidae). *Environmental Entomology* 37: 1538-1547.
- BLANCO, C. A.; ANDOW, D. A.; ABEL, C. A.; SUMERFORD, D. V.; HERNÁNDEZ, G.; LÓPEZ, J. D.; ADAMS JR., L.; GROOT, A.; LEONARD, R.; PARKE, R. R.; PAYNE, G.; PERERA, O. P.; TERÁN-VARGAS, A. P.; AZUARA-DOMÍNGUEZ, A. 2009. *Bacillus thuringiensis* Cry1Ac resistance frequency in tobacco budworm (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Economic Entomology* 102: 381-387.
- BLANCO, C. A.; PORTILLA, M.; JURAT-FUENTES, J. L.; SÁNCHEZ, J. F.; VITERI, D.; VEGA-AQUINO, P.; TERÁN-VARGAS, A. P.; AZUARA-DOMÍNGUEZ, A.; LÓPEZ, J. D. Jr.; ARIAS, R.; ZHU, Y.-C.; LUGO-BARRERA, D.; JACKSON, R. 2010. Susceptibility of Isofamilies of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) to Cry1Ac and Cry1Fa Proteins of *Bacillus thuringiensis*. *Southwestern Entomologist* 35: 409-415.

- BLANCO, C. A. 2012. *Heliothis virescens* and Bt cotton in the United States. GM Crops and Food Biotechnology in Agriculture and the Food Chain 3 (3): 1-12.
- BROOKES, G.; BARFOOT, P. 2013. Key environmental impacts of global genetically modified (GM) crop use 1996–2011. GM Crops and Food: Biotechnology in Agriculture and the Food Chain 4: 1-11.
- DOWNES, S.; MAHON, R.; OLSEN, K. 2007. Monitoring and adaptive resistance management in Australia for Bt-cotton: Current status and future challenges. Journal of Invertebrate Pathology 95: 208-213.
- DOWNES, S.; MAHON, R. 2012. Successes and challenges of managing resistance in *Helicoverpa armigera* to Bt cotton in Australia. GM Crops and Food: Biotechnology in Agriculture and the Food Chain 3: 1-7.
- GASSMANN, A. J.; CARRIÈRE, Y.; TABASHNIK, B. E. 2009. Fitness Costs of insect resistance to *Bacillus thuringiensis*. Annual Review of Entomology 54: 147-163.
- GAO, Y.; WU, K.; GOULD, F.. 2009. Frequency of *Bt* resistance alleles in *H. armigera* during 2006–2008 in Northern China. Environmental Entomology 38: 1336-1342.
- GEORGHIOU, G. P.; TAYLOR, C. E. 1977a. Genetic and biological influences in the evolution of insecticide resistance. Journal of Economic Entomology 70: 319-323.
- GEORGHIOU, G. P.; TAYLOR, C. E. 1977b. Operational influences on the evolution of insecticide resistance. Journal of Economic Entomology 70: 653-658.
- GORE, J., LEONARD, B. R.; CHURCH, G. E.; COOK D. R. 2002. Behavior of bollworm (Lepidoptera: Noctuidae) larvae on genetically engineered cotton. Journal of Economic Entomology 95:763-769.
- GOULD, F.; ANDERSON, A.; REYNOLDS, A.; BUMGARNER, L.; MOAR, W. 1995. Selection and genetic analysis of a *Heliothis virescens* (Lepidoptera: Noctuidae) strain with high levels of resistance to *Bacillus thuringiensis* toxins. Journal of Economic Entomology 88: 1545-1559.
- GOULD, F.; ANDERSON, A.; JONES, A.; SUMERFORD, D.; HECKEL, D. G.; LOPEZ, J.; MICINSKI, S.; LEONARD, R.; LASTER, M. 1997. Initial frequency of alleles for resistance to *Bacillus thuringiensis* toxins in field populations of *Heliothis virescens*. Proceedings of the National Academy of Sciences, U.S.A. 94: 3519–3523.
- GROOT, A. T., MARR, G. SCHÖFL, S. LORENZ, A. SVATOS y D. G. HECKEL. 2008. Host strain specific sex pheromone variation in *Spodoptera frugiperda*. Frontiers in Zoology 5:20 doi:10.1186/1742-9994-5-20.
- GROOT, A. T.; MARR, M.; HECKEL, D. G.; SCHÖFL, G. 2010. The roles and interactions of reproductive isolation mechanisms in fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) host strains. Ecological Entomology 35: 105-118.
- HUANG, F.; LEONARD, B. R.; ANDOW, D. A. 2007. Sugarcane borer (Lepidoptera: Crambidae) resistance to transgenic *Bacillus thuringiensis* maize. Journal of Economic Entomology 100: 164-171.
- HUANG, F.; LEONARD, B. R.; MOORE, S. H.; COOK, D. R.; BALDWIN, J.; TINDALL, K. V.; LEE, D. R. 2008. Allele frequency of resistance to *Bacillus thuringiensis* Cry1Ab corn in Louisiana populations of sugarcane borer (Lepidoptera: Crambidae). Journal of Economic Entomology 101: 492-498.

- HUNT, T. E.; HIGLEY, L. G.; WITKOWSKI, J. F.; YOUNG, L. J.; HELLMICH, R. L. 2001. Dispersal of adult European corn borer (Lepidoptera: Crambidae) within and proximal to irrigated and non-irrigated corn. *Journal of Economic Entomology* 94: 1369–1377.
- INTERNATIONAL SERVICE FOR THE ACQUISITION OF AGRI-BIOTECH APPLICATIONS (ISAAA). <http://www.isaaa.org/gmapprovaldatabase/default.asp> Fecha último acceso: [26 Abr 2013].
- JAMES, C. 2010. A global overview of biotech (GM) crops. *GM Crops* 1: 8-12.
- KONASALE, J. A.; RODRIGO-SIMÓN, A.; FERRÉ, J.; PUSZATAI-CAREY, M.; SIVASUPRAMANIAM, S.; MOAR, W. J. 2008. Production and characterization of *Bacillus thuringiensis* Cry1Ac-resistant cotton bollworm *Helicoverpa zea* (Boddie). *Applied and Environmental Microbiology* 74: 462-469.
- KRUESS, A.; TSCHARNTKE, T. 1994. Habitat fragmentation, species loss, and biological control. *Science* 264: 1581-1584.
- LIU, Y-B.; TABASHNIK, B. E.; MEYER, S. K.; CARRIÈRE, Y.; BARTLETT, A. C. 2001. Genetics of pink bollworm resistance to *Bacillus thuringiensis* toxin Cry1Ac. *Journal of Economic Entomology* 94: 248-252.
- LOXDALE, H. D.; LUSHAI, G. 1999. Slaves of the environment: the movement of herbivorous insects in relation to their ecology and genotype. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 354: 1479-1495.
- MAHON, R. J.; OLSEN, K. M.; DOWNES, S.; ADDISON, S. 2007. Frequency of Alleles Conferring Resistance to the Bt Toxins Cry1Ac and Cry2Ab in Australian Populations of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Economic Entomology* 100: 1844-1853.
- MALAUSSA, T.; BETHENOD, M. T.; BONTEMPS, A.; BOURGUET, D.; CORNUET, J-M.; PONSARD, S. 2005. Assortative mating in sympatric host races of the European corn borer. *Science* 308: 258-260.
- MATTEN, S. R.; FREDERICK, R. J.; REYNOLDS, A. H. 2012. United States Environmental Protection Agency insect resistance management programs for plant-incorporated protectants and use of simulation modeling. pp. 175-267. In: C.A. Wozniak, A. McHughen (eds.) "Regulation of agricultural biotechnology: The United States and Canada". Springer.
- MEJÍA C., R.; ZENNER DE POLANÍA, I. 2012. Expresión de la toxina Cry1Ab en maíz transgénico Yieldgard® en los Llanos Orientales de Colombia. *Southwestern Entomologist* 37: 209-223.
- MELLON, M.; RISSLER, J. 1998. Now or never: serious new plans to save a natural pest control. Union of Concerned Scientists, Cambridge, MA.
- PASHLEY, D. P. 1986. Host-associated genetic differentiation in fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae): a sibling species complex? *Annals of the Entomological Society of America* 79: 898-904.
- PATIL, S. BASHASAB; KURUVINASHETTI, F.; PATIL, M. S.; VIJAYKUMAR BASAVANAGOUD, B. V. 2006. Genetic relatedness among *Helicoverpa armigera* (Hübner) occurring on different host plants as revealed by random amplified polymorphic DNA markers. *Journal of Asia-Pacific Entomology* 9: 227-233.
- PAYNE, J. A.; POLLES, S. G. 1974. Pecan: a new host for tobacco budworms and corn earworms. *Journal of Economic Entomology* 67: 295-296.

- RAMANKUTTY, A.; AMATO, T.; EVAN, T.; MONFREDI, C.; FOLEY, J. A. 2008. Farming the planet: Geographic distribution of global agricultural lands in the year 2000. *Global Biogeochemical Cycles* 22: GB1003, doi:10.1029/2007GB002952.
- RAZZE, J. M.; MASON, C. E. 2012. Dispersal behavior of neonate European corn borer (Lepidoptera: Crambidae) on Bt corn. *Journal of Economic Entomology* 105: 1214-1223.
- SALDAMANDO, C. I.; VÉLEZ-ARANGO, A. M. 2010. Host plant association and genetic differentiation of corn and rice strains of *Spodoptera frugiperda* Smith (Lepidoptera: Noctuidae) in Colombia. *Neotropical Entomology* 39: 921-929.
- SALINAS-HERNÁNDEZ, H.; SALDAMANDO-BENJUMEA, C. I. 2011. Haplotype Identification within *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) Corn and Rice Strains from Colombia. *Neotropical Entomology* 40: 421-430.
- SCOTT, L. J.; LAWRENCE, N.; LANGE, C. L.; GRAHAM, G. C.; HARDWICK, S.; ROSSITER, L.; DILLON, M. L.; SCOTT, K. D. 2005. Population Dynamics and Gene Flow of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) on Cotton and Grain Crops in the Murrumbidgee Valley, Australia. *Journal of Economic Entomology* 99: 155-163.
- STORER, N. P.; BABCOCK, J. M.; SCHLENZ, M.; MEADE, T.; THOMPSON, G. D.; BING, J. W.; HUCKABA, R. M. 2010. Discovery and Characterization of Field Resistance to Bt Maize: *podoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Puerto Rico. *Journal of Economic Entomology* 103(4): 1031-1038.
- TABASHNIK, B. E.; PATIN, A. L.; DENNEHY, T. J.; LIU, Y.-B.; CARRIÈRE, Y.; SIMS, M. A.; ANTILLA, L. 2000. Frequency of resistance to *Bacillus thuringiensis* in field populations of pink bollworm. *Proceedings of the National Academy of Sciences, U.S.A.* 97: 12980-12984.
- U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE, FOREIGN AGRICULTURAL SERVICE (USDA-FAS) 2013. <http://www.fas.usda.gov/data.asp> Fecha último acceso: [26 Abr 2013].
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). 2001. Biopesticides registration action document: *Bacillus thuringiensis* plant-incorporated protectants. Biopesticides and Pollution Prevention Division, Washington, DC. http://www.epa.gov/opbpbpd1/biopesticides/pips/bt_brad.htm
- Van RENSBURG, J. B. J. 2007. First report of field resistance by the stem borer, *Busseola fusca* (Fuller) to Bt-transgenic maize. *South African Journal of Plant and Soil* 24(3): 147-151.
- WANGLIA, D. S.; LEONARD, B. R.; GHIMIRE, M. N.; BAI, Y.; ZHANG, L.; YANG, Y.; EMFINGER, K. D.; HEAD, G. P.; YANG, F.; NIU, Y.; HUANG, F. 2013. Occurrence and larval movement of *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae) in seed mixes of non-Bt and Bt pyramid corn. *Pest Management Science* doi: 10.1002/ps.3484.
- WITH, K. A.; PAVUK, D. M.; WORCHUCK, J. L.; OATES, R. K.; FISHER, J. L. 2002. Threshold effects of landscape structure on biological control in agroecosystems. *Ecological Applications* 12: 52-65.
- WU, X.; HUANG, F.; ROGERS, B.; GHIMIRE, M. 2009. Growth and development of *Bacillus thuringiensis* Cry1Ab-susceptible and Cry1Ab-resistant sugarcane borer on diet and conventional maize plants. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 133: 199-207.

La terapia larval en el contexto de sus características, avances y perspectivas

Felio J. Bello García¹

¹Ph D. Profesor e Investigador, Escuela de Medicina y Ciencias de la Salud, Universidad del Rosario, Bogotá D.C., Colombia

Introducción

La terapia larval, biocirugía, bioterapia o terapia de desbridamiento larval es el uso de larvas asépticas de moscas de la familia Calliphoridae en el tratamiento de heridas crónicas de difícil cicatrización (Figura 1). Estas heridas incluyen, entre otras, úlceras causadas por enfermedades vasculares (venosas, arteriales y mixtas), por infección crónica, úlceras por presión y aquellas generadas por complicaciones diabéticas (Horobin *et al.* 2003).

A medida que la población envejece, el número de pacientes que sufren de heridas crónicas, atribuibles a enfermedades sistémicas de base, ha venido en aumento, tales patologías más comunes son: diabetes mellitus y enfermedad vascular periférica. Esta situación genera un impacto significativo sobre el sistema de salud, debido a la persistencia de los cuidados que requieren los pacientes y a los costos asociados con su manejo. En Inglaterra, por ejemplo, se hizo un estimativo anual de 1 billón de libras de esterlinas en gastos por parte del Servicio Nacional de Salud (NAO, 2004) (Harding *et al.* 2002) y a nivel mundial los costos en los tratamientos anuales de las heridas crónicas podría estar en el orden de los 12 billones de dólares (Harding *et al.* 2002; Frykberg *et al.* 2006). En los anteriores gastos no se incluyen las incapacidades laborales, representadas en dos millones de días de trabajos perdidos (McGuckin y Kerstein 1998), y las secuelas que ocasionan estas lesiones, cuyos valores podrían ser incalculables, además del impacto negativo que tienen en la calidad de vida de los pacientes y de sus familias.

Las heridas, de acuerdo con el tiempo de evolución en el proceso de cicatrización, se dividen en dos tipos: agudas y crónicas. Las primeras se caracterizan por la curación completa en el tiempo previsto y por no presentar complicaciones, en tanto que las agudas se mantienen retrasadas en el tiempo de curación y es común la ausencia de crecimiento de los tejidos, en razón a que se detienen en la fase inflamatoria, por lo general debido a un proceso patológico subyacente, tales como diabetes o insuficiencia vascular. Se ha demostrado científicamente que la terapia larval es una alternativa efectiva, segura y económica para el tratamiento de este último tipo de heridas que mantienen tejido necrótico y, por lo general, están infectadas. La acción de las larvas sobre las heridas ocurre a través de tres mecanismos estrechamente relacionados: limpieza del tejido necrótico, eliminación de bacterias y microorganismos y estimulación en el crecimiento

del tejido de granulación (Church 1996; Thomas *et al.* 1999; Sherman *et al.* 2000; Mumcuoglu 2001; Wolff & Hansson 2005; Spilsbury *et al.* 2008).

En la actualidad, la terapia larval es corrientemente utilizada por médicos de diferentes clínicas y hospitales en muchos países del mundo como Israel, Alemania, Inglaterra, Suiza, Suecia, Australia, Ucrania, Tailandia, los Estados Unidos, Canadá, México, Brasil, Perú, Chile y Argentina (Mumcuoglu *et al.* 1998). En Colombia se ha venido utilizando hace ya varios años (Wolff *et al.* 2010; Rey *et al.* 2010, Téllez *et al.* 2012); sin embargo, aun no está regulada legalmente para uso en pacientes humanos.

En la presentación del tema de terapia larval, revisaremos las características, los avances logrados a la fecha y las perspectivas futuras.

Características de la terapia larval

Reseña histórica. La utilización de larvas de insectos, y en especial dípteros, en el manejo y curación de heridas ha sido una técnica practicada desde varios siglos atrás. Sus efectos benéficos han sido reportados en libros como la Biblia (Job 7:5) y el *Hortus sanitus*, manual médico publicado en Maguncia, Alemania, en 1491 (Dunbar 1944). Otros datos encontrados sobre el uso de la biocirugía como técnica para el tratamiento de heridas datan de la guerra civil en Estados Unidos, donde se describen infestaciones oportunistas por larvas de moscas que ayudaban a limpiar las heridas y a impedir su contaminación (Chernin 1986).

Sin embargo, hace casi 70 años, el verdadero pionero de la biocirugía fue William Baer, cirujano y ortopedista Norte Americano, quien observó los beneficios de las larvas en heridas traumáticas, durante la primera guerra mundial cuando comenzó a utilizarlas durante su práctica. Baer estudió sus efectos en 89 pacientes con osteomielitis crónica reportando resultados positivos en un 90%, dado que las larvas utilizadas por Baer no estaban esterilizadas, algunos de sus pacientes llegaron a infectarse con *Clostridium tetani*. Por otro lado, este suceso hizo que en los siguientes años se dedicara a desarrollar un método eficaz para producir larvas estériles (Baer 1931). Hacia los años cuarenta, la introducción de los antibióticos como las sulfonamidas y la penicilina en el manejo y cuidado de las heridas tuvo un efecto dramático en la terapia de desbridamiento larval de heridas infectadas, al desaparecer esta técnica casi por completo (Baer 1931; Stewart 1934; Thomas *et al.* 1996).

Durante los años noventa del siglo pasado, el uso de la terapia larval fue retomado por Ronald Sherman, médico y profesor de la Universidad de California, quien empezó a utilizar esta técnica en el tratamiento de úlceras generadas por presión y heridas crónicas, motivado por la resistencia de las bacterias a los antibióticos y, en general, debido a la escasa eficacia de los tratamientos convencionales sobre este tipo de lesiones (Sherman *et al.* 1993). A partir de entonces, esta tecnología se ha venido usando, extendidamente, en muchos países del mundo.

Dípteros utilizados en terapia larval. Las larvas de la mosca *Lucilia. sericata* (Diptera: Calliphoridae) son consideradas las más eficaces para ser empleadas en los tratamientos de terapia larval (Namias 2000; Huberman *et al.* 2007) (Figura 1). Las características biológicas y etológicas que hacen a las larvas de *L. sericata* las más convenientes para utilizar en biocirugía incluyen su rápido desarrollo larval, la relativa facilidad para criar estos insectos en condiciones de laboratorio y la continua disposición para la toma de los huevos y su esterilización. No obstante, lo más relevante en el comportamiento biológico es la acción efectiva de las larvas al actuar como parásitos facultativos que se alimentan sólo del tejido necrótico en las heridas, sin intervenir los tejidos vivos del hospedero. Sin embargo, se han obtenido buenos resultados empleando larvas de *Lucilia caesar*, *Phormia regina*, *Calliphora erythrocephala*, *Cynomyia cadaverina* y más recientemente *Lucilia cuprina* y *Lucilia eximia* (Tarshis 1938; Sherman y Pechter 1988; Paul *et al.* 2009; Wolff *et al.* 2010).



Figura 1. A. Secuencia de heridas tratadas con terapia larval, al inicio, durante y al final del tratamiento. Archivo laboratorio de Entomología Médica y Forense, Universidad del Rosario. B. Ciclo de vida de *Lucilia sericata*. Archivo laboratorio de Entomología Médica y Forense, Universidad del Rosario.

Mecanismos usados en la curación de las heridas. Las larvas al interior de las heridas efectúan tres funciones importantes, mediante las cuales contribuyen a la cicatrización de las heridas, éstas son:

1. Desbridamiento. Se ha podido demostrar que cuando la larva se encuentra con su cabeza en contacto con la herida o lesión y en especial sus espiráculos, éstos pueden disolver rápidamente el tejido muerto como resultado de la secreción y excreción colectiva de enzimas proteolíticas, las cuales incluyen colagenasa y otras enzimas que poseen la misma actividad de la tripsina, leucinaminopeptidasa y carboxipeptidasas A y B. Las enzimas digieren la matriz extracelular e incrementan el grado de oxigenación tisular de manera que el tejido necrótico es eliminado. Las larvas son en efecto fábricas químicas vivientes. Ellas se mueven sobre la superficie de la lesión secretando una mezcla de enzimas proteolíticas que disuelven el tejido muerto para que posteriormente este líquido sea succionado e ingerido (Jones y Thomas 2000).

2. Desinfección. Una vez el tejido necrótico ha sido enzimáticamente licuado, la larva ingiere y digiere la “sopa” resultante. Esta acción implica que cualquier bacteria y posiblemente otros microorganismos presentes sean subsecuentemente lisados cuando pasan por el tracto digestivo de la larva. La actividad antibacteriana parece estar mediada por varios componentes entre los cuales se encuentra un comensal del intestino de la larva el *Proteus mirabilis* y dos agentes con actividad antibacterial identificados como ácido fenilacético y fenilacetaldehído con particular acción en el pH bajo del intestino (Sherman *et al.* 2000; Nigam *et al.* 2006).

Otros mecanismos utilizados son la excreción de bicarbonato de amonio y sus derivados al medio ambiente (herida), neutralizando el exudado ácido producido por la inflamación de la herida o la lesión, elevando así el pH por encima de 7 y por ende reduciendo la colonización de bacterias (Mecer y McClellan 1935). El carbonato de calcio también encontrado en las excreciones de la larva estimula la fagocitosis gracias a los iones de calcio facilitando el proceso de cicatrización en heridas infectadas.

Las excreciones y secreciones (ES) larvales, externalizadas en las heridas, las cuales contienen compuestos de bajo peso molecular y metabolitos, han demostrado en condiciones *in vitro* actividad contra bacterias Gram-positivas y Gram-negativas (Harris *et al.* 2009). Además, algunos de estos compuestos antimicrobiales pueden estar también relacionados con la respuesta inmune del insecto, que en este caso es activada durante la terapia de desbridamiento larval, se destacan entre otros las siguientes proteínas: homóloga de la sapecina-B, serina proteasa y tres nuevos péptidos antimicrobiales ricos en prolina y lisozima. Finalmente, otra acción de eliminación de bacterias en las heridas ocurre mediante el lavado mecánico de estos microorganismos como resultado del incremento de exudado, debido al efecto irritante de las larvas (Wollina *et al.* 2002) y por la liquefacción enzimática del tejido necrótico (Ziffren *et al.* 1953).

3. Estimulación del tejido de granulación. Las iniciales teorías sobre el efecto de las larvas en las heridas señalaban como importante la acción física de las larvas, a través de sus movimientos de rastreo en la lesión, para la estimulación del tejido de granulación en el proceso de curación (Buchman y Blair 1932). Este criterio fue también, más tarde, apoyado por la observación de que las larvas mejoraban la oxigenación del tejido en heridas crónicas (Wollina *et al.* 2002). Además, desde hace mucho tiempo, científicos sugirieron que la acción de algunas sustancias excretadas por *L. sericata* como alantoina (2,5-Dioxo-4-imadazolidinil úrea) o bicarbonato de amonio (Robinson 1935, 1940) podrían ser los responsables del crecimiento del tejido de granulación. En efecto, Robinson (1935), usando estas sustancias en las heridas demostró estimulación en el crecimiento local del tejido de granulación.

Relativamente en fecha más reciente, Prete (1997), encontró que las secreciones alimentarias y la hemolinfa de *L. sericata* al actuar sobre tejidos de fibroblastos humanos estimulaban la proliferación celular. Además, este autor pudo observar que en presencia de concentraciones estimuladoras de factores de transformación del crecimiento, los extractos de las larvas causaban significativo crecimiento de los fibroblastos. Otros investigadores han señalado que la proliferación de los fibroblastos es sólo un aspecto de la formación del tejido de granulación, y al parecer mecanismos adicionales pueden estar involucrados. Así por ejemplo, Chambers *et al.* (2003), indicaron que cuando las larvas son introducidas en heridas necróticas, ellas potencialmente influyen en los eventos de la cicatrización de la herida con proteasas presentes en las ES las cuales están involucradas en la remodelación de los componentes de la matriz extracelular. Estos autores sugieren que las proteinasas causan la lisis de fibrina de la matriz extracelular, liberando factores proliferativos, tales como fragmentos de fibronectina, que causan efectos favorables en la cicatrización de la herida. Los anteriores investigadores creen que un particular tipo de enzimas con actividad similar a la tripsina puede jugar un rol importante en el receptor activador de la proteasa que media en la proliferación de citoquinas en la herida (Horobin 2003, Nigam 2006).

Avances relevantes en el conocimiento de esta tecnología

Las tres objeciones más comunes a la terapia larval durante la década de 1930 fueron: la dificultad para diseñar apósitos, la limitante en la obtención de larvas viables, libres de gérmenes y su alto costo (Sherman 2009). El desarrollo de mejores adhesivos y tejidos sintéticos proporcionan, en la actualidad, muchos métodos convenientes y asequibles para la construcción de vendajes e incluso se han diseñado apósitos en forma de bolsa para mantener las larvas dentro de las heridas, evitando así su fuga (Sherman 1997; Grassberger y Fleischmann 2002). También se han mejorado los procesos de colonización, cría masiva y desinfección de las larvas, simplificando de esta forma el manejo y la producción (Sherman 1996). Por otro lado, los servicios de mensajería a cualquier parte del mundo y con disponibilidad las 24 horas del día, han hecho que sea relativamente fácil la distribución y entrega certificada de las larvas para usar en biocirugía desde, por ejemplo, un

laboratorio que las produce en Inglaterra hasta otro país en cualquier latitud del orbe (Sherman 2009).

Los blancos predilectos, donde se han enfocado las investigaciones sobre biocirugía, han sido las ES larvales, precisamente porque a través de estas sustancias es como las larvas ejercen sus funciones en el proceso de cicatrización de las heridas. Por tal razón, los resultados que se han alcanzando en las dos últimas décadas presentan avances significativos en relación con los mecanismos de desbridación enzimática, actividad antibacterial y estimulación del tejido de granulación.

El mecanismo básico del desbridamiento larval ha sido descrito por varios investigadores. Las larvas efectúan un tipo de digestión extracelular y los jugos digestivos son secretados en las heridas para desbridar el tejido necrótico. Se ha podido demostrar, a la fecha, que existe una gama de enzimas digestivas: serina proteasas (como tripsina y quimotripsina), carboxipeptidasas, leucinoaminopeptidasas, colagenasas, metaloproteinasas y aspartil proteinasas. De forma conjunta, la acción mecánica de las larvas y la secreción de sus enzimas proteolíticas son los responsables de la degradación del tejido necrótico en el eficiente proceso de desbridamiento. Recientemente se han elaborado, mediante técnicas de DNA recombinante, sustancias desbridantes (por ej. quimotripsina I) a partir de genes aislados de *L. sericata* que en condiciones experimentales demostraron degradar escaras, ex-vivo, provenientes de pacientes con heridas crónicas, lo cual permitió efectuar desbridamiento sin la participación de las larvas dentro de las heridas (Telford *et al.* 2010). Otro hecho significativo y novedoso fue el descubrimiento de DNasa larval, secretado por *L. sericata*, como una molécula que participa en el desbridamiento clínico de heridas mediante la eliminación de ADN extracelular de tejido necrótico y de biopelículas de bacterias adheridas a éste (Jiang *et al.* 2012).

La presencia de compuestos antibacterianos ha sido identificada en las ES por un número importante de investigadores. Se ha demostrado que compuestos y metabolitos de las ES tiene un efecto inhibitor sobre bacterias Gram-positivas y Gram-negativas, incluyendo *Staphylococcus aureus* sensible a metilicina, *Staphylococcus aureus* resistente a metilicina (MRSA), *Escherichia coli* y *Pseudomonas aeruginosa*. De igual manera, estas sustancias son diferencialmente efectivas contra biopelículas de *S. aureus* y *P. aeruginosa* (Van der Plas *et al.* 2008, Cazander *et al.* 2009). También, se ha establecido que el amoníaco excretado por las larvas aumenta el pH de la herida, creando así un ambiente desfavorable para el crecimiento bacteriano (Sherman y Wyle 2000).

En razón a que las heridas crónicas se encuentra estacionadas en la fase inflamatoria, se ha podido demostrar que las secreciones de las larvas inhiben la producción de citoquinas pro-inflamatorias (TNF- α , IL-12p40) y a su vez los monocitos ácidos estimulados por compuestos lipopolisacáridos y lipoprotéicos mejoran la producción de citoquinas antiinflamatorias IL-10. Adicionalmente, las secreciones larvales alteran el perfil de quimoquinas de los monocitos por baja regulación de la proteína inflamatoria β de los macrófagos y también por la sobrerregulación de las proteínas quimioatrayentes 1 y IL-8. Se concluye que las secreciones larvales inhiben la respuesta proinflamatoria de los monocitos a través del mecanismo dependiente del AMP-cíclico

(Van der Plas 2009). Esta regulación de los procesos inflamatorios contribuye al avance de la cicatrización en heridas crónicas.

En el proceso de la estimulación para el crecimiento del tejido de granulación, las proteinasas, tanto de las ES larvales como de otras fuentes, presentes en las heridas, están asociadas con la migración de los fibroblastos, también con la proliferación, angiogénesis, repitelización y remodelación del tejido. Así mismo, las proteinasas alteran las interacciones entre los fibroblastos y la matriz extracelular, confluyendo todo este mecanismo fisiológico en la cicatrización de la herida (Horobin *et al.* 2003). El efecto proliferativo, demostrado selectivamente sobre células endoteliales, indica que los aminoácidos presentes en las ES larvales juegan un rol importante en la estimulación de la angiogénesis (Bexfield *et al.* 2009).

Perspectivas de la terapia larval

En razón a que a los avances en las investigaciones sobre terapia larval cada día amplían el conocimiento sobre la acción fisiológica de las ES larvales sobre las heridas crónicas, la tendencia, por parte de varios grupos de investigadores dedicados a este campo, es aislar los compuestos y metabolitos de esta mezcla para luego de un integral esclarecimiento del papel que cumplen en las úlceras, usar herramientas biotecnológicas para producirlas en gran escala. Seguramente, hacia el mediano plazo, estas sustancias podrían ser convertidas en drogas que se emplearán en el desbridamiento, en la acción antimicrobial y, también, en la promoción del estímulo inmunológico necesario del paciente para obtener una eficaz y rápida cicatrización de las heridas crónicas. Lo anterior conduciría, eventualmente, a sustituir las larvas por estas futuristas moléculas. Sin embargo, algunos investigadores consideran que no es una tarea nada fácil igualar la acción de las larvas respecto de aquellas que eventualmente ejercerían las moléculas de laboratorio y, por lo tanto, señalan que la acción mecánica desarrollada por estos organismos sobre las heridas, al usar algunas estructuras orgánicas para raspar el tejido necrótico, oxigenar el ambiente interno y permitir a las enzimas acceder al tejido más profundo, además de reconocer que la mezcla de moléculas secretadas es compleja y sinérgica, en el caso particular de Sherman sobre el tema afirma lo siguiente: “si las moléculas purificadas resultan menos eficaces que las larvas vivas, seguramente a alguien se le ocurra desarrollar larvas robot para que suplan a éstas en la liberación de las moléculas en las heridas” (Sherman 2009).

Conclusiones

La terapia larval es una técnica segura y eficaz para la curación de heridas necróticas y crónica de difícil cicatrización. Se conoce desde los tiempos antiguos pero el padre de esta tecnología, por sus aportes en la fundamentación científica y su práctica clínica (1928-1931) fue William Baer. La bioterapia se utilizó ampliamente en clínica y hospitales durante el periodo comprendido entre 1930-1940. Sin embargo, el uso de los antibióticos recién descubiertos y las nuevas técnicas

quirúrgicas hicieron que esta tecnología fuera abandonada. No obstante, se retomó en la década de los años noventa, paradójicamente, como consecuencia de la resistencia de los microorganismos a los antibióticos. En la actualidad es de uso corriente en muchos países del mundo. La acción de las larvas en las heridas, en el proceso de curación, se efectúa mediante tres mecanismos: desbridación, acción antibacterial y estimulación del tejido de granulación. *Lucilia sericata* es la mosca universalmente utilizada en bioterapia. Se han efectuado avances importantes, tanto en el diseño de dispositivos y apósitos para proteger las heridas y para evitar las fugas de las larvas como también en el esclarecimiento de procesos fisiológicos y moleculares de las ES larvales. Como perspectiva, se espera, con la participación de varios grupos e investigadores, que los compuestos derivados de las ES larvales sean sintetizados mediante tecnologías del DNA recombinante en aras de ser utilizados en las funciones que cumplen las larvas en las heridas crónicas, lo cual no es nada fácil su eventual reemplazo en razón al complejo e indispensable papel que estos organismos cumplen en las heridas.

Literatura citada

- BAER, WS. 1931. The treatment of chronic osteomyelitis with the maggot (larva of the Blowfly). J. Bone Joint Surg 13: 438-75 p.
- BEXFIELD, A; NIGAM, Y; THOMAS, S; RATCLIFFE, NA. Detection and partial characterisation of two antibacterial factors from the excretions/secretions of the medicinal maggot *Lucilia sericata* and their activity against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA). Microbes Infect. 2004. 6: 1297-1304.
- BUCHMAN, J; BLAIR, JE. 1932. Maggots and their use in the treatment of chronic osteomyelitis. Surg Gynecol Obstet 55: 177-190
- CHAMBERS, L; WOODROW, S; BROWN, AP; HARRIS, PD; PHILIPS, D; HALL, M. 2003. Degradation of extracellular matrix components by defined proteinases from the greenbottle larva *Lucilia sericata* used for the clinical debridement of non-healing wounds Br. J. Dermatol. 148: 14-23.
- CHERNIN, E. 1986. Surgical Maggots. Southern Medical Journal 79: 1143-45.
- CHURCH, S. 1996. The traditional use of maggots in wound healing and the development of larval therapy (biosurgery) in modern medicine. J Altern Complement Med 2: 525-527.
- DUNBAR, G.K. 1944, 'Notes on the Ngemba Tribe of the Central Darling River, Western New South Wales, concluded, Mankind. 320 p.
- FRYKBERG, RG; ARMSTRONG, DG; GIURINI, J; EDWARDS, A; KRAVETTE, M; KRAVITZ, S; ROSS, C; STAVOSKY, J; STUCK, R; VANORE, J. 2006. American College of Foot and Ankle Surgeons. Diabetic foot disorders: a clinical practice guideline. J Foot Ankle Surg 39: S1-60 p.
- GRASSBERGER, M; FLEISCHMANN, W. 2002. The biobag: a new device for the application of medicinal maggots. Dermatology 204: 306.
- HARDING, KG; MORRIS, HL; PATEL, GK. 2002. Healing chronic wounds BMJ 324:160-163.
- HARRIS, LG; BEXFIELD, A; NIGAM, Y; ROHDE, H; RATCLIFFE, NA; MACK, D. 2009. Disruption of *Staphylococcus epidermidis* biofilms by medicinal maggot *Lucilia sericata* excretions/secretions. Int. J. Artif. Organs 32: 555-64.

- HOROBIN, AJ; SHAKESHEFF, K. M; WOODROW, S; ROBINSON, C; PRITCHARD, D. I. 2003. Maggots and wound healing: The effects of *Lucilia sericata* larval secretions upon human dermal fibroblasts. Br. J. Dermatol 148: 923-933.
- JIANG, K; SUN, X; WANG, W; LIU, L; CAI, Y; CHEN, Y; LUO, N; YU, J; CAI, D; WANG, A. 2012. Excretions/Secretions from bacteria-pretreated maggot are more effective against *Pseudomonas aeruginosa* biofilms. PLoS One. 7(11):e49815. doi: 10.1371 p.
- JONES, M; THOMAS, S. 2000. Larval therapy. Nurs Stand. 14: 47-51.
- MECER, M; MCCLELLAN, R. 1935. Surgical maggots, a study of their functions in wound healing. Journal of Laboratory and Clinical Medicine 20: 1219 p.
- MCGUCKIN, M; KERSTEIN, MD. 1998. Venous leg ulcers and the family physician. Adv. Wound Care 11: 344–6 p.
- MUMCUOGLU, KY; INGBER, A; GILEAD, L; STESSMAN, J; FRIEDMANN, R; SCHULMAN, H; BICHUCHER, H; IOFFE-USPENSKY, I; MILLER, J; GALUN, R; RAZ, I. 1998. Maggot therapy for treatment of intractable wounds. Diabetes Care 21:2030-2031 p.
- MUMCUOGLU, KY. 2001. Clinical applications for maggots in wound care. American Journal of Clinical Dermatology 4: 219-227.
- NIGAM, Y; BEXFIELD, A; THOMAS, S; RATCLIFFE, NA. 2006. Maggot Therapy: The Science and Implication for CAM Part II-Maggots Combat Infection. Evid Based Complement Alternat Med 3: 303-308.
- PAUL, AG; AHMAD, NW; LEE, HL; ARIFF, AM; SARANUM, M; NAICKER, AS; OSMAN, Z. 2009. Maggot debridement therapy with *Lucilia cuprina*: a comparison with conventional debridement in diabetic foot ulcers. Int. Wound. J. 6: 39-46.
- PRETE, PE. 1997. Growth effects of *Phaenicia sericata* larval extracts on fibroblasts: mechanism for wound healing by maggot therapy. Life Sci 60: 505–510 p.
- REY, M; CASTAÑEDA, A; GONZÁLEZ, J; ACERO, VM; SEGURA, NA; BELLO, F. 2010. Evaluación de la terapia larval aplicada a cuatro casos clínicos de animales en Bogotá (Colombia). Revista Colombiana de Entomología 36: 254-259.
- ROBINSON, W. 1935. Stimulation of healing in non-healing wounds by allantoin in maggot secretions and of wide biological distribution J Bone. Joint Surg 17: 267-271.
- ROBINSON, W. 1940. Ammonium bicarbonate secreted by surgical maggots stimulates healing in purulent wounds. Am. J. Surg. 47: 111–115 p.
- SHERMAN, RA; WYLE, F; VULPE, M; LEUSE, L; CASTILLO, L. 1993. The utility of maggot therapy for treating chronic wounds. Am J Trop Med Hyg; 49: 266 p.
- SHERMAN, RA; PECHTER, EA. 1988. Maggot therapy a review of a therapeutic applications of fly larvae in human medicine, especially for treating osteomyelitis Med. Vet. Entomol. 2: 225-30 p.
- SHERMAN, RA; WYLE, FA. 1996. Low-cost, low-maintenance rearing of maggots in hospitals, clinics, and schools. Am. J. Trop. Med. Hyg. 54: 38-41.
- SHERMAN, RA. 1997. A new dressing design for use with maggot therapy. Plast Reconstr Surg; 100: 451–456.
- SHERMAN, RA; WYLE, F. 2000. Medicinal maggots: an ancient remedy for some contemporary afflictions. Annual Review of Entomology 45: 55-81.
- SHERMAN, RA. 2009. Maggot Therapy Takes Us Back to the Future of Wound Care: New and Improved Maggot Therapy for the 21st Century. Journal of Diabetes Science and Technology 3: 336–344.

- SPILSBURY, K; CULLUM, N; DUMVILLE, J; O'MEARA, S; PETHERICK, E; THOMPSON, C. 2008. Exploring patient perceptions of larval therapy as a potential treatment for venous leg ulceration. *Health Expect.* 11:148-159.
- STEWART, MS. 1934. The role of *Lucilia sericata* meig: larvae in osteomyelitis wounds. *Ann. Trop. Med. Parasitol.* 28: 445-60.
- TARSHIS, MS. 1938. Surgical maggots in modern medicine. *The Scientific Monthly* 47: 252-257.
- TELFORD, G; BROWN, AP; SEABRA, RA; HOROBIN, AJ; RICH, A; ENGLISH JSC; PRITCHARD, DI. 2010. Degradation of eschar from venous leg ulcers using a recombinant chymotrypsin from *Lucilia sericata*. *Br. J. Dermatol.* 163: 523-31.
- TÉLLEZ, G; ACERO, M; PINEDA, LA; CASTAÑO, J. 2012. Larvaterapia aplicada a heridas con poca carga de tejido necrótico y caracterización enzimática de la excreción, secreción y hemolinfa de larvas. *Biomédica* 32: 312-320.
- THOMAS, S; JONES, M; SHUTLER, S; JONES, S. 1996. Using larvae in modern wound management. *J Wound Care* 5: 60-69.
- THOMAS, AML; HARDING, KG; MOORE, K. 1999. The structure and composition of chronic wound eschar. *J. Wound Care* 8: 285-286.
- VAN DER PLAS, MJ; JUKEMA, G; WAI1, SW; DOGTEROM-BALLERING, H; LAGENDIJK, EL; VAN GULPEN, C; VAN DISSEL, J; BLOEMBERG, G; NIBBERING, P. 2008. Maggot excretions/secretions are differentially effective against biofilms of *Staphylococcus aureus* and *Pseudomonas aeruginosa*. *J. Antimicrob. Chemother* 61: 117–122.
- VAN DER PLAS, MJ; BALDRY, M; VAN DISSEL, JT; JUKEMA, GN; NIBBERING, PH. 2009. Maggot secretions skew monocyte-macrophage differentiation away from a pro-inflammatory to a pro-angiogenic type. *PLoS One* 4: e8071 p.
- WOLFF, M; RIVERA, C; HERRERA, S; WOLFF, JC; ESCOBAR, MM. 2010. *Lucilia eximia* (Diptera: Calliphoridae), una nueva alternativa para la terapia larval y reporte de casos en Colombia. *IATREIA* 23: 107-116.
- WOLFF, H; HANSSON, C. 2005. Rearing larvae of *Lucilia sericata* for chronic ulcer treatment--an improved method. *Acta Derm Venereol* 85: 126-131.
- WOLLINA, U. 2002. Biosurgery supports granulation and debridement. *International Journal of Dermatology* 41: 635–639.
- ZIFFREN, SE; HEIST, HE; MAY, SC; WOMACK, NA. 1953. The secretion of collagenase of maggots and its implications *Ann Surg* 138: 932-934.

SIMPOSIOS

Simposio 1.

Comportamiento de insectos

Coordinador: Jorge Alberto Molina, Ph. D.
Universidad de los Andes, Bogotá, D.C.

Participantes:

Sandra Amezquita, Ph. D., Ivette Chamorro, Mario E. Favila

Paulo Zarbin, Ph. D.

Oscar Javier Cadena Catañeda, Est. Biología

Melanie Ramírez Casallas, Ph.D., Mario Iván Ortiz Yanine, Ph.D., Jorge Molina, Dr. rer. nat.

El tamaño importa? Combates intrasexuales y competencia por el recurso en escarabajos del género *Canthon* (Coleoptera: Scarabaeinae)

Sandra Amézquita¹, Ivette Chamorro² y Mario E. Favila³

¹Asesora en Biodiversidad de la Dirección General de Colciencias. Bogotá, Colombia. ²Docente Universidad Veracruzana, sede Tuxpan. México, ³ Investigador Instituto de Ecología A.C. Xalapa. México

Resumen. El presente trabajo abarca dos temas importantes en la vida de los escarabajos del estiércol. La competencia por el recurso alimenticio y el éxito reproductivo, en diferentes especies del género *Canthon*. El alimento para los escarabajos es un recurso efímero y muy competido en bosques tropicales, tanto entre especies como para individuos de la misma especie. La competencia intraespecífica por el recurso es en muchos casos, más intensa que la competencia interspecífica. Se seleccionaron diferentes especies del género *Canthon* (*C. subhyalinus*, *C. euryscelis*, *C. femoralis*) para analizar en laboratorio la competencia intraespecífica por el alimento, y entender los mecanismos que usan los machos para aumentar su éxito reproductivo, se observaron individuos de *Canthon cyanellus cyanellus*. Cuando se analizó la competencia intraespecífica en diferentes especies de cantoninos, no se pudo establecer un patrón definido de la cantidad de recurso utilizado por hembras, machos y parejas, sin embargo, en dos de las especies estudiadas las hembras utilizaron más recurso que los machos y las parejas (macho y hembra). En *C. cyanellus cyanellus* las parejas (macho y hembra) realizan varias bolas nido y ambos cuidan las de las bolas. Sin embargo, cuando las hembras son transportadas por machos a los nidos, las espermatecas pueden estar llenas de esperma viable de otros machos, haciendo la competencia espermática más fuerte. Se analizaron: el efecto del estado reproductivo de machos (vírgenes y apareados) y hembras sobre las frecuencias de apareamiento durante la construcción de las bolas, así como el éxito reproductivo de los machos que nidifican con hembras previamente apareadas. Los machos vírgenes y apareados copularon con la misma frecuencia antes de la construcción de las bolas de alimento, cuando nidificaron con hembras vírgenes, sin embargo cuando los dos tipos de machos se aparearon con hembras previamente copuladas la frecuencia de apareamiento aumentó antes de la construcción de la primera bola nido. Por otro lado se analizó un acercamiento a la lucha por el recurso entre machos de *C. cyanellus cyanellus* donde se tuvo en cuenta la importancia de poseer una bola nido, el tamaño del cuerpo y el estado reproductivo del individuo, cuando compiten con otro macho por el recurso, en presencia o ausencia de una hembra. Los propietarios de la bola de alimento tuvieron una mayor probabilidad de ganar sobre los intrusos más pequeños, y los propietarios más pequeños perdieron cuando se encontraron con intrusos grandes. El estado reproductivo también influencia quien gana el combate, los machos previamente apareados ganaron sobre los machos vírgenes. Los machos de tamaños similares tendieron a dividir la bola de alimento, por lo tanto compartían el recurso.

Palabras clave: Scarabaeinae, competencia intraespecífica, *Canthon*, estado reproductivo, bolas nido, combates, competencia por alimento, éxito reproductivo, nidificación.

Introducción

La competencia por espacio y los recursos y su papel en la estructuración de las comunidades se ha estudiado ampliamente para varias especies de artrópodos (Denno 1995). Las especies que difieren en sus capacidades competitivas pueden ocupar el mismo nicho con otros mediante la explotación de los recursos de diferentes maneras (Wisheu 1998). Recursos como el estiércol y carroña en los bosques tropicales son efímeros y escasos. Estos recursos, ofrecen parches discretos para la alimentación y la reproducción de los escarabajos copro-necrófagos (Giller y Doube 1989). La competencia intra e interespecífica pero puede ser más fuerte en las comunidades de los bosques tropicales que en zonas templadas, como resultado del uso de recursos más rápido que en otras regiones. En escarabajos de estiércol la competencia por espacio y alimento, puede darse entre las larvas y / o adultos (Hanski y Cambefort 1991). Los animales pueden explotar de manera más eficiente los recursos que otras especies, lo que permite reducir la competencia de las especies y promueve la convivencia (Hutchinson y MacArthur 1959). Hay una correlación entre el tamaño y forma del cuerpo con otros rasgos individuales como la fecundidad, la esperanza de vida, y el movimiento, así como la densidad de población, abundancia, y la capacidad competitiva (Hernández *et al.* 2011). Hanski y Cambefort (1991) sugieren que existe una jerarquía competitiva en escarabajos del estiércol: La especie más competitiva pertenece a los rodadores, mientras que los cavadores son rápidos, y los endocorpidos los más lentos. Algunos estudios han evaluado las asimetrías en la competencia intra e interespecífica en escarabajos coprófagos, tanto en bosques templados y tropicales (Giller y Doube 1989; Finn y Gittings 2003; Horgan y Fuentes 2005). Sin embargo, hacen falta estudios (Hanski y Cambefort 1991) que expliquen el efecto de la competencia en la estructura de la comunidad y los procesos ecológicos, especialmente en las selvas tropicales.

Algunos estudios empíricos han demostrado que la disponibilidad de recursos como alimentación, territorio, y oportunidades de reproducción genera la competencia intraespecífica. Dentro de la competencia se tienen dos tipos de individuos: los que poseen el recurso y los que llegan a competir por él. En este caso, se prevé que al menos el buscador del recurso competirá agresivamente cuando sus oponentes están agrupados y cuando ambos son conscientes del valor del recurso (Dubois *et al.* 2003; Dubois y Giraldeau 2003). Sin embargo, el orden de llegada de los individuos en un parche de recursos es importante: si el buscador llega por primera vez tiene la oportunidad de evaluar el recurso antes de la llegada de la competidor, pero cuando se agota el recurso o el oponente cambia su comportamiento, se espera que el otro cambie también su comportamiento (Kotrschal *et al.* 1993; Dubois y Giraldeau 2007).

El éxito de ganar un combate o de acceder al recurso de un individuo en una competencia se determina por su capacidad de retención de recursos o la capacidad de defender ese recurso (RHP) (Parker 1974; Simmons 1986; Enquist y Leimar 1987). EL RHP esta dado por diferentes condiciones como tamaño corporal, estado reproductivo, y las reservas de grasa, entre otros, y por factores extrínsecos como la propiedad de los recursos (Maynard Smith y Parker 1976; Nosil 2002. Hsu *et al.* 2006). Los combates son potencialmente costosos no sólo por el gasto de energía por el riesgo para los contendientes de daño físico o la muerte (Briffa y Elwood 2004; Briffa y Sneddon 2007).

Las hembras y los machos de muchas especies, tienen durante su vida reproductiva muchos compañeros, lo que aumenta el riesgo de lesiones, enfermedades y depredación, estos apareamientos múltiples favorecen la competencia espermática y los machos han desarrollado mecanismos para reducir la probabilidad de “adulterio” con multiples copulas a la misma hembra (Daly 1978; Helversen y Helversen 1991; Rolff y Siva-Jothy 2002).

Canthon cyanellus cyanellus, es un escarabajo necrófago subsocial, que vive en las selvas tropicales de las Américas. En México, durante su época reproductiva (de mayo a septiembre), las parejas ruedan bolas de alimento casi 2 m de distancia de la fuente de alimentación (por lo general el cadáver de un pequeño mamífero). La bola de alimento se entierra en una depresión en el suelo bajo hojarasca (Favila y Díaz, 1996). Una hembra que entra en un nido con un macho, puede haber copulado con otros machos, aumentando la competencia espermática. Como un mecanismo para reducir los adulterios, los machos copulan varias veces antes de que la hembra haga la primera bola nido, en el que se deposita un huevo, después que la hembra coloca el huevo en la bola nido es copulada nuevamente por el macho (Favila *et al.* 2005). Favila *et al.* (2005) utilizaron machos previamente apareados para analizar la competencia del esperma de esta especie. Sin embargo, no sabemos si el estado reproductivo de los sexos afecta a la frecuencia de apareamiento durante el período de nidificación o el éxito reproductivo de los machos cuando nidifican con hembras previamente acoplados.

El objetivo de esta charla es abordar dos temas importantes en la vida de los escarabajos rodadores del genero *Canthon*. La competencia intra e interespecífica por el recurso alimentario y la competencia espermática entre machos de diferentes grados de madurez sexual.

Metodología

Competencia por el recurso entre especies del género *Canthon*. Se capturaron individuos de diferentes especies utilizando trampas de caída en un bote plástico de 5l lleno de tierra hasta $\frac{3}{4}$ de su capacidad. Las trampas contenían 200 g de excremento de mono o carrona, en diferentes fragmentos de bosque de la Estación de Biología Tropical de la UNAM los Tuxtlas Veracruz, México (18°34'N y 95°04'W). Aproximadamente 40 individuos (machos y hembras) de *Canthon euryscelis*, *C. femoralis* y *C. subhyalinus* fueron seleccionados para evaluar la competencia intraespecífica entre machos, hembras y parejas. Cuatro personas (machos, hembras o parejas) se

colocaron en cajas de experimentación. Cada caja contenía 25g de excremento de colocaron en el centro de cada caja durante 48 h. Después de ese tiempo, escarabajos fueron retirados de las cajas, se contó el número de las bolas, se peso de excremento que quedaba sobre la superficie con una balanza analítica de precisión de $\pm 0,01$ g. Todas las pelotas de cría se midieron con un calibrador.

Competencia espermática y combates en *C. cyanellus cyanellus*. Los escarabajos se criaron en laboratorio (a $26^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, humedad de $70\% \pm 10\%$ y un fotoperiodo de 12 L: 12 D) siguiendo el método de Favila (1993) para estandarizar la edad y el estado reproductivo de las crías. Los escarabajos experimentales tenían de 40-65 días de edad, lo que corresponde a la edad reproductiva de esta especie (Favila 1993). Se midió la longitud total de los machos (del clípeo a pigidio) con un calibrador digital (resolución: 0,01 mm) y se pesó en una balanza digital (0.002/10 g). Tres grupos de tamaño se definieron: grande (0,780-0,820 mm), media (0,740-0,760 mm) y pequeño (0,680 hasta 0,720 mm). El estado reproductivo de los machos se defino como vírgenes o previamente acoplados.

Análisis estadísticos. Se utilizaron ANOVAs para evaluar la competencia intraespecifica y ppara la competencia Una regresión logística (Hardy y Campo 1998) donde se analizaron la lucha intrasecual, estado reproductivo de los dueños de las bolas, de los intrusos y el tamaños de los cuerpos. La variable de respuesta categórica se tomó de acuerdo a tres valores: el propietario gana, el propietario pierde y un empate. Los datos se analizaron usando los programas R y Statistica 7.0

Resultados y análisis

El ANOVA de una vía mostro que para *C. euryscelis* no hay un efecto significativo en los tratamientos (macho, hembra o pareja) ($F_{2,3}=8.00$, $P=0.06$), pero hubo una tendencia de los machos a remover más excremento que los otros dos grupos. Para *C. femoralis* tampoco hubo un efecto del tratamiento, pero en este caso las hembras tendieron a remover más excremento que los otros dos grupos. ($F_{2,9}=0.63$, $P=0.55$). Y para *C. subhyalinus* no hubo efecto del tratamiento en la cantidad de excremento removido, ($F_{2,4}=1.27$, $P=0.37$), pte or que en machos y hembras separados.

En cuanto a la competencia intraespecífica en las especies *Canthon*, machos y hembras compiten por diferentes tipos de recursos, los machos suelen competir por las hembras para aparearse y las hembras pueden competir por los sitios de oviposición, por lo tanto, la competencia intrasexual puede variar entre los sexos (Petersson y Sivinski 2003). En general, nuestros resultados revelaron un patrón claro en la cantidad de estiércol removido por hembras, machos y parejas. Sin embargo, para dos especies, las hembras eliminan más recursos que los machos o parejas, lo que sugiere que las hembras necesitan más recursos para el desarrollo gonadal y la producción de huevos o de que la competencia entre los individuos de este sexo puede ser más intensa. Para *C. femoralis*, por el contrario, se observó que los machos retiran más

estiercol que las hembras y parejas. Pero en este caso se requieren más estudios con más personas que nos permiten llegar a conclusiones sólidas sobre las diferencias en los recursos extraídos por hembras, machos y parejas, en concreto, más repeticiones son necesarias para confirmar estas diferencias entre sexos.

Dos de las tres frecuencias observadas de cada combate fueron significativamente diferentes de lo que se esperaría de un proceso aleatorio. De 248 peleas, 103 fueron ganadas por el propietario, mucho más de lo esperado por azar (0,42, $P \ll 0,001$); 58 dio lugar a que la pelota esté dividida comida, un número significativamente menor de lo esperado por azar (0,23, $P \ll 0,001$), y 87 se perdieron por el propietario, no es significativamente diferente de ocurrencia aleatoria (0,35, $P = 0,28$).

De 123 peleas, 56 fueron ganadas por el propietario, mucho más de lo esperado por azar (0,46, $P \ll 0,001$), 19 resultaron en división de la bola y el propietario conservan la hembra, mucho menos de lo esperado por azar (0,15, $P \ll 0,007$), 12 resultaron en la división de la bola nido y el propietario pierde la hembra, mucho menos de lo esperado por azar (0,10, $P \ll 0,001$); y 36 se perdieron por el propietario que no difiere significativamente de lo esperado por azar (0,29, $P = 0,113$).

Cuando los machos rodaron una bola nido con una hembra y pelearon contra los intrusos machos solitarios, la asimetría en el estado reproductivo, tamaño del cuerpo, y la interacción entre estos factores, tuvo un efecto significativo sobre el resultado del combate. Los machos propietarios apareados previamente tenían una mayor probabilidad de ganar y retener la bola de alimento y hembra, mientras que los machos vírgenes tenían mayor probabilidad de perder.

Literatura citada

- AMÉZQUITA, S.; FAVILA, M. E. 2010. Removal of native and exotic dung by dung beetles in tropical forest fragments. *Env. Entom* 39: 328-336.
- AMÉZQUITA, S.; FAVILA, M. E. unpublished. Effect of resource size on dung beetle (Scarabaeidae: Scarabaeinae) guild aggregation, biomass and dung removal in a fragmented tropical rainforest.
- BRIFFA, M.; ELWOOD R. W. 2004. Use of energy reserves in fighting hermit crabs. *Proc R Soc Lond B* 271:373–379
- BRIFFA, M.; SNEDDON, L. U. 2007. Physiological constraints on contest behaviour. *Funct Ecol*
- CHAMORRO-FLORESCANO, I.; FAVILA, M. E. 2008. Male reproductive status affects contest outcome during nidification in *Canthon cyanellus cyanellus* LeConte (Coleoptera: Scarabaeidae). *Behaviour* 145: 1811–1821
- CHAMORRO-FLORESCANO, I. A.; FAVILA, M. E.; MACÍAS-ORDÓÑEZ, R. 2011. La propiedad del recurso, el tamaño y el estado reproductivo afectan el resultado del combate por la bola de alimento en un escarabajo rodador.
- CHAMORRO-FLORESCANO, I. A.; FAVILA, M. E. 2008. Male reproductive status affects contest outcome during nidification in *Canthon cyanellus cyanellus* LeConte (Coleoptera: Scarabaeidae). *Behavior* 145: 1811-1821.

- DENNO, R. F.; MCCLURE M. S.; OTT, J. R. 1995. Interspecific interactions in phytophagous insects: Competition reexamined and resurrected. *Annual Review of Entomology* 40: 297-331.
- DUBOIS, F.; GIRALDEAU, L. A. 2003. The forager's dilemma: food-sharing and food-defense as risk-sensitive foraging options. *Am. Nat.* 162: 768-779.
- DUBOIS, F.; GIRALDEAU, L. A. 2005. Fighting for resources: the economics of defense and appropriation. *Ecology* 86: 3-11.
- DUBOIS, F.; GIRALDEAU, L. A. 2007. Food sharing among retaliators: sequential arrivals and information asymmetries. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 62: 263-271.
- DUBOIS, F.; GIRALDEAU, L. A.; GRANT, J. W. A. 2003. Resource defense in a group foraging context. *Behav. Ecol.* 14: 2-9.
- ENQUIST, M.; LEIMAR, O. 1987. Evolution of fighting behaviour: the effect of variation in resource value. *J. Theor. Biol.* 107: 187-205.
- FAVILA, M. E. 2001. Historias de vida y comportamiento de una escarabajo necrófago: *Canthon cyanellus cyanellus* LeConte (Coleoptera: Scarabaeinae). *Fol. Entomol. Mex.* 40: 245-278.
- FAVILA, M. E.; DÍAZ, A. 1996. *Canthon cyanellus cyanellus* LeConte (Coleoptera: Scarabaeidae) makes a nest in the field with several brood balls. *Coleopt. Bull.* 50: 52-60.
- GILL, B. D. 1991. Dung beetles in Tropical American Forest. pp: 211-229. In: Hanski, I.; Cambeftort, Y. (Eds.). *Dung Beetle Ecology*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- GILLER, P. S.; DOUBE, B. M. 1989. Experimental analysis of inter and interspecific competition in dung beetle communities. *Journal of Animal Ecology* 58:129-142.
- HANSKI, I.; CAMBEFORT, Y. 1991. Competition in dung beetles. pp. 305-329. Hanski, I.; Cambeftort, Y. (Eds.). *Dung beetle ecology*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- HALFFTER, G., Edmonds, W. D. 1982. The nesting behavior of dung beetles (Scarabaeinae). An evolutive and ecological approach. Publication 10. Instituto de Ecología, Mexico.
- HANSKI, I.; CAMBEFORT, Y. 1991. Competition in dung beetles. pp. 305-329. Hanski, I.; Cambeftort, Y. (Eds.). *Dung beetle ecology*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- HORGAN, F. G.; FUENTES R. C. 2005. Asymmetrical competition between Neotropical dung beetles and its consequences for assemblage structure. *Ecological Entomology* 30: 182-193.
- HSU, Y.; EARLEY, R. L.; WOLF, L. L. 2006. Modulation of aggressive behavior by fighting experience: mechanisms and contest outcomes. *Biol. Rev.* 8: 33-74.
- KOTRSCHAL, K; HEMETSBERGER, J, DITTAMI, J. 1993. Food exploitation by a winter flock of greylag geese: behavioral dynamics, competition and social status. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 33: 289-295.
- MATTHEWS, E. G. 1963. Observations on the ball-rolling behavior of *Canthon pilularius* (L.) (Coleoptera, Scarabaeidae). *Psyche* 70: 75-93.
- MAYNARD SMITH, J.; PARKER, G. A. 1976. The logic of asymmetric contests. *Anim. Behav.* 24:1 59-175.
- NOSIL, P. 2002. Food fights in house crickets, *Acheta domesticus*, and the effects of body size and hungerlevel. *Can J Zool* 80: 409-417.
- R Development Core Team 2006. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>
- SIVA-JOTHY, M. T. 1987. Mate securing tactics and the cost of fighting in the Japanese horned beetle *Allomyrina dichotoma* L. (Scarabaeidae). *J. Ethol.* 5: 165-172.

- STOKKEBO, S.; HARDY, I.C.W. 2000. The importance of being gravid: egg load and contest outcome in a parasitoid wasp. *Anim. Behav.* 59: 1111-1118. doi:10.1006/anbe.2000.1407
- VENABLES, W. N.; RIPLEY, B. D. 2002. *Modern applied statistics with S*, 4th edn. Springer, New York
- Evol. Ecol. 2011 25: 277-289.
- WISHEU, I. C. 1998. How organisms partition habitats: different types of community organization can produce identical patterns. *OIKOS* 83: 246-258.

Principales estudios sobre el comportamiento del orden Orthoptera con énfasis en Ensifera neotropicales

Oscar J. Cadena-Castañeda¹

¹Estudiante en Lic. en Biología. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Grupo de Investigación en Artrópodos "Kumangui". Bogotá, Colombia. ojccOrthoptera@gmail.com

Resumen. Se realiza una documentación sobre los principales estudios en el área del comportamiento y afines para el orden Orthoptera de la región Neotropical. Se enfatiza en el suborden Ensifera, porque para este grupo se han realizado más estudios etológicos. El análisis y recuento de las investigaciones comportamentales, se hizo con 83 referencias bibliográficas en las cuales se incluyen artículos de revistas, libros o capítulos de libros. Con este aporte se espera detectar las áreas de mayor actividad en el campo de la etología para el orden, y a su vez las de más baja investigación. Para esta última se sugiere por parte del autor, investigaciones de posible realización y se plantean campos de acción.

Palabras clave: Etología, bioacústica, tremulación, mimetismo, camuflaje, cópula.

Abstract. Its performed a documentation about the main studies in the area of behavior and related to the order Orthoptera in neotropics. Its emphasis in the suborder Ensifera, because there are many ethological studies for this group that have been made. The analysis and counting on behavioral research, was done with 83 bibliographical references which include journal articles, books or book chapters. With this contribution is expected to detect areas of higher activity in the area of ethology to this order, and in turn the lowest in research. For the latter is suggested by the author, performing research and proposes possible fields of action.

Key words: Ethology, bioacoustics, tremulation, mimicry, camouflage, copula.

Introducción

Entendiendo que la etología tiene como objeto el estudio del comportamiento animal y su interacción con el medio, respondiendo a aspectos tales como la agresividad, el apareamiento, el desarrollo del comportamiento, la vida social, la impronta, entre otros. Esta ciencia proporciona como resultado, el estudiar que hacen los animales y porque lo hacen (Tinbergen 1963, 1965; Lorenz 1978). Por tal motivo en el presente manuscrito se hace un recuento modesto de los principales estudios comportamentales para el orden Orthoptera en el neotrópico; comprendiendo trabajos publicados en diversas ramas transversales como la bioacústica y otras subdisciplinas como el comportamiento derivado del mimetismo y camuflaje, entre otros.

El Orden Orthoptera conocidos comúnmente como grillos, saltamontes y esperanzas (Nickle 1992a; Hogue 1993; Montealegre-Z 1997; Naskrecki 2000a; Gwynne 2001), han sido objeto de estudios en el amplio campo de la etología, en la cual la línea con mayores aportes ha sido la del comportamiento acústico, seguidos por estudios en comportamientos de defensa y en menor medida estudios que involucran el comportamiento derivado del camuflaje, mimetismo y cópula. Los avances en el estudio de la ecología del comportamiento, han suscitado el interés por la asimetría y su papel en la elección de pareja, y de la evolución de la señalización de los animales, han abierto nuevas áreas de investigación, tales como el estudio del sistema auditivo y la asimetría a nivel neuronal y sus costos fisiológicos en la emisión de señales sonoras (Robinson 1990).

Materiales y métodos

Para el presente escrito se revisaron 83 trabajos, entre artículos, libros o capítulos de libros en los cuales se involucraran estudios comportamentales para el orden Orthoptera. A continuación se expone por grupos taxonómicos los principales aportes etológicos y algunos comentarios de observaciones realizadas por el autor. Se da énfasis al suborden Ensifera, debido que ha sido el grupo con más estudios en el área.

Resultados y discusión

Recientemente para la ortopterofauna neotropical, se han realizado aportes principalmente en el campo de la taxonomía, filogenia y biogeografía, los estudios comportamentales han pasado a un segundo plano, en el cual pocos autores se han interesado, a pesar de esto se han realizado registros interesantes los cuales han sido de importante aplicabilidad y modelo para otros estudios más complejos. Estos estudios se presentaron en trabajos en el cual, el componente principal es el estudio del comportamiento, mientras que en otros se presentaron datos comportamentales como aportes secundarios que no comprendían la idea principal del artículo o eran el complemento de un artículo taxonómico.

Suborden Caelifera

Los caeliferos agrupan a todos aquellos ortópteros con antenas mas cortas que la longitud del cuerpo, ovopositor corto y poco conspicuo, en algunos casos el órgano timpánico se halla en el primer segmento abdominal (Amédégnato 1977). Conocidos en Latinoamérica como saltamontes, langostas o chapulines (Hogue 1993; Fontana *et al.* 2008). Los integrantes de este suborden son principalmente diurnos y con hábitos fitófagos.

1. Superfamilia Eumastacoidea

Representados a nivel neotropical por las familias Eumastacidae, Episactidae y Proscopiidae (Eades *et al.* 2013). Lastimosamente para este grupo no se le han hecho ningún aporte diferente al de tipo taxonómico. Se sugiere para la familia Proscopiidae realizar estudios sobre el desenvolvimiento en el medio en base a su camuflaje y los movimientos en marcha lenta y disimulada (Leroy 1985). Para las familias Eumastacidae y Episactidae se podrían plantear estudios sobre la fisiología del comportamiento, detección y acceso del macho a la hembra para fines copulatorios, pues las especies pertenecientes a estas familias no tienen ningún tipo de danza nupcial o comportamiento de cortejo visible; el macho detecta a la hembra y se atrae ante ella de manera visual. La investigación podría plantearse de manera observatoria, datando como ocurre la atracción del macho a la hembra u otros factores que intervengan en esta.

2. Superfamilias Trydactiloidea y Tetrigoidea

Para estos grupos, tampoco se encuentran estudios en el área de la etología. Actualmente, una estudiante de maestría de la Universidad Nacional de Colombia prepara un manuscrito sobre observaciones de algunas especies de la familia Ripterygidae (Baena com. pers.). Las sugerencias para estudios en este grupo son: en Tridactylidae, utilizar especies neotropicales para observaciones basadas en el desplazamiento en el agua y la propulsión en la misma con las espinas apicales de la tibia, todo esto aplicado en la huida. También, sería de utilidad buscar la causa del porqué de los enjambres de las especies de las familias Ripterygidae y Tridactylidae en temporadas cercanas al invierno.

Para la familia Tetrigidae podría ser una buena alternativa el estudiar las señales vibratorias para las especies neotropicales; con estudios de este tipo se lograría determinar si aquellas señales tienen una delimitación específica, de ser así, también se aportaría a la organización taxonómica de los taxones, que en la actualidad no tienen una delimitación concreta. Solo existe un estudio de esta naturaleza realizado por Benediktov (2005), para nueve especies de tetrígididos asiáticos. En Colombia, he observado la emisión de señales vibratorias en machos de *Batrachidea flavonotata*.

3. Superfamilia Acridioidea.

Esta superfamilia comprende a todas las langostas o saltamontes verdaderos, son de hábitos diurnos y todas las especies conocidas son fitófagas (Fontana *et. al.* 2008). Los integrantes de estos grupos albergan algunas de las plagas agrícolas más voraces cuando pasan a fase gregaria, como algunas especies del género *Rhammatocerus* (Assis-Pujol 1998).

3.1. Familia Acrididae y Romaleidae

Para estas familias se realizó un interesante estudio etológico por Riede (1987), en donde se describió el comportamiento durante el cortejo y la copulación de varias especies de ambas familias, desde un punto de vista comparativo, mostrando ejemplos sobre la comunicación por medios acústicos, visuales y químicos. En el trabajo de Riede se exponen convergencias comportamentales entre las distintas subfamilias de Acrididae y Romaleidae, pues en ambos grupos existen subfamilias que emiten señales acústicas y a la vez otras subfamilias no producen sonido.

Acridinae, Gomphocerinae, Copiocerinae (Acrididae) y Romaleinae (Romaleidae) tienen un comportamiento acústico. Cada subfamilia tienen determinados mecanismos y exhibición de cantos según el contexto comportamental, por ejemplo; los Gomphocerinae y Acridinae se reconocen y atraen por medio de complejos cantos co-específicos, producidos por estridulación de tipo femoro-tegmina, ocurriendo tanto en machos como hembras. Al contrario en Romaleinae la estridulación se presenta de manera tegmina-alar, usándose para la interacción entre machos.

Las subfamilias que no tienen comportamiento acústico: Leptysminae, Rhytidochrotinae, Ommatolampinae, Melanoplinae, Proctolabinae (Acrididae) y Bactrophorinae (Romaleidae); compensan aquella carencia, con señales ópticas, producidas por el movimiento de antenas o patas traseras, usadas para algunas especies en el cortejo.

Barthlott *et. al.* en 1994, describen la capacidad de camuflaje y hábitos de la especie de saltamontes semi-acuático, *Paulinia acuminata*, en aquel trabajo se detalla su desenvolvimiento, percha y analogía ultra-estructurales para su amplia distribución y vida anfibia.

Suborden Ensifera

Los ensíferos agrupan a todos aquellos ortópteros con antenas mas largas que la longitud del cuerpo, ovopositor alargado y conspicuo, el órgano timpánico se halla en el primer par de tibias (excepto en Gryllacrididae y algunos Gryllidae en los cuales es ausente) (Montealegre-Z 1997; Cadena-Castañeda & Cortés-Torres en prensa). Conocidos en Latinoamérica como grillos o esperanzas (Hogue, 1993). Los integrantes de este suborden son principalmente nocturnos y con hábitos variados, desde fitófagos a predadores (Nickle 1992a; Montealegre-Z 1997).

1. Superfamilia Gryllotalpoidea

Esta superfamilia solo esta conformada por la familia Gryllotalpidae, conocidos comúnmente como grillos topo o alacranes cebolleros (Nickle, 1992b) Distinguidos fácilmente por su adaptación a la vida subterránea y primer par de tibias modificadas para cavar (Leach 1815, Chopard 1949).

Los estudios realizados en este grupo son centrados en la taxonomía, entre estos los mas sobresalientes son los realizados por Nickle & Castner en 1984 y Nickle en el 2003.

Canhedo Lascombe & Corseuli (1996) hacen hasta el momento el único estudio en el neotrópico con datos comportamentales; allí caracterizan las especies de grillos topo halladas en el estado de Rio Grande do Sul en Brasil, aportando observaciones biológicas tanto en cautiverio como en estado silvestre, también grabaron y analizaron cantos de las especies registradas.

Los estudios acústicos son de gran importancia para el grupo, pues las especies cripticas comunes en los grillotalpidos, han podido ser diferenciadas mediante el análisis de sus cantos. (Bennet-Clark 1970b; Townsend 1983; Nickle y Castner 1984). Los machos pueden producir, básicamente sonidos de llamada, cortejo y agresividad, dependiendo la situación en la que se encuentren, siendo los de llamada, importantes para el reconocimiento de las especies (Canhedo Lascombe y Corseuli 1996). El mecanismo de producción acústica es similar al de los grillos comunes, un plectrum en el margen posterior de las tegminas que se frota contra la superficie inferior dentada de la vena contralateral Cu2. Bennet-Clark (1970a) expuso la mecánica de producción acústica, descubriendo que ambas tegminas de los machos emiten sonidos, pudiendo actuar juntas, existiendo una estrecha relación entre el tamaño y el número de dientes de la fila estriduladora y la amplitud de los cantos producidos. El mismo autor en 1987, aporta datos sobre la importancia de las galerías construidas en las emisiones sonoras. A pesar que los cantos de los grillos topo permanecen en el rango de audio humano, algunas especies son sensibles a los ultrasonidos (Montealegre-Z. 2005).

2. Superfamilia Grylloidea

Dentro de esta superfamilia se incluyen a nivel neotropical las familias Gryllidae, Mogoplistidae, Myrmecophilidae, Phalangopsidae, Oecanthidae, Trigodiniidae y Eneopteridae (según Dessuter 1987, 1988, 1990 y con las modificaciones por Dessuter-Grandcolas 2003). Estudios en el grupo son principalmente taxonómicos, en los cuales se describen cada vez un gran número de especies. La riqueza específica y genérica aún no ha sido inventariada, pues este grupo presenta diversidad de mecanismos de especiación, siendo el más común, la distribución simpátrica (Cadena-Castañeda y García 2012), y con una especiación principalmente de carácter ecológico (Cadena-Castañeda en prep.). Las características principales para la designación de géneros y especies ha sido la del complejo fálico y los cantos, para este último se tiene pocos registros.

Estudios en el ámbito comportamental, han sido en su mayoría acústicos y en menor medida de defensa, cópula y desenvolvimiento ambiental. El estudio clásico para el grupo, fue desarrollado por Alexander y Otte, en 1967, allí detallan las estructuras genitales, comportamiento, hábitat, filogenia y especiación con respecto a los mecanismos de cópula de las distintas familias y subfamilias de grillos, también se dan pequeños apartes en algunos grupos del orden Orthoptera *sensu lato*. Los autores en este estudio establecen las siguientes categorías en el

comportamiento sexual: 1- Conformación de la pareja, 2- Cortejo, 3- Cópula, 4- Post-cópula y/o comportamiento intercópulatorio. Este trabajo monográfico, se enfocó en los actos copulatorios de los grillos, logrando la correlación evolutiva con respecto a los cambios en la genitalia en los actos de cópula, y el descubrimiento de las relaciones o variaciones en la secuencia reproductiva del acto sexual de los grillos.

En el área del comportamiento sexual de los grillos, vale la pena destacar los trabajos realizados por Zefa y Fontanentti 2002 en *Gryllus assimilis*, Zefa *et al.* 2008 en *Adelosgryllus rubricephalus*, *Nemoricantor mayus* (Alexander y Otte 1967; Boake & Capranica 1982; Boake 1984), *Phaeophilacris spectrum* (Dambach y Lichtenstein 1978), *Vanzoliniella sambophila* (Mello & Reis, 1994), *Ecuazarida recóndita* (Nischk y Otte 2000) y *Eidmanacris corumbatai* (Prado 2005). Todos se enfocan en las categorías del comportamiento sexual propuestas por Otte & Alexander (1967).

Trabajos en la acústica se han realizado en gran número por Richard D. Alexander & Thomas Walker, pero casi en su totalidad para especies con distribución Neártica, por tal razón en este manuscrito no se profundiza en aquellas contribuciones. Los aportes acústicos para las especies neotrópicas se han realizado como un aparte en descripciones o redescripciones de especies, por ejemplo el trabajo publicado por García-Novo (2002), el autor redescubre a *Urogryllus toledopizai* (actualmente *Anurogryllus toledopizai*), de igual manera describe el complejo fálico, cromosomas, datos biológicos y finalmente el canto. Trabajos con similar estructura se han realizado, con algunas variaciones, por ejemplo, son escasos los artículos que incluyan el canto y los cromosomas de las especies, la generalidad es descripción o redesccripción, datos biológicos y cantos de las especies: *Gryllus argentinus* por Martins y Zefa 2002; *Luzarida lata* y *Luzaridiella susurra* por Martins *et al.* 2013; *Vanzoliniella sambophila* por Mello y Dos Reis 1994. Desutter-Grandcolas & Cadena-Castañeda (en prensa), describen un nuevo género de la familia Gryllidae con cuatro especies provenientes de la región Amazónica de Colombia, Guyana y Perú, para todas las especies se caracteriza el canto y se sugieren posibles escenarios de diversificación. Nischk & Otte (2000), describe el canto de doce especies de la familia Phalangopsidae, provenientes del Ecuador, todas eran nuevas para la ciencia y entre estas se describieron cuatro géneros nuevos, también se aportaron datos ecológicos y morfológicos, de las especies allí descritas.

Finalmente, West y Alexander (1963), estudian el comportamiento subsocial, de *Anurogryllus muticus*, en el cual detallan también un comportamiento basal de cuidado parental, en el cual la hembra cuida de las crías hasta el tercer instar.

3. Superfamilia Stenopelmatoidea

Aquí se incluyen a las familias Stenopelmatidae, Anostomatidae y Gryllacrididae. Estudios formales en el comportamiento de este grupo se han realizado principalmente en Europa y Australia, en el Neotrópico se desconoce bastante de la biología de estos insectos tan peculiares.

Gryllacrididae o grillos enrolladores de hojas, no tienen ni un solo aporte en el área de la etología para las especies del nuevo mundo. Solo se conoce la capacidad de producir seda por algunas glándulas bucales (Walker *et al.* 2012), pero aquel estudio se realizó con especies australianas, no se tiene certeza si lo mismo sucede con las especies neotrópicas. Según mis observaciones en campo de numerosas especies no descritas en Colombia, se pueden hacer investigaciones sobre el comportamiento defensivo, asociación a plantas de cítricos, comportamiento de copula, tremulación, comportamiento agonístico y aunque estas especies carecen de tímpanos en el primer par de tibias y estridulación de tipo tegminal, varias especies observadas producen cantos con el frote de sus mandíbulas, o el frote de sus fémures posteriores y filas estriduladoras ubicadas en la parte lateral de los terguitos abdominales principalmente en los terguitos ocho y nueve, algunas especies presentan una sola fila estriduladora abdominal y otras dos.

Anostomatidae es una familia que no se halla usualmente en campo, para Colombia se hace el primer reporte de esta por Cadena-Castañeda y Cortés-Torres (en prensa), con la descripción de dos especies, una del género *Anabropsis* s. lato., y otra del género *Apotetamenus*. Estudios comportamentales del grupo no se han desarrollado para el neotrópico; hasta el momento solo se conoce de una especie *Hydrolutes breweri*, que posee hábitos acuáticos, esta información es mencionada en una nota ecológica dentro la descripción de la especie (Derka & Fedor, 2010).

La familia Stenopelmatidae, conocidos comúnmente como “Jerusalem crickets” (Weissman 2005). David Weissman actualmente realiza un estudio monográfico de esta familia, el estudio lleva mas de 25 años en desarrollo y consiste en relaciones filogenéticas en base a datos morfológicos y moleculares, además de aportes comportamentales, ecológicos y distribucionales; este autor es quien ha realizado la mayoría de estudios para el grupo, en los cuales se destaca el capítulo tres dentro del libro “The biology of wetas, king crickets and their allies” (Field 2001), ese capítulo titulado: “North and Central American Jerusalem Crickets (Orthoptera: Stenopelmatidae): taxonomy, distribution, life cycle, ecology and related biology of the American species”, suministra datos de regeneración de extremidades en algunas de las especies del género *Stenopelmatus*, hábitos subterráneos y mecanismos de defensa. Las especies de este grupo en el neotrópico, se hallan en galerías construidas tanto por machos como hembras, allí ovopositan y algunas veces copulan. Este grupo presenta reducción en sus ojos, debido a sus hábitos subterráneos. Los mecanismos de defensa empleados por las especies neotrópicas es la apertura de mandíbulas y levante del primer par de patas de forma amenazadora, además de estridulación femoro-abdominal.

4. Superfamilia Tettigonoidea

Esta superfamilia está compuesta en la actualidad por la familia Tettigoniidae, para este grupo se han desarrollado numerosos estudios en la región neotropical, en su mayoría taxonómicos,

pero con interesantes estudios en el área de la etología, con las ramas más representativas como la bioacústica y desenvolvimiento ecológico de las especies (mecanismos de defensa, camuflaje y mimetismo entre otros). Los tetigonidos, conocidos comúnmente como “busch crickets” o esperanzas (Hogue 1993), son generalmente nocturnos, permaneciendo ocultos durante el día, saliendo en la noche para alimentarse y buscar pareja (Nickle 1992a; Montealegre-Z. 1997).

Para este grupo, un estudio global que encierra invaluable aporte, taxonómico, ecológico (entre estas preferencias de hábitat y diversificación influida en el gradiente altitudinal) y comportamentales (principalmente bioacústica), fue el realizado por Holger Braun en 2002 (este estudio aun continua en curso), en el sur de Ecuador. Estudios de similar naturaleza fueron llevados a cabo por Nickle (1992a) y Montealegre-Z (1997), donde hacen un inventario de la fauna de tetigonidos de Panamá y Colombia respectivamente, adicionando datos de historia natural, como notas acerca de mecanismos de defensa, camuflaje, mimetismo y preferencia de hábitat.

Los estudios en el área del mecanismo de defensa, los más representativos son los realizados por Robinson (1969), en el cual describe el comportamiento de defensa primario y secundario de dos especies: *Acanthodis curvidens* y *Scorpiorinus fragilis*. Chamorro *et al.* (2005, 2007) detallan como los machos de *Panacanthus pallicornis* compiten por la territorialidad y derecho de copula, realizando tremulación, acompañada de cantos sincrónicos y despliegues defensivos que consisten en la apertura de mandíbulas y levantamientos del primer par de patas; otro estudio previo con similares resultados fue publicado por Morris (1980), basándose en la especie *Copiphora rhinoceros*. Castner en 1995, describe el despliegue de las hojitas caminantes de la especie *Pterochroza ocellata*, este consiste en el posicionamiento del animal en los dos primeros pares de patas y levantamiento del tercer par de patas, al mismo tiempo abriendo las tegminas y exhibiendo el segundo par, el cual es colorido y sobre el margen distal entre la región anal y medial se encuentra un ocelo, que es usado para confundir a sus predadores. Estudios en el comportamiento defensivo de las hojitas caminantes fueron realizados por Castner & Nickle, 1995, en algunas especies de los géneros *Typophyllum*, *Mimetica* y *Pterochroza*.

Estudios sobre la bioacústica de la familia, son de dos tipos fundamentales; los que utilizan los cantos como material complementario para la descripción de especies o como caracteres de interés filogenético, el segundo tipo, son los usados en la biomecánica y proyección acústica. Los estudios mas sobresaliente del primer tipo son: Los estudios realizados por Braun (2011a, 2011b, 2011c), describe el género *Nanoleptopoda* y el canto de las dos especies que componen a dicho género, de igual modo hace para *Lichenodraculus matti* y *Ottotettix smaragdopoda* todas estas especies de los Andes ecuatorianos. En 1982 Morris & Beier describen el canto de doce especies de la subfamilia Pseudophyllinae provenientes de Costa Rica. En 1989 Morris *et. al.* describen la estructura física del canto de nueve especies de pseudofilinos ecuatorianos, varias de estas especies fueron nuevas para la ciencia. Montealegre-Z. Morris (1999) describen el canto de 16 especies de pseudofilinos de Colombia y Ecuador, como primera parte de un estudio que continua con los diferentes grupos de la familia, próximamente saldrá publicada la segunda parte que será dedicada a la subfamilia Conocephalinae (Montealegre-Z. com. pers.) Morris & Montealegre-Z,

2001, describe la biología y el canto de ocho especies de tetigonidos del PNN Ucumary en Colombia. Para estudios sistemáticos el canto ha sido como carácter en los trabajos de: Montealegre-Z. y Morris, 2004, para la filogenia del género *Panacanthus*. Montealegre-Z. *et al.*, 2011, para la filogenia del género *Artiotonus* y para la filogenia de 58 especies tropicales realizada por Montealegre-Z. en el 2009. Otro estudio interesante es el realizado por Morris *et al.* 1994 para ocho especies ecuatorianas en los cuales se analizaron los cantos ultrasónicos y mecanismos de tremulación.

El segundo tipo de estudios acústicos, en los cuales el artículo se dedica a la biomecánica o aplicabilidad del canto son: Montealegre-Z. *et al.* 2003, describen el mecanismo estridulatorio del macho y la hembra de *Panaploscelis specularis*. Montealegre-Z. y Mason (2005), describen la mecánica de la estridulación en *P. pallicornis*. El animal más ultrasónico fue grabado y documentado por Montealegre-Z. *et al.* 2006, esta especie se ubica por el momento en el género de tetigonidos predadores *Arachnoscelis*, aunque esta clasificación esta pronta ha ser modificada (Montealegre-Z. *et al.* en prensa). La estridulación reversa de dos especies ha sido estudiadas; la primera especie fue *Ischnomela gracilis* por Montealegre-Z. (2012) y la otra en un trabajo en prensa por Chivers *et al.* Estudios en esta área son de gran interés para la realización de mejores parlantes y micrófonos ultrasónicos. Finalmente, el estudio realizado por Montealegre-Z. *et al.* 2012, sobre la convergencia evolutiva entre el oído de los tetigonidos y el de mamíferos, nos ayudara a comprender de mejor manera la mecánica y funcionamiento de este órgano en ambos grupos y quizás sea aplicable para la construcción de ayudas auditivas para personas con sordera leve a media (Montealegre-Z. com. pers.).

Sobre el camuflaje y el mimetismo, el estudio base de esta naturaleza en el neotrópico es el que realizó Leroy (1985), en este trabajo establece que según las categorías de camuflaje o mimetismo el individuo desarrolla un comportamiento derivado, por ejemplo especies como *Aganacris insectívora* mimetizan avispas de Pompilidos del género *Pepsis*, a la vez de desarrollar este mimetismo, también desarrolla el comportamiento de imitar en los movimientos y otras acciones de las avispas a quienes imita. Leroy establece cinco acciones que se presentan derivadas del camuflaje: imitación del movimiento, imitación de características del insecto (capacidad de camuflaje), contraste insecto-medio (teniendo como resultados principales camuflaje liquenomorfico, filidomorfico entre otros), diversidad de las apariencias individuales, dispersión de los individuos. Este estudio es la base para las investigaciones actuales en el área del mimetismo y camuflaje en Orthoptera y otros grupos relativos.

Nickle y Castner (1995), publican un estudio de la fauna de Tettigoniidae en el norte de Perú, caracterizando las estrategias de camuflaje de 370 especies; agrupándolos de la siguiente manera: Especies verdes o marrones que se confunden con hojas o cortezas de árboles, especies que se camuflan en líquenes y briofitos, especies con camuflaje mínimo (estas permanecen inmersas en brómeliás para evitar su predación). También se documentaron especies con adaptaciones asociadas a la crípsis, derivando comportamientos con defensas pasivas. Otras especies más prominentes presentaban mimetismo con avispas, adaptación en la coloración en las

alas, que al ser expuestas podrían confundir al enemigo, otra variante de este tipo son las alas posteriores con ocelos como fue el caso de *Pterochroza ocellata*. Posteriormente Xiberras & Ducaud en el 2004, detallan todos las variantes de color de la especie *Pterochroza ocellata*, y como este ha ido apareciendo según el lugar en el que se desenvuelva las poblaciones de la especie, con este aporte las especies descritas en el género *Pterochroza* son sinonimizadas, manteniendo al género monotípico, las especies descritas con antelación al estudio, son consideradas simplemente variaciones intraespecíficas de una única entidad *Pterochroza ocellata*. Estudios sobre la tribu Dysoniini han sido desarrollado en sucesivos trabajos publicados por Cadena-Castañeda (2011a, 2011b, 2013) y Cadena-Castañeda y Gorochoy (2013), allí se detalla el espectacular camuflaje de las especies de esta tribu con líquenes y briofitos. En la filogenia del grupo (Cadena-Castañeda datos no publicados), se detalla que el camuflaje y el comportamiento derivado, son caracteres influyentes para la delimitación de grupos supra-genéricos; por ejemplos el grupo *Dysonia* se delimita en cuanto a camuflaje y comportamiento por confundirse con líquenes foliosos de las familias Parmeliaceae y Lobariaceae, también presentan una marcha lenta y disimulada con respecto a su comportamiento: el grupo *Markia* se camufla entre líquenes arbustivos de los géneros *Usnea*, *Cladia* y *Cladonia*, las especies de los géneros allí agrupados, tienen movimientos rápidos y espinas alargadas y agudas que sirven de protección.

Conclusiones

Los estudios etológicos sobre la fauna del orden Orthoptera en el neotrópico son bajos y pocos son dedicados o exclusivamente de carácter comportamental, los apartes sobre el comportamiento del grupo, son anexos de descripciones taxonómicas u observaciones ocasionales registradas por algunos autores.

Los ortópteros pueden ser útiles como indicadores del grado de perturbación, ya que las especies de este grupo han colonizado numerosos hábitats. Midiendo características como su abundancia y diversidad, es posible realizar trabajos de evaluación de monitoreo de cambios ocasionados por la deforestación. (Montealegre-Z. 1997). Además con datos más robustos sobre su comportamiento y variantes del mismo en distintos escenarios, se podrían establecer algunas especies como modelos para medir la perturbación, aplicándolas en proyectos de conservación, como el de especies sombrilla, conservando a la vez más especies que cohabiten en las regiones a proteger. Los estudios taxonómicos, filogenéticos y comportamentales, trabajados de manera holística, podrían en un futuro, permitir el monitoreo acústico de las selvas lluviosas neotrópicas.

El estudio del comportamiento en Orthoptera, nos podría brindar herramientas para explicar los distintos procesos de especiación no vicariantes, y como la ecología aísla a las especies a pesar que compartan un mismo rango distribucional.

Los estudios etológicos en el área de la bioacústica del grupo, son de gran importancia, pues los mecanismos de emisión y recepción sonora, permitiría aplicarse en estudios de robótica,

en los cuales micrófonos y parlantes ultrasónicos, construcción de ayudas para sordos en base a mecanismos de tráqueas acústicas, estas innovaciones serían posibles en un futuro cercano.

La diversidad etológica en todas sus ramas y disciplinas transversales también constituyen un patrimonio y riqueza de la diversidad biológica que tiene el mismo valor que el de la diversidad genética.

Agradecimientos

Agradezco al profesor Jorge Molina, por permitirme formar parte del Simposio de Comportamiento de Insectos, a realizarse en el 40º Congreso Colombiano de Entomología (SOCOLEN). También agradezco al profesor Alexander García de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, por su apoyo, amistad y colaboración durante este tiempo en la Universidad Distrital.

Literatura citada

- ALEXANDER, R. D.; OTTE, D. 1967. The evolution of genitalia and mating behavior in crickets (Gryllidae) and other Orthoptera. Miscellaneous Publications Museum of Zoology University of Michigan 133: 1-62.
- AMÉDÉGNATO, C. 1977. Étude des Acridoidea centre et sud américains (Catantopinae sensu lato). Anatomie des genitalia, classification, répartition, phylogénie? Thèse, Université Pierre et Marie Curie, Paris. (mimeo.). 385 p.
- ASSIS-PUJOL, C. V. 1998. Aspectos morfológicos, taxonômicos e distribuição geográfica de cinco espécies de *Rhammatocerus* Saussure, 1861 (Acrididae, Gomphocerinae, Scyllinini). Boletim Museu Nacional, Rio de Janeiro 387: 1-27.
- BARTHOLOTT, W.; RIEDE, K.; WOLTER, M. 1994. Mimicry and ultrastructural analogy between the semi-aquatic grasshopper *Paulinia acuminata* (Orthoptera: Pauliniidae) and its foodplant, the water-fern *Salvinia auriculata* (Filicatae: Salviniaceae). Amazoniana 13 (1-2): 47-58.
- BENNET-CLARK, H. C. 1970a. The mechanism and efficiency of sound production in mole crickets. Journal of Experimental Biology 52: 619-652.
- BENNET-CLARK, H. C. 1970b. A new French mole cricket, differing in song and morphology from *Gryllotalpa gryllotalpa* L. (Orthoptera: Gryllotalpidae). Proceedings of the Royal Entomological Society of London (B) 39 (9-10): 125-132.
- BENNET-CLARK, H. C. 1987. The tuned singing burrow of mole crickets. Journal of Experimental Biology 128:383-409
- BENEDIKTOV, A. A. 2005. Vibratory signals in the family Tetrigidae (Orthoptera) [en Ruso]. Proceedings of the Russian Entomological Society 76:131-140.
- BOAKE, C. R. B. 1984. Natural history and acoustic behavior of a gregarious cricket. Behaviour 89 (3-4): 241-250.
- BOAKE, C. R. B.; CAPRANICA, R. R. T. I. 1982. Aggressive signal in 'courtship' chirps of a gregarious cricket. Science 218 (4575): 580-582.

- BRAUN, H. 2002. Die Laubheuschrecken (Orthoptera, Tettigoniidae) eines Bergregenwaldes in Süd-Ecuador – faunistische, bioakustische und ökologische Untersuchungen [doctoral thesis]. 1-143 p.
- BRAUN, H. 2011a. A brief revision of brachypterous Phaneropterinae of the tropical Andes (Orthoptera, Tettigoniidae, Odonturini). Zootaxa 2991: 35-43.
- BRAUN, H. 2011b. Ottotettix, a new katydid genus and species from the rainforest of southern Ecuador (Orthoptera, Tettigoniidae, Pseudophyllinae, Eucocconotini). Journal of Orthoptera Research 20 (1): 39-42.
- BRAUN, H. 2011c. The Little Lichen Dragon - an extraordinary katydid from the Ecuadorian Andes (Orthoptera, Tettigoniidae, Phaneropterinae, Dysoniini). Zootaxa 3032: 33-39.
- CADENA-CASTAÑEDA, O. J. 2011. El género *Adeclus* (Orthoptera: Tettigoniidae): claves, distribución y notas biológicas. Journal of Orthoptera Research 20 (1): 43-49.
- CADENA-CASTAÑEDA, O. J. 2011. La tribu Dysoniini parte I: el complejo Dysonia (Orthoptera: Tettigoniidae) y su nueva organización taxonómica. Journal of Orthoptera Research 20 (1): 51-60.
- CADENA-CASTAÑEDA, O. J. 2013. The tribe Dysoniini part II: The genus *Markia* (Orthoptera: Tettigoniidae; Phaneropterinae), new species and some clarifications. Zootaxa 3599 (6): 501-518.
- CADENA-CASTAÑEDA, O. J.; CORTÉS-TORRES, C. 2013. New species of King Crickets (Orthoptera: Stelnoptelmatodea: Anostomatidae) from the Neotropics and some considerations. Zootaxa. En prensa.
- CADENA-CASTAÑEDA, O. J.; GARCÍA GARCÍA, A. 2012. Descripción de un nuevo género de grillo falangópsido (Orthoptera: Phalangopsidae: Luzarinae) y dos nuevas especies, proveniente de los bosques alto-andinos de Colombia. Journal of Orthoptera Research 21 (2): 261-267.
- CANHEDO-LASCOMBE, V. L.; CORSEUIL, E. 1996. Caracterização das espécies de Gryllotalpidae (Orthoptera, Ensifera) do Rio Grande do Sul, Brasil, com algumas observações biológicas e sonográficas. Iheringia Série Zoologia 80: 65-104.
- CASTNER, J. L. 1995. Defensive behavior and display of the leaf-mimicking katydid *Pterochroza ocellata* (L.) (Orthoptera: Tettigoniidae: Pseudophyllinae: Pterochrozini). Journal of Orthoptera Research 4: 89-92.
- CASTNER, J. L.; NICKLE, D. A. 1995. Observations on the behavior and biology of leaf-mimicking katydids (Orthoptera: Tettigoniidae: Pseudophyllinae: Pterochrozini). Journal of Orthoptera Research 4: 93-97.
- CHAMORRO-RENGIFO, J.; MONTEALEGRE-Z, F. & GONZÁLEZ, R. 2005. Comportamiento intrasexual en machos de *Panacanthus pallicornis* (Walker, 1869) (Orthoptera: Tettigoniidae). Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle 6 (2): 8-15.
- CHAMORRO-RENGIFO, J.; MONTEALEGRE-Z, F. & GONZÁLEZ, R. 2007. Determinants of male spacing behaviour in *Panacanthus pallicornis* (Orthoptera: Tettigoniidae). Ethology 113 (12): 1158-1172.
- CHIVERS, B.; CADENA-CASTAÑEDA, O. J. & MONTEALEGRE-Z, F. Ultrasonic reverse stridulation in the spider-like katydid *Arachnoscelis* (Orthoptera: Listrosceledinae). Bioacustics. En prensa.
- CHOPARD, L. 1949. Ordre des orthoptères. In Grassé [Ed.]. Traité de Zoologie. Anatomie, Systématique, Biologie 9: 617-722.

- DAMBACH, M.; LICHTENSTEIN, L. 1978. Zur Ethologie der afrikanischen Grille *Phaeophilacris spectrum* Saussure. Zeitschrift für Tierpsychologie 46: 14-29.
- DERKA, T.; FEDOR P. J. 2010. *Hydrolutos breweri* sp. n., a new aquatic Lutosini species (Orthoptera: Anostostomatidae) from Churí-tepui (Chimantá Massif, Venezuela). Zootaxa 2653: 51-59.
- DESUTTER, L. 1987. Structure et évolution du complexe phallique de Gryllidea (Orthoptères) et classification des genres néotropicaux de Grylloidea. Première partie. Annales de la Société Entomologique de France. Nouvelle série 23 (3): 213-239.
- DESUTTER, L. 1988. Structure et évolution du complexe phallique des Gryllidea (Orthoptères) et classification des genres néotropicaux de Grylloidea. Deuxième partie. Annales de la Société Entomologique de France. Nouvelle série 24 (3): 343-373.
- DESUTTER, L. 1990. Étude phylogénétique, biogéographique et écologique des Grylloidea néotropicaux (Insectes, Orthoptères). Ph.D. Thesis, Univ. Paris. 347 p.
- DESUTTER-GRANDCOLAS, L. 2003. Phylogeny and the evolution of acoustic communication in extant Ensifera (Insecta, Orthoptera) 32 (6): 525-561.
- DESUTTER-GRANDCOLAS, L. & CADENA-CASTAÑEDA, O. J. *Zebragryllus* n.gen. a new Gryllinae genus from Eastern and Western Amazonia, South America (Orthoptera, Grylloidea, Gryllidae). In press.
- EADES D.C., OTTE D., CIGLIANO M. M., BRAUN H. Orthoptera Species File Online. Version 5.0/5.0, URL: <http://Orthoptera.SpeciesFile.org> [Ultimo acceso: Mayo 2013].
- FIELD, L.H. [Ed.]. 2001. The biology of wetas, king crickets and their allies. 1-540.
- FONTANA, P.; BUZZETTI, F. & MARIÑO-PÉREZ, R. 2008. Chapulines, Langostas, Grillos y Esperanzas de México. Guía fotográfica - Grasshoppers, Locusts, Crickets & Katydid of Mexico. Photographic guide. 1-272 p.
- GARCIA-NOVO, P. 2002. Genitalia, acoustics and chromosomes of *Urogryllus toledopizai* (Orthoptera: Gryllidae). Transactions of the American Entomological Society 128. 1: 31-4.
- HOGUE, C. L. 1993. Latinamerican Insects and Entomology. University of California. Press Oxford England Berkeley. 536 p.
- GWYNNE, D. T. 2001. Katydid & Bush-Crickets: Reproductive Behavior and Evolution of the Tettigoniidae. 317 p.
- LEACH, W. E. 1815. Entomology. In Brewster [Ed.]. The Edinburgh Encyclopaedia 9: 57-172.
- LEROY, Y. 1985. Le camouflage chez les sauterelles Tettigoniidae [Orth.]. Bulletin de la Société Entomologique de France 90: 1051-1071.
- LORENZ, K. 1978. Vergleichende Verhaltensforschung. Grundlagen der Ethologie. Springer-Verlag, Viena y Nueva York. 353 p.
- MARTINS, L.; ZEFA, E. 2011. Contribution to the taxonomy of *Gryllus* Linnaeus, 1758 in South America: Part I: Redescription of *Gryllus argentines* Saussure, 1874 (Orthoptera, Grylloidea, Gryllidae). Entomological Science 14 (1): 87-93.
- MARTINS, L. G.; HENRIQUES, S.; ZEFA, E. 2013. First record of the genera *Luzarida* Hebard, 1928 and *Luzaridella* Desutter-Grandcolas, 1992 (Orthoptera, Gryllidae, Phalangopsinae) from Brazil, including a new species and description of the female of *Luzarida lata* Gorochoy, 2011. Zootaxa 3609 (4): 421-430.
- MELLO, F. A. G.; REIS, J. C. 1994. Substrate drumming and wing stridulation performed during courtship by a new Brazilian cricket (Orthoptera: Grylloidea: Phalangopsidae). Journal of Orthoptera Research 2: 21-24.

- MONTEALEGRE-Z, F. 1997. Estudio de la Fauna de Tettigoniidae (Orthoptera: Ensifera) del Valle del Cauca. 273 pp. [Tesis de pregrado].
- MONTEALEGRE-Z, F. 2005. Biomechanics of Musical Stridulation in katydids, (Orthoptera: Ensifera: Tettigoniidae): An evolutionary approach [Tesis Doctoral]. 1-335.
- MONTEALEGRE-Z, F. 2009. Scale effects and constraints for sound production in katydids (Orthoptera: Tettigoniidae): correlated evolution between morphology and signal parameters. *Journal of Evolutionary Biology* 22 (2): 355-366.
- MONTEALEGRE-Z, F. 2012. Reverse stridulatory wing motion produces highly resonant calls in a neotropical katydid (Orthoptera: Tettigoniidae: Pseudophyllinae). *Journal of Insect Physiology* 58: 116-124.
- MONTEALEGRE-Z, F.; MORRIS, G. K. 1999. Songs and systematics of some Tettigoniidae from Colombia and Ecuador I. Pseudophyllinae (Orthoptera). *Journal of Orthoptera Research* 8: 163-236.
- MONTEALEGRE-Z, F.; MORRIS, G. K. 2004. The spiny devil katydids, *Panacanthus* Walker (Orthoptera: Tettigoniidae): an evolutionary study of acoustic behavior and morphological traits. *Systematic Entomology* 29 (1): 21-57.
- MONTEALEGRE-Z, F.; GUERRA, P. A.; MORRIS, G. K. 2003. *Panoploscelis specularis* (Orthoptera: Tettigoniidae: Pseudophyllinae): extraordinary female sound generator, male description, male protest and calling signals. *Journal of Orthoptera Research* 12 (2): 173-181.
- MONTEALEGRE-Z, F.; MASON, A. C. 2005. The mechanics of sound production in *Panacanthus pallicornis* (Orthoptera: Tettigoniidae: Conocephalinae): the stridulatory motor patterns. *Journal of Experimental Biology* 208:1219-1237.
- MONTEALEGRE-Z, F.; MORRIS, G. K.; MASON, A. C. 2006. Generation of extreme ultrasonics in rainforest katydids. *Journal of Experimental Biology* 209 (24): 4923-4937.
- MONTEALEGRE-Z, F.; MORRIS, G. K.; SARRIA-S, F.; MASON, A. C. 2011. Quality calls: phylogeny and biogeography of a new genus of neotropical katydid (Orthoptera: Tettigoniidae) with ultra pure-tone ultrasonics. *Systematics and Biodiversity* 9 (1): 77-94.
- MONTEALEGRE-Z, F.; JONSSON, T.; ROBSON BROWN, K. A.; POSTLES, M.; ROBERT, D. 2012. Convergent evolution between insect and mammalian audition. *Science* 338 (6109): 968-971.
- MONTEALEGRE-Z, F.; CADENA-CASTAÑEDA, O. J.; CHIVERS, B. 2013. The spider-like katydid *Arachnoscelis* (Orthoptera: Tettigoniidae: Listroselidinae): anatomical study of the genus. *Zootaxa*. En prensa.
- MORRIS, G.K. 1980. Calling display and mating behaviour of *Copiphora rhinoceros* Pictet (Orthoptera: Tettigoniidae). *Animal Behaviour* 28: 42-51.
- MORRIS, G. K.; BEIER, M. 1982. Song structure and description of some Costa Rican katydids. *Transactions of the American Entomological Society* 108: 287-314.
- MORRIS, G. K.; KLIMAS, D. E.; NICKLE, D. A. 1989. Acoustic signals and systematics of false-leaf katydids from Ecuador (Orthoptera, Tettigoniidae, Pseudophyllinae). *Transactions of the American Entomological Society* 114 (3-4): 215-263.
- MORRIS, G. K.; MASON, A. C.; WALL, J.; BELWOOD, J. 1994. High ultrasonic and tremulation signals in neotropical katydids (Orthoptera: Tettigoniidae). *Journal of Zoology, London* 233 (1): 129-163.

- MORRIS, G. K.; MONTEALEGRE-Z, F. 2001. Los Tettigoniidae (Orthoptera: Ensifera) del Parque Regional Nacional Ucuari: Aspectos interesantes de comunicación acústica. *Revista Colombiana de Entomología* 27 (3-4): 93-105.
- NASKRECKI, P. 2000. Katydids of Costa Rica. Vol. 1. Systematics and bioacoustics of the cone-head katydids. 164 p.
- NICKLE, D. A. 1992a. Katydids of Panama (Orthoptera: Tettigoniidae). In Quintero & Aiello [Ed.]. *Insects of Panama and Mesoamerica: Selected Studies* 142-184.
- NICKLE, D. A. 1992b. The crickets and mole crickets of Panama (Orthoptera: Gryllidae and Gryllotalpidae). In Quintero & Aiello [Ed.]. *Insects of Panama and Mesoamerica: Selected Studies* 185-197.
- NICKLE, D. A. 2003. A revision of the mole cricket genus *Scapteriscus* with the description of a morphologically similar new genus (Orthoptera: Gryllotalpidae: Scapteriscinae). *Transactions of the American Entomological Society* 129 (3-4): 411-485.
- NICKLE, D. A. & CASTNER, J. L. 1984. Introduced species of mole crickets in the United States, Puerto Rico, and the Virgin Islands (Orthoptera: Gryllotalpidae). *Annals of the Entomological Society of America* 77 (4).
- NICKLE, D. A.; CASTNER, J. L. 1995. Strategies Utilized by Katydids (Orthoptera: Tettigoniidae) against Diurnal Predators in Rainforests of Northeastern Peru. *Journal of Orthoptera Research* 4: 75-88.
- NISCHK, F.; OTTE, D. 2000. Bioacoustic, ecology and systematic of Ecuadorian rainforest crickets (Orthoptera: Gryllidae: Phalangopsinae), with a description of four new genera and ten new species. *Journal of Orthoptera Research* 9: 229-254.
- PRADO, R. 2005. Reproductive behavior of *E. corumbatai* Garcia (Orthoptera: Phalangopsidae). *Neotropical Entomology* 35 (4): 452-457.
- RIEDE, K. 1987. A comparative study of mating behaviour in some neotropical grasshoppers (Acridoidea). *Ethology* 76: 265-266.
- ROBINSON, D. J. 1990. Acoustic communication between the sexes in bushcrickets. In Bailey, W. J. & D.C.F. Rentz [Ed.]. *Tettigoniidae: Biology, Systematics and Evolution* 112-129.
- ROBINSON, M. H. 1969. The defensive behaviour of some orthopteroid insects from Panama. *Transactions of the Royal Entomological Society of London*. 121: 281-303.
- TINBERGEN, N. 1963. On Aims and Methods in Ethology. *Zeitschrift für Tierpsychologie*, 20: 410-433
- TINBERGEN, N. 1965. *Animal behavior*. Time Inc. Nueva York. 200 p.
- TOWNSEND, B. C. 1983. A revision of Afrotropical mole-crickets (Orthoptera: Gryllotalpidae). *Bulletin of the British Museum (Natural History) Entomology*. 46 (2):175-203.
- WALKER, A. A, WEISMAN, S., CHURCH, J. S., MERRITT, D. J., MUDIE S. T., SUTHERLAND, T. D. 2012. Silk from Crickets: A New Twist on Spinning. *PLoS ONE* 7 (2): 1-8.
- WEISSMAN, D. B. 2001. North and Central American Jerusalem Crickets (Orthoptera: Stenopelmatidae): taxonomy, distribution, life cycle, ecology and related biology of the American species. In Field, L.H. [Ed.]. *The biology of wetas, king crickets and their allies*. 57-72 p.
- WEISSMAN, D. B. 2005. Jerusalem! cricket? (Orthoptera: Stenopelmatidae: Stenopelmatidae); Origins of a Common Name. *American Entomologist* 51 (3): 138-139.
- WEST, M. J.; ALEXANDER, R. D. 1963. Sub-social behavior in a burrowing cricket *anurogryllus muticus* (de geer) Orthoptera: Gryllidae. *The Ohio Journal of Science* 63 (1): 19-24.

- XIBERRAS, S.; DUCAUD, P. 2004. Sauterelles-feuilles de Guyane: révision du genre *Pterochroza* (Orthoptera: Tettigoniidae: Pseudophyllinae: Pterochrozini). *Lambillionea* 104 (3):1-38
- ZEFA, E.; FONTANETTI, C. S. 2002. Pars stridens morphology and acoustic signal emission in the reproductive behavior of *Gryllus assimilis* Fabricius, 1775 (Orthoptera: Gryllidae). *Naturalia* 27: 133-143.
- ZEFA, E.; MARTINS, L. P.; SZINWELSKI, N. 2008. Complex mating behavior in *Adelosgryllus rubricephalus* (Orthoptera, Phalangopsidae, Grylloidea). *Iheringia Série Zoologia* 98 (3):325-328.

Señales vibratorias en comportamiento de insectos: Producción, detección y métodos de estudio

Melanie Ramírez Casallasas¹, Mario Iván Ortiz Yanine² y Jorge Molina³

¹ Bióloga, Centro de Investigaciones en Microbiología y Parasitología Tropical (CIMPAT), Departamento de Ciencias Biológicas, Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia. Cra 1ra # 18A-10, me-ramir@uniandes.edu.co

²PhD. Centro de Investigaciones en Microbiología y Parasitología Tropical (CIMPAT), Departamento de Ciencias Biológicas, Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia. Cra 1ra # 18A-10, mario-or@uniandes.edu.co

³Dr. rer. nat. Centro de Investigaciones en Microbiología y Parasitología Tropical (CIMPAT), Departamento de Ciencias Biológicas, Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia. Cra 1ra # 18A-10, jmolina@uniandes.edu.co

La comunicación animal, es un proceso complejo de intercambio de información entre un emisor y un receptor, que implica la producción de señales que son transmitidas a través de diferentes medios de propagación (Greenfield 2002). El uso de señales mecánicas, como el sonido y las vibraciones para transmitir mensajes, está altamente desarrollado en artrópodos (Greenfield 2002; Claridge 2005).

En insectos, aproximadamente doce órdenes utilizan algún tipo de comunicación mecánica (Yager 1999; Greenfield 2002). Este tipo de comunicación, implica por definición una perturbación en el medio, sea líquido, sólido o gaseoso. Cuatro mecanismos de transmisión han sido identificados: sonido a través del aire (campo cercano y lejano), sonido bajo el agua, vibraciones a través del sustrato y ondas que viajan por la superficie del agua (Greenfield 2002). Dentro de estos, el mecanismo más utilizado son las vibraciones que viajan a través del sustrato. Aproximadamente, el 80% de las familias de insectos (con representación de al menos una especie) utilizan vibraciones a través del sustrato como único mecanismo o combinado con otras estrategias (Cocroft y Rodríguez 2005). Los insectos no solo han desarrollado formas complejas de producción de señales, sino también la capacidad de detectar dichas perturbaciones. Elaborados sistemas sensoriales reciben la señal mecánica y la transforman en señales nerviosas electroquímicas, que transmitidas y procesadas en el sistema nervioso central inducen cambios en el comportamiento del individuo.

Tomando como referencia de la comunicación mecánica a *Drosophila melanogaster*, esta revisión pretende comparar los resultados de las investigaciones sobre la comunicación vibratoria en el comportamiento de dos especies de insectos, *Nezara viridula* y *Rhodnius prolixus*, bajo tres preguntas: ¿cómo se produce la señal? ¿qué órganos sensoriales la detectan? y finalmente, ¿cuáles son las técnicas y métodos en el estudio de comunicación mecánica por vibraciones?

Contextos comportamentales y producción de la señal

La comunicación a través de vibraciones puede estar envuelta en diferentes tipos de interacciones, tanto inter como intraespecíficas, y puede cumplir varias funciones (Virant-Doberlet y Cokl 2004). La mayoría de los estudios en insectos se han centrado en el contexto sexual, en donde este tipo de señales pueden servir para encontrar y atraer parejas. Sin embargo, también se ha visto que bajo un contexto de defensa, las vibraciones pueden ser utilizadas como un mecanismo contra depredadores y parásitos (Cokl y Virant-Doberlet 2003; Virant-Doberlet y Cokl 2004).

Un organismo que ha sido ampliamente estudiado en el campo de la recepción de estímulos mecánicos y que ha servido como un excelente modelo para hacer aproximaciones a nivel neuroanatómico, neurofisiológico y neuroetológico es *Drosophila melanogaster* (Matsuo y Kamikouchi 2013). Se sabe que durante el cortejo de esta especie los machos hacen vibrar sus alas a tan solo 2,5 - 5 mm de la hembra, produciendo dos tipos de cantos: una oscilación sinusoidal continua y un canto de pulsos, que tiene una frecuencia fundamental de 170 Hertzios (Hz) (Tauber y Eberl 2003). El mecanismo de transmisión de este tipo de señales se da a través del aire, en campo cercano, en donde su componente más importante es el desplazamiento de las partículas del aire (Tauber y Eberl 2003). Las hembras, al detectar el canto del macho, reducen significativamente su locomoción y los machos, a su vez, responden persiguiendo a otros machos (Tauber y Eberl 2003; Matsuo y Kamikouchi 2013). Este tipo de comportamientos han servido como punto de partida para el estudio de la antena, como principal órgano mecanosensorial, y las rutas neurológicas involucradas en la transducción de la señal.

Otro caso muy bien estudiado, es el del fitófago *Nezara viridula*, perteneciente a la familia Pentatomidae. Cokl y colaboradores (1999) encontraron que los machos responden comportamentalmente al canto de la hembra y pueden localizarla con precisión detectando las vibraciones que viajan por el sustrato, una vez ésta se encuentra sobre la misma planta hospedera. El canto de la hembra, se compone de un *chirp* corto, con una frecuencia fundamental de 108 Hz, seguido de uno largo con una frecuencia de 83 Hz (Cokl *et al.* 1999; 2000). La producción de la señal se da por una estructura especializada producto de la fusión del primer y segundo terguito abdominal (¿timbal?). La fusión de estos terguitos forma una placa con movimientos antero-posteriores controlados por contracciones de músculos asociados (Cokl y Virant-Doberlet 2003; Nahirney *et al.* 2006). En el caso de *Nezara*, las patas y no las antenas han sido involucradas como las estructuras encargadas de detectar las señales intraespecíficas emitidas.

Por último, *Rhodnius prolixus* (Reduviidae), un hemíptero hematófago de importancia médica, genera vibraciones estridulando al frotar la punta de su probóscide contra las estrías transversales de un surco estridulatorio ubicado en el prosterno (Cai *et al.* 1994; Schofield 1977; Lent y Wygodzinsky 1979). Manrique y Schilman (2000) describieron dos contextos comportamentales bajo los cuales *R. prolixus* estridula: bajo una situación de disturbio, en donde

el insecto es restringido de su libre movimiento y bajo un contexto sexual, en el que la hembra rechaza los intentos de cópula por parte del macho. En el primer caso, las sílabas de la estridulación están compuestas por una serie de *chirps* cortos y uno largo, con una frecuencia fundamental de 2700 Hz para los primeros y una frecuencia de 2200 Hz para el segundo. Por otra parte, cuando las hembras rechazan al macho producen una serie corta de sílabas repetitivas, cada una compuesta por un solo *chirp* y con una frecuencia alrededor de 1500 Hz. Sin embargo, este canal de comunicación en *Rhodnius* ha sido poco estudiado. Actualmente estamos llevando a cabo experimentos con nuevas aproximaciones metodológicas que buscan determinar cuál es el órgano sensorial responsable de la recepción y transducción de las señales estridulatorias en *Rhodnius prolixus*.

Órganos sensoriales que detectan vibraciones

Los insectos que detectan el desplazamiento de las partículas, en campo cercano, lo hacen mediante dos mecanismos principales: pelos que están ligeramente atados a la cutícula y/o antenas que resuenan con el movimiento de las partículas del aire (Eberl 1999; Tauber y Eberl 2003). A diferencia de aquellos que utilizan tímpanos para detectar cambios en la presión atmosférica, la audición antenal es apropiada cuando se utiliza en los tipos de comunicación que se dan en una cercanía tal como la que se conoce en moscas de la fruta, mosquitos y abejas (Dreller y Kirchner 1993; Tauber y Eberl 2003; Nadrowski *et al.* 2011; Matsuo y Kamikouchi 2013). En todos estos casos, se sabe que la antena es el receptor de vibraciones, que alberga un órgano cordotonal (OC) conocido como el órgano de Johnston (OJ) (Dreller y Kirchner 1993; Field y Mathenson 1998; Eberl 1999; Yack 2004). En general el OJ está ubicado en alguna de las articulaciones de los segmentos antenales, por ejemplo, en aquellos insectos con antenas filiformes el OJ se ubica en la parte distal del segundo segmento (pedícelo) y es estimulado con los movimientos de las partículas de aire que son capturados por los segmentos flagelares carentes de músculos asociados. Todos los OJ están compuestos por unidades cordotonales llamadas escolopidios, cada uno con una célula escolopal, una célula *cap*, una célula de ligamento y dos o tres neuronas bipolares (Yack 2004).

En *Drosophila*, la antena está compuesta por una arista delgada y tres segmentos proximales, a1-a3 (escapo, pedícelo y funículo respectivamente) (Todi *et al.* 2004). En presencia de estímulos mecánicos, la arista es el principal receptor del desplazamiento de las partículas del aire; junto con el segmento a3 estimulan la unión a2-a3 en donde se ubican más de 150 escolopidios del OJ (Todi *et al.* 2004). En cada escolopidio, los cilios de cada una de las neuronas son estimulados por el movimiento que se da en la base del receptor de sonido (Todi *et al.* 2004; Matsuo y Kamikouchi 2013). Anatómicamente, las neuronas del OJ han sido clasificadas en cinco zonas (A-E), cada una de las cuales se corresponde anatómicamente con un área en el cerebro de la mosca (Kamikouchi *et al.* 2006; 2009; Yorozu *et al.* 2009).

En 2009, Kamikouchi y colaboradores encontraron que el OJ actúa como un único sistema capaz de monitorear diferentes tipos de movimientos de la antena. Experimentos comportamentales y electrofisiológicos soportan el hecho de que *Drosophila* responde, no solo ante estímulos acústicos, sino también ante viento y gravedad (Kamikouchi *et al.* 2009; Yorozu *et al.* 2009; Matsuo y Kamikouchi 2013). En el primer caso, los subgrupos neuronales encargados de detectar vibraciones son el AB, mientras que los subgrupos que detectan deflexiones estáticas, como la gravedad y el viento, son el CE (Kamikouchi *et al.* 2009; Yorozu *et al.* 2009). Además, se sabe que las neuronas del subgrupo A son las responsables de la detección de frecuencias altas, (ca. 1000 Hz), mientras que las neuronas del subgrupo B son más sensibles a estímulos de frecuencias bajas (ca. 20 Hz) (Kamikouchi *et al.* 2009; Yorozu *et al.* 2009).

En insectos, existe además otro canal de recepción de vibraciones altamente sensible: las patas. En el caso particular de *Nezara viridula*, se han descrito para cada una de sus seis patas, cuatro órganos cordotonaes. Tres órganos localizados en las articulaciones (femoral, tibial y tarso-pretarsal) y un órgano subgenual dorsal anclado a diferentes estructuras (Cokl y Virant-Doberlet 2003).

El OC femoral contiene 12 escolopidias organizadas en dos regiones; una proximal y una distal. Por su parte, el OC tibial posee tan solo dos escolopidias, mientras que el OC tarso-pretarsal tiene un escolopidio proximal y tres distales. Finalmente, el órgano subgenual se encuentra en la parte proximal de la tibia y está compuesto por dos escolopidias (Cokl y Virant-Doberlet 2003; Cokl *et al.* 2005).

Grabaciones electrofisiológicas intracelulares del nervio de la pata han encontrado dos tipos de receptores altamente sensibles a vibraciones de frecuencias bajas y altas. Los receptores de frecuencia baja (Low Frequency Receptors o LFR) tienen una mayor sensibilidad entre 50 y 100 Hz. Los de frecuencias altas se dividen en dos: receptores de frecuencia media (Medium Frequency Receptors o MFR) y receptores de frecuencia alta (High Frequency Receptors o HFR). Los MFR responden con un pico de mayor sensibilidad en 200 Hz mientras que los HFR responden entre 750 y 1000 Hz (Cokl y Virant-Doberlet 2003).

En el caso de *Nezara*, el OJ antenal cuenta con 45 escolopidias y es más sensible a frecuencias entre 30 y 100 Hz. Sin embargo, su umbral de sensibilidad es muy alto comparado con el de los OC de las patas. Por esta razón, en este caso en el que la comunicación entre individuos se da en un rango de alrededor de dos metros, el aporte del OJ como el receptor de señales vibratorias no sería tan relevante (Cokl y Virant-Doberlet 2003). No obstante, su papel como receptor en la comunicación en campo cercano o en contacto directo no puede ser descartado (Jeram y Cokl 1996; Cokl y Virant-Doberlet 2003).

Como en otros heterópteros, en insectos de la subfamilia Triatominae, no se han encontrado órganos auditivos o comportamientos evidentes que comprueben que responden a comunicación a través del aire (Schofield 1977; Cokl y Virant-Doberlet 2003). Autrum y Schneider (1948) realizaron grabaciones extracelulares para cuantificar la sensibilidad de los mecanoreceptores de las patas, exponiéndolos a diferentes frecuencias de vibración transmitidas

por el sustrato en varios grupos de insectos. En *R. prolixus* sus mediciones estuvieron restringidas al órgano distal de la tibia, encontrando una mejor respuesta a 400 Hz y no presentando sensibilidad a frecuencias más altas. Se desconoce en *R. prolixus* de la presencia de un órgano subgenual verdadero y del papel que pueden jugar en la detección de estímulos mecánicos por parte de las sensillas campaniformes (Manrique y Schilman 2000).

Con base en los resultados anteriores, las frecuencias altas en las estridulaciones reportadas por Manrique y Schilman (2000) no podrían ser detectadas por las patas. Posibles explicaciones para esta discrepancia podrían ser: grabaciones obtenidas únicamente del órgano distal de la tibia (Autrum y Schneider 1948) o la posibilidad de la presencia de grupos con neuronas sintonizadas a diferentes frecuencias como sucede en *Nezara* y *Drosophila*.

Como ya vimos anteriormente en *Drosophila*, el OJ podría detectar el movimiento de las partículas de aire en campo cercano. Tomando como base estos resultados las propuestas de otros autores sugiriendo mecanorreceptores ubicados en la antena como los tricobotrios y el OJ (Wigglesworth y Gillet 1934; Schofield 1977; Catalá 1997) como posibles receptores de las señales estridulatorias producidas por los triatomíneos gana sentido. La validez de esta hipótesis está siendo actualmente probada en nuestro grupo por medio de experimentos electrofisiológicos y comportamentales en *Rhodnius prolixus*.

Métodos para el registro de vibraciones

Insectos y arañas tienen sistemas sensoriales en su cutícula que les permiten monitorear las vibraciones que los rodean (Cocroft y Rodríguez 2005). Escapar de predadores, encontrar pareja o presas son algunas de las ventajas de detectarlas (Cokl y Virant-Doberlet 2003). Sin embargo, los humanos, con nuestra poca sensibilidad a estímulos mecánicos tenemos que valernos de la tecnología para monitorear las vibraciones (Cocroft y Rodríguez 2005). A continuación se resumen diferentes técnicas que han permitido en los últimos años el avance en el estudio de señales de vibración, principalmente en su registro y análisis.

Primeras técnicas de registro

Las primeras investigaciones que se dieron en vibraciones de insectos utilizaron dispositivos como estetoscopios, micrófonos y parlantes utilizados como micrófonos. Sin embargo, este tipo de dispositivos no detectan todos los sonidos y tienen baja sensibilidad específicamente a frecuencias bajas (Gogala 2005).

Transductor Magneto-inductivo

Este sistema consiste en un pequeño imán (*ca.* 0,1 g) adherido a un tallo de una planta con insectos sobre ella. Una bobina, que necesariamente debe estar fija y aislada, se coloca lo más cerca posible al imán sin que ambos entren en contacto. Los movimientos del imán producto de las vibraciones son registradas por la bobina que es entonces conectada a la entrada de un sistema de grabación para digitalizar la señal (Gogala 2005). Este tipo de sistema tiene además la ventaja de poder ser utilizado para realizar experimentos de *playback*. Una mala fijación de la bobina podría afectar los registros que se obtengan.

Cartucho fonográfico

El cartucho fonográfico es un método simple, sensible y de bajo costo, que puede ser utilizado en campo. Con la aguja del cartucho en contacto directo con la superficie, los tenues movimientos de la superficie son transducidos y pueden ser amplificados para su posterior análisis. Este método ha sido utilizado en estudios de insectos que emiten señales sobre plantas (Claridge 1985; Machado *et al.* 2001), y puede ser utilizado para realizar *playbacks*. La principal desventaja, es su poca reproducibilidad en el registro de la amplitud del movimiento de la superficie; debido a que este parámetro de medición es dependiente de la presión inicial con la que la aguja del cartucho esté tocando la superficie a registrar (Cocroft y Rodríguez 2005).

Acelerómetro

Utiliza un material piezoeléctrico que, al estar en contacto, mide la aceleración de movimiento de una superficie. La masa impuesta sobre la superficie a registrar al instalar el acelerómetro y su respectivo cable, puede cambiar las propiedades de transmisión de vibraciones del sustrato (por ejemplo de un tallo) y su patrón de vibración (Drosopoulos y Claridge 2005). A pesar de existir acelerómetros que pesan tan solo el 5% de la masa de la estructura a la cual van a estar sujetos (Cocroft y Rodríguez 2005), su principal desventaja es que no son lo suficientemente sensibles para detectar señales vibratorias con frecuencias bajas (Drosopoulos y Claridge 2005).

Vibrómetro Láser

Mide la velocidad o la aceleración producto del movimiento de una superficie a través de los cambios en la frecuencia de un láser reflejado (efecto Doppler). Los registros con vibrometría láser son altamente confiables debido a que no está en contacto directo con la superficie. Además, la técnica permite medir vibraciones en puntos específicos como pelos de artrópodos o antenas. Existen vibrómetros láser que son portátiles, lo que los hace aún más deseables para registros en

el campo. Es el mejor método de registro pero el más costoso, con un rango de medición entre 0 y 22 KHz (Cocroft y Rodríguez 2005; Drosopoulos y Claridge 2005).

Esta revisión busca capturar la atención e introducir a la comunidad entomológica nacional en el estudio de la producción y detección de vibraciones como un canal de comunicación poco explorado en muchas especies de insectos. El uso de modernas y nuevas tecnologías ha permitido avances importantes en este campo y ha abierto, a nivel entomológico, un área de estudio con gran potencial para avanzar en el conocimiento del comportamiento de insectos de importancia agrícola, médica, veterinaria e industrial.

Literatura citada

- AUTRUM, H.; SCHNEIDER, W. 1948. Vergleichende Untersuchungen bei den Erschütterungssinn der Insekten. Zeitschrift in Vergleich Physiologie. 31: 77-88.
- CAI, W.; CHOU Y.; LU J. 1994. The morphology, postembryonic development and evolution of stridulitra in Reduviidae with special reference to their taxonomic importance (Heteroptera: Reduvioidea). Entomologia Sinica 1 (1): 1-16.
- CATALÁ, S. 1997. Antennal sensilla of Triatominae (Hemiptera, Reduviidae): A comparative study of five genera. International Journal of Insect Morphology and Embryology 26: 67-73.
- CLARIDGE, M. F. 1985. Acoustic behavior of leafhoppers and planthoppers: Species problems and speciation. En: The leafhoppers and planthoppers. Wiley, New York. 103-125 p.
- CLARIDGE, M. F. 2005. Insect sounds and communication - An introduction. En Insect sounds and communication: Physiology, behaviour, ecology and evolution. Editado por Drosopoulos A.; Claridge M.F. Taylor & Francis.
- COCROFT, R. B.; RODRÍGUEZ, R. L. 2005. The Behavioral Ecology of Insect Vibrational Communication. BioScience 55 (4): 323-334.
- COKL, A.; VIRANT-DOBERLET, M.; MCDOWELL, A. 1999. Vibrational directionality in the southern green stink bug, *Nezara viridula* (L.), is mediated by female song. Animal Behaviour 58: 1277-1283.
- COKL, A.; VIRANT-DOBERLET, M.; STRITIH, N. 2000. The structure and function of songs emitted by southern green stink bugs from Brazil, Florida, Italy and Slovenia. Physiological Entomology 25: 196-205.
- COKL, A.; VIRANT-DOBERLET, M. 2003. Communication with substrate-borne signals in small plant-dwelling insects. Annual Review of Entomology 48: 29-50.
- COKL, A.; VIRANT-DOBERLET, M.; ZOROVIC, M. 2005. Sense organs involved in the vibratory communication of bugs. En Insect sounds and communication: Physiology, behaviour, ecology and evolution. Editado por Drosopoulos A.; Claridge M.F. Taylor & Francis.
- DRELLER, C.; KIRCHNER, W. H. 1993. Hearing in honeybees: localization of the auditory sense organ. Journal of Comparative Physiology A. 173: 275-279.
- EBERL, D. F. 1999. Feeling the vibes: Chordotonal mechanisms in insect hearing. Current Opinion in Neurobiology 9: 389-393.
- FIELD, L. H.; MATHESON, T. 1998. Chordotonal Organs of Insects. Advances in Insect Physiology 27: 1-128.

- GOGALA, M. 2005. Vibratory signals produced by Heteroptera- Pentatomorpha and Cimicomorpha. En *Insect sounds and communication: Physiology, behaviour, ecology and evolution*. Editado por Drosopoulos A.; Claridge M.F. Taylor & Francis.
- GREENFIELD, M. D. 2002. Sound and vibration and the mechanical channel. En *Signalers and Receivers: Mechanisms and Evolution of Arthropod Communication*. New York: Oxford University Press.
- JERAM, S.; COKL, A. 1996. Mechanoreceptors in insects: Johnston's organ in *Nezara viridula* (L.) (Pentatomidae, Heteroptera). *European Journal of Physiology*. 431[Suppl]: R281-R282.
- KAMIKOUCHI, A.; SHIMADA, T.; ITO, K. 2006. Comprehensive classification of the auditory sensory projections in the brain of the fruit fly *Drosophila melanogaster*. *The Journal of Comparative Neurology* 499: 317-356.
- KAMIKOUCHI, A.; INAGAKI, H. K.; EFFERTZ, T.; HENDRICH, O.; FIALA, A.; GÖPFERT, M. C.; ITO K. 2009. The neural basis of *Drosophila* gravity-sensing and hearing. *Nature* 458: 165-172.
- LENT, H.; WYGODZINSKY, P. 1979. Revision of the Triatominae (Hemiptera, Reduviidae), and their significance as vectors of Chagas' disease. *Bulletin of the American Museum of Natural History* 163 (3): 123-520.
- MACHADO, F. L.; PECK, D. C.; LERMA, J. M. 2001. Importancia de la comunicación vibracional en el comportamiento reproductivo del salivazo de los pastos (Homoptera: Cercopidae). *Revista Colombiana de Entomología* 27 (1-2): 9-15.
- MANRIQUE, G.; SCHILMAN P. E. 2000. Two different vibratory signals in *Rhodnius prolixus*. *Acta Tropica* 77: 271-278.
- MATSUO, E.; KAMIKOUCHI, A. 2013. Neuronal encoding of sound, gravity, and wind in the fruit fly. *Journal of Comparative Physiology A*. 199: 253-262.
- NADROWSKI, B.; EFFERTZ, T.; SENTHILAN, P. R.; GÖPFERT, M. C. 2011. Antennal hearing in insects- New findings, new questions. *Hearing Research* 273: 7-13.
- NAHIRNEY, P.C.; FORBES, J. G.; MORRIS, H. D.; CHOCK, S. C.; WANG, K. 2006. What the buzz was all about: Superfast song muscles rattle the tymbals of male periodical cicadas. *The FASEB Journal* 20: 2017-2026.
- SCHOFIELD, C. J. 1977. Sound production in some triatomine bugs. *Physiological Entomology* 2: 43-52.
- TAUBER, E.; EBERL, D. F. 2003. Acoustic communication in *Drosophila*. *Behavioural Processes* 64: 197-210.
- VIRANT-DOBERLET, M.; COKL, A. 2004. Vibrational Communication in Insects. *Neotropical Entomology* 33 (2): 121-134.
- WIGGLESWORTH, V. B.; GILLET, J. D. 1934. The function of the antennae in *Rhodnius prolixus* (Hemiptera) and the mechanism of orientation to the host. *Journal Experimental Biology* 11: 120-139.
- YACK, J. E. 2004. The structure and function of auditory chordotonal organs in insects. *Microscopy Research and Technique* 63: 315-337.
- YAGER, D. D. 1999. Structure, development, and evolution of insect auditory systems. *Microscopy Research and Technique* 47: 380-400.
- YOROZU, S.; WONG, A.; FISCHER, B. J.; DANKERT, H.; KERNAN, M. J.; KAMIKOUCHI, A.; ITO, K.; ANDERSON, D. J. 2009. Distinct sensory representations of wind and near-field sound in the *Drosophila* brain. *Nature* 458: 201-206.

Simposio 2.

Control de plagas en café: presente y futuro

Coordinador: Carmenza E. Góngora, Ph. D.
Cenicafé, Chinchina

Participantes:

Carmenza E. Góngora, Ph. D.

Pablo Benavides, Ph. D.

Zulma N. Gil, Ph. D.

Luis Miguel Constantino, M. Sc.

Nuevos hallazgos en el control biológico de la broca del café

Carmenza E. Góngora¹

¹ Microbióloga. Ph.D. Investigador científico III. Disciplina de Entomología. Cenicafé. FEDERACAFE. Carmenza.gongora@cafedecolombia.com

El control biológico se define como el uso de poblaciones de organismos vivos para controlar insectos plagas de tal forma que pueden suprimir las plagas haciéndolas menos abundante y menos dañinas de lo que podría ser en ausencia del controlador. Los controladores biológicos son organismos vivos o productos producidos por estos que se utilizan para prevenir o reducir las pérdidas o daños causados por los insectos plaga.

En la estrategia de manejo integrado de insectos, el control biológico con el uso de hongos entomopatógenos es una herramienta muy importante para el control de diferentes plagas.

La broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae) originaria de África ecuatorial fue reportada por primera vez en Colombia en el año de 1988 y se considera la principal plaga de la caficultura colombiana (Benavides *et al.* 2012).

***Beauveria bassiana*:** Es la especie de entomopatógeno comercialmente más utilizada alrededor del mundo, contra un gran número de insectos plaga. 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.

En el caso del ecosistema cafetero colombiano, el uso del hongo es una alternativa amigable desde el punto de vista ambiental para el control de la broca del café, sobre todo considerando el efecto de los insecticidas en este ecosistema, en donde el caficultor vive en su finca. Actualmente el control natural que ejerce el hongo en la zona cafetera es de aproximadamente un 10%. Por lo tanto si el hongo no estuviera ejerciendo este efecto sobre las poblaciones de la plaga las pérdidas ocasionadas en la caficultura colombiana serían mucho mayores (Góngora *et al.* 2008).

Las aplicaciones de este hongo en campo para el control de brocas sobre frutos en ramas han demostrando que se puede inducir la infección por *B. bassiana* y que los porcentajes de infección aumentan a medida que se eleva el número de aplicaciones (Bustillo *et al.* 1991). En todas las evaluaciones que se han realizado, bajo condiciones de campo y con formulaciones de *B. bassiana*, se ha establecido el hongo sobre la broca, pero se ha comprobado que sólo es eficaz cuando las esporas entran en contacto con la broca, al tratar de penetrar en la cereza del café. Si el insecto ya penetró al fruto, es difícil que el hongo lo pueda infectar (Bustillo 2002).

En general, cepas de *B. bassiana* altamente virulentas, y de alta calidad microbiológica, causan altas mortalidades sobre el insecto cuando se aplican 2×10^7 esporas del hongo/rama de

árbol con frutos. Las aspersiones se deben realizar en el momento en que los adultos de la broca se encuentren volando, cuando exista el riesgo de que estas brocas vayan a afectar la cosecha en formación, en aquellos momentos en los cuales el porcentaje de infestación supere el 2% y la proporción de broca perforando frutos (posiciones A + B) sea mayor al 50% (Góngora *et al.* 2009).

Además, estudios sobre la dispersión de la broca han demostrado que los frutos de café infestados que caen al suelo como consecuencia del ataque del insecto o de las actividades agronómicas del cultivo, se convierten en reservorio de poblaciones y son el principal foco de dispersión del insecto. Esto sumado al conocimiento de que existe una relación entre la dinámica de infestación del insecto y la altitud. Un solo fruto brocado caído en el suelo de un cafetal ubicado a 1.218 metros de altitud puede infestar en un árbol en producción hasta 150 frutos en un periodo de La Niña, 590 frutos en un periodo normal y hasta 959 frutos en un periodo de El Niño. En cuanto al porcentaje de infestación un solo fruto en el suelo incrementa el porcentaje de infestación en el árbol de 4,6% hasta 41% en un ciclo productivo durante un periodo normal y entre el 8,3% hasta el 60,6% durante un periodo de El Niño, entre los rangos altitudinales de 1.280 y 1.700 (Constantino 2010). Con esto se evidencia la importancia de los métodos que controlen las poblaciones de *H. hampei* en frutos caídos al suelo. Por lo tanto, las aspersiones con el hongo deberán dirigirse a las ramas productivas y al plato del árbol sobre los frutos caídos, asegurando un buen cubrimiento de ambos (Góngora 2011).

Cenicafé posee actualmente un cepario de *B. bassiana* compuesto por 168 aislamientos, obtenidos a partir de broca y otros insectos, provenientes de Colombia y otros países. Estas cepas se vienen evaluando desde hace 15 años por sus características de virulencia contra la broca y su diversidad genética (Góngora *et al.* 2009). Los resultados obtenidos en Cenicafe han demostrado que no todas las cepas de *B. bassiana* son iguales y controlan la broca del café en la misma proporción. En la colección del cepario de Cenicafe, existen cepas que son más virulentas que otras, por tanto, empleando la misma cantidad de esporas, algunas cepas causan mayor mortalidad sobre brocas (Cruz *et al.* 2006).

La aplicación de formulaciones basadas en hongos entomopatógenos como agentes biocontroladores usualmente se ha caracterizado por la aplicación de un solo aislamiento. Sin embargo, se ha propuesto que más de un aislamiento, puede ser requerido para iniciar y mantener una infección del insecto en una población de insectos heterogénea bajo condiciones de campo.

Mezclas de hongos entomopatógenos para el control de la broca

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. Este tipo de mezclas no solo incrementan el espectro de acción sino que también aseguran su acción bajo diferentes

condiciones ambientales (Góngora, 2008). 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.

Cruz *et al.* (2006) evaluaron el efecto del uso de mezclas de cepas en la virulencia de *B. bassiana* frente a la broca del café. Se caracterizaron genéticamente mediante ITS, secuencias de Beta-tubulina y AFLPs, varias cepas de este hongo, agrupando los aislamientos en 3 grupos genéticos. Las pruebas de virulencia de los aislamientos sobre la broca empleando concentraciones de 1×10^6 conidias/ml mostraron que la virulencia obtenida para cada cepa fluctuó entre 57.5% y 89.1%. Al mezclar cepas de virulencia superior al 82% y diferentes genéticamente, se obtuvieron mortalidades significativamente bajas (57%). Mientras que al mezclar cepas con virulencia inferior al 80% y diferentes genéticamente (Bb9001, Bb9119, Bb9024), se obtuvieron los mayores porcentajes de mortalidad. Se observaron efectos tanto sinérgicos como antagónicos con respecto a la virulencia, siendo promisoría esta última combinación como alternativa para evaluar en campo. Se confirmó mediante AFLPs que las cepas pueden coinfectar el insecto. El uso de mezclas se evidenció como una alternativa en vez de la utilización de una sola cepa para el control del insecto y se abrió el campo para el desarrollo futuro de formulaciones compuestas.

Posteriormente se corroboró que la mezcla de cepas de baja virulencia (Bb9001, Bb9119, Bb9024) causó una alta mortalidad (100%) sobre la broca del café en pruebas de laboratorio. En pruebas de campo se realizaron infestaciones artificiales con el insecto a ramas de árboles observándose una mortalidad de 66.6% (Cárdenas *et al.* 2007). Desde el punto de vista biológico, una mortalidad cercana al 70% sobre este insecto es un resultado importante que indica que es posible incrementar la eficacia del entomopatógeno.

Vera *et al.* (2010) evaluaron, en árboles individuales cubiertos por una jaula, el efecto de las cepas de *B. bassiana* sobre 50 frutos infestados dejados en el suelo y su impacto en la infestación de los frutos de la parte aérea de la planta, en dos estaciones experimentales (Naranjal, Caldas y Paraguaicito, Quindío) de la zona cafetera colombiana. Las cepas evaluadas fueron: Bb9205, la mezcla de cepas Cenicafé (Bb9001, Bb9024 y Bb9119) y una formulación comercial asperjadas a una concentración de 1×10^9 conidias por árbol sobre 50 frutos infestados por plato de árbol. Al cabo de 30 días todas las cepas disminuyeron los niveles de broca en los árboles; la mezcla de cepas redujo la infestación entre un 50% y un 30% para ambas localidades. En los frutos disecados de cada árbol tratado, la mortalidad de las brocas estuvo por encima del 40% comparado con un 15% de mortalidad en el control sin aplicación del hongo. Las cepas de *B. bassiana* disminuyeron entre 55 y 75% las poblaciones de insectos dentro de los nuevos frutos infestados en la parte aérea, siendo la mezcla de cepas Cenicafé la más efectiva.

En resumen: en aplicaciones de hongo *Beauveria bassiana* sobre frutos brocados caídos al suelo se ha observado que: 1- el hongo causa la muerte de los insectos que salen a volar de estos frutos del suelo y por lo tanto reduce la infestación de brocas en los frutos de las ramas de los

árboles de café hasta en un 50%, además 2. Si las brocas que salen de los frutos del suelo, no mueren por causa del hongo antes de penetrar los frutos del árbol, estas pueden morir en posición A o B o en el canal de penetración y 3. En el caso de que la broca infectadas alcance a sobrevivir hasta depositar huevos, estas brocas en el interior de los frutos depositan un número muy reducido de huevos, observándose disminución de hasta 75% en las poblaciones de insectos dentro de los nuevos frutos infestados en la parte aérea. El hongo *B. bassiana* disminuye la población de broca que emerge de frutos infestados del suelo y además reduce las futuras generaciones del insecto (Vera *et al.* 2011, Jaramillo 2012).

En cuanto al uso de *M. anisopliae*, Milner y Lutton (1976) reportan que este hongo esta mejor adaptado a condiciones del suelo que *B. bassiana*, empleándose ampliamente en el control de plagas a nivel de la rizosfera, mientras que *B. bassiana* esta mas asociada a plagas de la parte aérea de las plantas. Por lo tanto a nivel de control de poblaciones de la broca en frutos del suelo, resulta lógico pensar que *M. anisopliae* podría ser un buen controlador; debido a esto Jaramillo (2012) evaluó el efecto de *M. anisopliae* en condiciones de campo y en combinación con la mezclas de cepas de *B. bassiana* antes mencionadas, validando el efecto de estas mezclas en un cultivo comercial de café en Pereira, Risaralda, mediante un diseño en bloques al azar con 120 árboles por tratamiento; se aplicaron cuatro tratamientos incluyendo un testigo, sobre poblaciones de broca que emergieron de 4 frutos dejados en el plato de los árboles previo a la aspersión con los tratamientos. Se hicieron aplicaciones cada 20 días entre Septiembre y Diciembre de 2011. Además se evaluó el efecto de las mezclas sobre las nuevas generaciones de broca en ensayos de laboratorio. La cepa de *M. anisopliae* Ma9236 y la mezcla de cepas "Cenicafé" (Bb9001, Bb9024, Bb9119) y "Cenicafé" mas Ma9236 fueron efectivas reduciendo los niveles de infestación en los árboles entre el 18 y 47% comparado con el testigo. Con el uso de mezclas de hongos con diferentes espectros de acción bajo diferentes condiciones ambientales, es posible mantener los porcentajes de broca en lotes por debajo del 6,6%. La población de brocas encontradas en los frutos infestados cosechados, se triplicó en el testigo a lo largo del experimento, mientras que en los tratamientos con hongo, esta permaneció igual o disminuyó en un 40% como se observó en el tratamiento con la mezcla de *B. bassiana* Cenicafe y la mezcla Cenicafe junto con Ma9236. En laboratorio la mezcla Cenicafe logró nuevamente afectar la capacidad de oviposición de las brocas hasta en un 87%, indicando que las mezclas de cepas, además de incrementar la mortalidad en las poblaciones de broca y reducir la infestación en los árboles, afectan directamente nuevas generaciones.

El interés en el mercado por una caficultura orgánica y limpia y el conocimiento de los daños medioambientales que causa el uso de insecticidas químicos, abren un nuevo campo para el uso de hongos entomopatógenos usando mezclas de cepas en el control de la broca. Los conocimientos desarrollados hasta ahora pueden asegurar un control exitoso del insecto si se siguen las indicaciones de Cenicafe y debemos continuar en el proceso de búsqueda de mejores cepas y mejores alternativas para implementar el manejo integrado de la broca.

Literatura citada

- CÁRDENAS R., A. B.; VILLALBA G., D. A.; BUSTILLO P., A. E.; MONTOYA R., E. C.; GÓNGORA B., C. E. 2007. Eficacia de mezclas de cepas del hongo *Beauveria bassiana* en el control de la broca del café. Revista Cenicafe (Colombia) 58 (4):293-303.
- CONSTANTINO, L. M. 2010. La broca del café un insecto que se desarrolla de acuerdo con la temperatura y la altitud. Brocarta N° 39. Chinchiná, Colombia, 2 p.
- BENAVIDES, P.; GÓNGORA, C.; BUSTILLO, A.E. 2012. IPM program to control coffee berry borer *Hypothenemus hampei*, with emphasis on highly pathogenic mixed strains of *Beauveria bassiana*, to overcome insecticide resistance in Colombia. In: Insecticides – Advances in Integrated Pest Management. p. 511 - 540. ISBN 978-953-307-780-2. Available <http://www.intechopen.com/books/show/title/insecticides-advances-in-integrated-pest-management>
- BUSTILLO, A. E. 2002. El manejo de cafetales y su relación con el control de la broca del café en Colombia. Boletín técnico N 24. FNC - Cenicafe, Chinchiná, Colombia, 40 p.
- BUSTILLO P., A. E. 1991. Perspectivas de un Manejo Integrado de la Broca del Café *Hypothenemus hampei* en Colombia. Sociedad Colombiana de Entomología, Socolen, Medellín, Colombia. Miscelánea No.18 p. 106 – 118 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: 918-926.
- GÓNGORA, C. E.; MARÍN, P.; BENAVIDES, P. 2009. Claves para el éxito del hongo *Beauveria bassiana* como controlador biológico de la broca del café. Avance Técnico. Cenicafe. N° 381: 1-8
- GÓNGORA, C. E. 2011. Como usar el hongo *Beauveria bassiana* para proteger su cosecha de café. Brocarta N° 42. Chinchina, Colombia, 2 p.
- JARAMILLO, J. L. 2012. Validación de mezclas de *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin y *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin para el control de la broca del café en frutos infestados caídos al suelo. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de ciencias. Maestría en Ciencias - Entomología. Tesis en revisión. Medellín, 2012
- MILNER, LUTTON. 1976. *Metarhizium anisopliae*: survival of conidia of the soil, in Proceedings of the 6th International Colloquium of Invertebrate Pathology. 428-429 p.
- VÉLEZ, P. E.; BENAVIDES, G. M. 1990. Registro e identificación de *Beauveria bassiana* en *Hypothenemus hampei* en Ancuya, departamento de Nariño, Colombia. Cenicafe. Chinchiná (Colombia). 50 – 57 p.
- VERA, J. T.; MONTOYA, E. C.; BENAVIDES, P.; GÓNGORA C. E. 2011. Evaluation of *Beauveria bassiana* (Ascomycota: Hypocreales) as a control of the coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) emerging from fallen, infested coffee berries on the ground. Biocontrol Science and Technology 21 (1): 1-14.

Nuevas aproximaciones en el manejo integrado de la broca del café en Colombia

Pablo Benavides¹

¹ Ingeniero Agrónomo. Ph.D. Líder Disciplina de Entomología. Disciplina de Entomología. Centro Nacional de Investigaciones de Café. Cenicafé. FEDERACAFE. Pablo.benavides @cafedecolombia.com

En Colombia, el manejo integrado de plagas ha sido una estrategia recomendada para el control de los artrópodos de importancia económica. La definición involucra medidas de control biológico, cultural, químico, etológico, físico, legal y genético, la reducción de poblaciones de plagas que atacan un cultivo hasta el nivel que no ocasionen pérdidas económicas y la defensa del medio ambiente. Las definiciones no incluyen directamente la protección del cultivo, punto de partida de este simposio.

Control cultural

Considerando que cualquier alteración de las condiciones agronómicas de un cultivo que modifique el entorno óptimo que requiere una plaga para su desarrollo y reproducción, contribuirá a proteger un cultivo, actualmente se discuten las recomendaciones de arreglos espaciales que faciliten la cosecha de café y algunas prácticas agronómicas que cambien las condiciones microclimáticas que necesita la broca para desarrollarse y reproducirse en los frutos del suelo. Se plantean estrategias de manejo integrado en cafetales de alta densidad en diferentes arreglos espaciales, la implementación del desbajere desde el segundo año productivo como práctica agronómica que mejore la producción de café y el manejo de la broca y el uso de dispositivos de cosecha manual de café y de recolección de frutos del suelo durante el repase, como actividad de control cultural de la broca.

Control físico

En los últimos años se han adelantado investigaciones que han permitido cuantificar el movimiento de la broca del café en condiciones de campo, de tal manera que se proponen medidas para disminuir las poblaciones de la plaga desde la fuente de origen y evitar su dispersión hacia los cafetales circundantes. El zoqueo de cafetales infestados y la cosecha y el beneficio de café son las prácticas agronómicas que mas adultos de broca dispersan. Cualquier campaña masiva para el manejo regional o nacional de esta plaga deberá incluir estos hallazgos como base para su implementación. La dinámica de poblaciones de la broca son diferenciales en cafetales al sol y a la sombra, así como la dispersión de los adultos de broca en diferentes condiciones de clima y sistemas de producción. Las recomendaciones de control físico evitarían la dispersión de más del

90% de los adultos de broca que pueden infestar cafetales circundantes. El sombrío, como medida de manejo de broca, no debe ser recomendada para las condiciones medioambientales de la caficultura colombiana.

Control químico y biológico

Los avances en las investigaciones con hongos entomopatógenos para el control de la broca del café en Colombia, así como la llegada de nuevos productos biorracionales, como las que contienen diamidas antranílicas, de comprobada eficacia sobre la broca del café, permiten explorar nuevas posibilidades de manejar la plaga en una estrategia de protección del cultivo. El objetivo es realizar aspersiones tipo calendario con el fin de llegar al periodo crítico de ataque del insecto en niveles mínimos que aseguren la sanidad de la cosecha principal, en caficultura localizada exclusivamente por encima de un promedio anual de temperatura de 21°C. Aunque esta propuesta de manejo se encuentra en evaluación, existen los productos y principios básicos que soportan esta iniciativa, así como los cuidados que se requieren para hacerlo sostenible.

Control genético

El uso de herramientas genéticas en el control de plagas, tradicionalmente se ha relacionado con la obtención de nuevas variedades de plantas con resistencia natural o introducida a artrópodos. Aunque se han realizado avances significativos en este aspecto en los últimos años, existe la posibilidad de explorar nuevas estrategias. En café, para el control de la broca del café, se está proponiendo una forma novedosa de control autocida por reemplazo de poblaciones, como una medida a mediano y largo plazo, en aproximaciones regionales de control. Igualmente, se propone el mejoramiento genético de controladores naturales para incrementar su desempeño y aumentar la capacidad depredadora y parasítica sobre la broca del café.

Control etológico

El uso de feromonas en la atracción de la broca del café no tendría cabida dado el comportamiento reproductivo de esta especie, la cual posee una variabilidad genética reducida, generada por los cruces fraternales y la pérdida del set de cromosomas paterno en la descendencia. Es decir, los machos no requieren de cortejo por estar dentro de la misma almendra que las hembras de la misma descendencia, de tal manera que las hembras se aparean con sus hermanos dentro del fruto antes de salir a volar y colonizar un nuevo fruto de café. Se conoce la atracción que poseen los alcoholes sobre las hembras de broca; sin embargo, esta atracción es limitada ya que capturan no más de 10% de las hembras que vuelan en un radio no mayor de cinco metros. Se viene avanzado en el conocimiento de la interacción planta – insecto en el modelo café – broca, con el fin de identificar tanto los genes que expresan las plantas como mecanismos de

defensa, como los que expresa la broca cuando atacan plantas con resistencia natural. Igualmente, se están identificando los genes que expresa la broca cuando está buscando los frutos de café en condiciones de campo. Con esta información, sería posible desarrollar plantas de café que no expresen los volátiles que reconoce el insecto en la búsqueda del fruto, en desarrollar productos insecticidas, o generar compuestos de atracción o repelencia que puedan ser usados para modificar la distribución espacial del insecto y simplificar el control de la plaga en sitios de agregación artificial.

Otras plagas del café: importancia económica y prácticas para su manejo

Zulma Nancy Gil Palacio¹

¹Ingeniera Agrónoma. Ph. D. Investigador Científico I. Disciplina de Entomología. Centro Nacional de Investigaciones de Café. Cenicafé. FEDERACAFE. zulma.gil@cafedecolombia.com

Introducción

El cultivo del café, *Coffea arabica* Linnaeus está sujeto al ataque de artrópodos, que de conformidad con las condiciones climáticas, sistema de cultivo o desequilibrio biológico pueden causar daños considerables perjudicando el desarrollo y producción de las plantas.

Para Colombia, se destacan como plagas de este cultivo a la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae), al minador de las hojas *Leucoptera coffeellum* (Guerin-Meneville) (Lepidoptera: Lyonetiidae), las cochinillas harinosas de las raíces, en especial las especies *Puto barberi* (Cockerell) y *Pseudococcus jackbeardsley* Gimpel & Millar (Hemiptera: Pseudococcidae), la chinche de la chamusquina del café *Monalonion velezangeli* Carvalho & Costa (Hemiptera: Miridae) y la Arañita Roja *Oligonychus yothersi* McGregor (Acari: Tetranychidae). Frente a la variabilidad climática no podemos ser ajenos a la presencia de estas plagas en el cultivo del café, por lo tanto, en este trabajo se entrega información de la importancia económica de algunas de ellas, a sí mismo, sobre prácticas de manejo para controlar a tiempo las poblaciones y así evitar que causen daño económico en la producción del café.

La arañita roja del café, *Oligonychus yothersi* (McGregor) (Acari: Tetranychidae)

Las especies de ácaros fitófagos reportados en café, taxonómicamente se ubican en la familia Tetranychidae, género *Oligonychus*, pero solo tres especies están asociadas a este cultivo en diferentes partes del mundo: *O. coffeae* (Nietner) en África Occidental, *O. ilicis* (McGregor) en Brasil y *O. yothersi* (McGregor) en Colombia. La importancia de estos ácaros radica en que poseen un alto potencial reproductivo y rápido desarrollo, es decir, una alta capacidad de incremento de sus poblaciones cuando las condiciones de clima son favorables.

La Arañita Roja, es uno de los principales ácaros fitófagos del cultivo del café, habita sobre la haz de las hojas en las depresiones formadas por las nervaduras y en ataques severos, el envés de las hojas también es colonizado. En Colombia, es una plaga endémica, habitante natural de la zona cafetera colombiana, la cual existe en bajas poblaciones de manera permanente y cuando se presentan condiciones favorables para su desarrollo como periodos prolongados de sequía y altas temperaturas, puede convertirse en una plaga que afecta la producción (Benavides 1972). Sin embargo, durante las épocas lluviosas de los años 2008, 2009 y 2010, Giraldo *et al.* (2011) registraron ataques severos de este artrópodo en las localidades de Roncesvalles y Rovira (Tolima)

y en Neira (Caldas), en esta última localidad el promedio mensual de precipitaciones superó el histórico (Cenicafé, 2008). Esto indica que el problema ya no se restringe a temporadas de sequía, y que el comportamiento de la plaga varía en años de extremos climáticos. Durante el año 2012 fue reportado un aumento de las poblaciones de este ácaro, especialmente en la Zona Central Cafetera Colombiana, atribuido a un periodo prolongado de sequía, altas temperaturas y emisión de cenizas volcánicas. La ceniza que cae sobre las hojas se deposita sobre la tela que teje el ácaro y le sirve de barrera defensiva contra el ataque de enemigos naturales, también lo favorece de condiciones climáticas desfavorables. Este es el primer reporte para Colombia del efecto de la ceniza sobre las poblaciones de artrópodos.

Daños ocasionados en el cultivo del café. El daño lo ocasiona el ácaro cuando se alimenta con el aparato bucal tipo raspador-chupador, rompiendo células epidermales, lo cual causa una coloración parda o bronceada sobre el follaje y en altas poblaciones causan defoliación (Bustillo 2008). Moraes Y Flechtmann (2008) explican que el rompimiento de las células, la remoción de la clorofila y la saliva inyectada por los ácaros lleva al mal funcionamiento de la hoja, como aumento en la tasa de transpiración, que resulta en la marchitez de las hojas y en la reducción de la actividad fotosintética hasta en un 30% o más dependiendo del nivel de daño. Las infestaciones iniciales se presentan en lotes de café cercanos a carreteras o caminos destapados, en donde el polvo se deposita sobre el follaje (Bustillo 2008). La presencia de polvo sobre el follaje sirve de protección a las colonias de arañitas contra la acción de los enemigos naturales; es un agente que interfiere con la búsqueda, oviposición y alimentación de los controladores biológicos haciendo que disminuya la eficacia de ellos (López 1998).

Manejo de las poblaciones de Arañita Roja. Un mal manejo inicial de la problemática agudiza la situación, ya que el uso de fungicidas cúpricos e insecticidas pertenecientes a los piretroides y organofosforados causan aumento de las poblaciones de la plaga por el detrimento de los enemigos naturales (Reis & Souza, 1986, Reis & Teodoro, 2000); también, estos insecticidas inducen el incremento en el número de huevos por hembra, este fenómeno es conocido como hormoligosis (Reis *et al.* 1974; D'Antonio *et al.* 1981; Reis *et al.* 1997). El momento oportuno para manejar esta plaga, es a partir de la aparición de los primeros “focos” dentro del lote. De esta manera, se puede ejercer control localizado únicamente en las áreas afectadas, a menor costo, y así se evitaría la dispersión de la plaga dentro del cafetal y hacia áreas vecinas. Se recomienda no esperar a que caigan las lluvias porque la población de este ácaro crece de forma exponencial llegando a causar daño económico. Realice la aplicación de un acaricida, se recomienda comenzar con uno que tenga efecto ovicida, si a los 15-20 días después de la primera aplicación existen estados vivos en la planta aplique nuevamente, pero usando otro acaricida con diferente modo de acción, porque la aspersión generalizada y continuada del mismo ingrediente activo crea resistencia en el ácaro. Cuando comience la cosecha, no inicie las recolecciones de café por los lotes más afectados, dado que llevará la plaga a los lotes sanos.

La chinche de la chamusquina del café, *Monalonion velezangeli*

Monalonion velezangeli Carvalho & Costa, 1988 (Hemiptera: Miridae) es una plaga polífaga, comúnmente conocido como “La chinche de la chamusquina del café”, pertenece al orden Hemiptera, familia Miridae (Ramírez *et al.* 2008). Se encontró por primera vez en café en el año de 1998, en los municipios de La Plata, La Argentina, Paicol y Pital (Huila) y desde entonces su presencia se ha ido expandiendo a las regiones cafeteras de los departamentos de Cauca, Nariño y Valle del Cauca, en cafetales localizados en altitudes superiores a 1.500 m, zonas con baja luminosidad (inferior a 1.400 horas/año) un promedio de temperatura inferior a 20 °C y humedad relativa superior a 80%.

Daños en café. Las ninfas y adultos de *M. velezangeli* presentan aparato bucal tipo picador-chupador y se alimentan succionando los contenidos celulares de las hojas, tallos, flores y frutos de las plantas donde habitan. En el cultivo del café los daños causados por *M. velezangeli* son característicos; las ninfas y adultos atacan los brotes nuevos succionando la savia que les sirve de alimento, en este proceso inyectan toxinas que necrosan los tejidos dando la formación de pústulas, en las hojas dañadas se producen perforaciones con 2 a 4 mm de diámetro. El disturbio induce a la planta a una producción continua de follaje, pero con escasa formación de fruto; como consecuencia del ataque, la planta de café toma una apariencia de achaparramiento con reducción de las floraciones y por ende de su producción.

Manejo de las poblaciones. Un control inadecuado agudiza la situación, ya que el uso generalizado de insecticidas pertenecientes a los piretroides y organofosforados causa aumento de las poblaciones porque matan los controladores biológicos. Por lo tanto, el plan de manejo para la chinche de la chamusquina del café debe seguir los siguientes pasos:

i) Revisar la finca periódicamente para detectar oportunamente la presencia de *M. velezangeli*; ii) ubicar los daños frescos en los brotes nuevos de la planta; iii) en las primeras horas de la mañana y en las últimas de la tarde, realice una búsqueda de ninfas y adultos de la chinche, revisando las hojas tanto por la haz como por el envés. 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; iv) realice una recolección manual de las ninfas y adultos siempre y cuando el área sea pequeña y el ataque de la plaga se encuentre agregado (por focos); v) mantenga la vegetación nativa (aguacate, cacao y guayaba) en los lotes, como fuente primaria de alimentación de la chinche de la chamusquina del café; vi) realice Manejo Integrado de arvenses para mantener la fauna benéfica en el lote (parasitoides y depredadores), ya que estas plantas les suministran refugio y posibles fuentes de alimento alternativo; y vii) el control químico se recomienda para proteger una floración o la fase de crecimiento vegetativo de la planta.

De decidir aspersiones con productos químicos es necesario seleccionar insecticidas de contacto y de categoría toxicológica III y IV (II y III de la nueva norma Andina). Los ataques iniciales de *M. velezangeli* es de forma agregada, por tal razón se recomienda asperjar exclusivamente los focos afectados de manera localizada sobre los primeros árboles con daños. Las aspersiones deben de ser realizadas en las primeras horas de la mañana y en las últimas de la tarde, tiempo en que el insecto está en mayor actividad. Así mismo, deben seguirse las recomendaciones del manejo seguro de plaguicidas y los principios sobre la tecnología y la calibración de equipos de aspersión y operarios.

El minador de las hojas del café, *Leucoptera coffeellum*

El minador de las hojas del cafeto *Leucoptera coffeellum* (Guerin-Meneville) es un microlepidóptero de la familia Lyonetiidae distribuido en toda la región Neotropical donde se cultiva café. En Colombia, se encuentra distribuido en las tres cordilleras del país en cafetales situados por debajo de los 1.300 msnm en zonas bajas en condiciones de humedad relativa entre 75 y 85% y temperaturas entre 22 y 25 °C afectando plantaciones de café de todas las edades, a plena exposición solar y aquellos con sombrero regulado (Cárdenas y Benavides 1974; Cárdenas 1991; Bustillo 2008). Sin embargo, durante los últimos años se han venido presentando brotes de esta plaga en localidades a 1500 y 1700 m de altitud en algunos municipios de Caldas, Cauca, Tolima y Valle, lo que hace suponer que las poblaciones de minador en el país se han venido desplazando por encima del rango térmico promedio altitudinal de distribución reportado para esta especie en la literatura (Constantino *et al.* 2011).

Daños en café. El daño lo ocasiona la larva cuando se alimenta de la hoja. Una sola larva puede consumir entre 1,0 y 2,0 cm² de área foliar durante su desarrollo y causar el necrosamiento de más del 80% de las hojas cuando varias minas se juntan (Cárdenas, 1991). Las altas incidencias de minador pueden ocasionar la defoliación de las hojas afectadas, la cual está directamente relacionada con la intensidad del ataque y el periodo en el que este ocurre. De acuerdo con Souza *et al.* (1998) las altas defoliaciones pueden afectar la formación de botones florales y consecuentemente afectar la producción de frutos. Paliz & Mendoza (1993) indican que cuando los ataques de minador coinciden con las épocas de floración se presentan pérdidas de rendimiento en la producción de frutos que pueden superar el 50%; sin embargo, se ha notado que las plantaciones con buena fertilización son menos propensas a la defoliación.

Manejo de las poblaciones. En Colombia no se justifica el uso de insecticidas químicos para el control del minador de café, debido a que en la mayoría de los casos las poblaciones de esta plaga son controladas por los enemigos naturales nativos, más de 20 especies de parasitoides y depredadores registradas. Se recomienda, antes que comience la época seca de verano, especialmente cuando se anuncia la llegada de un evento El Niño, limpiar únicamente los platos de

los árboles de los cafetales en crecimiento vegetativo (menores de dos años), y dejar las calles con arvenses de hoja ancha que florezcan. Estas arvenses atraerán y mantendrán las poblaciones necesarias de avispas enemigas naturales del minador, de tal manera que la plaga estará bajo control.

Las cochinillas harinosas de las raíces

Las cochinillas harinosas de las raíces del café son consideradas una plaga endémica; es decir, son habitantes naturales que siempre han estado en poblaciones constantes alimentándose de varias especies de plantas; sin embargo, cuando son dispersadas y se presentan condiciones favorables de clima en el suelo, puede convertirse en plagas del café, las cuales afectan la producción. Se localizan en las raíces de los árboles de café, tanto en almácigos como en plantaciones establecidas. Estudios realizados en Colombia, por Villegas *et al.* (2008) permitieron identificar las especies de cochinillas harinosas mas limitantes para la producción de café en el país así: *Puto barberi* (Cockerell) que es la que predomina y *Pseudococcus jackbeardsley* Gimpel & Millar, ha tomado importancia ya que es una cochinilla que se enquista en las raíces y en el cuello del árbol.

Daños en café. Al alimentarse de la savia de las plantas ocasionan necrosamiento y pérdida del sistema de raíces. Igualmente las lesiones pueden permitir la entrada de hongos fitopatógenos habitantes naturales del suelo, como es el caso de *Ceratocystis fimbriata*. Los síntomas a nivel foliar, tanto en plantas de almácigo como en plantaciones establecidas, se identifican por el amarillamiento, acompañado por necrosamiento y pérdida de hojas, estos síntomas se pueden confundir con daños ocasionados por llagas radicales, llaga macana, nematodos, deficiencias nutricionales o deformación en el sistema de raíces (Villegas *et al.* 2008; Villegas *et al.* 2009).

Manejo de las poblaciones. Se consideran algunas prácticas de manejo que contribuyen a disminuir el efecto de las palomillas en los cafetales, estas son:

i) Tener almácigos sanos, ii) proceder con muestreos mensuales, iii) si se lleva suelo de regiones desconocidas o con conocimiento previo de estar infestado, solarizar el suelo por al menos 15 días, iv) llevar plántulas sanas a los sitios definitivos, v) revisar el material vegetal antes de llevarlo al sitio definitivo, si encuentra cochinillas harinosas, descarte el material y consiga plantas sanas con un adecuado desarrollo radical y si el sitio definitivo tiene historial de cochinillas harinosas de las raíces, proceda con la siembra de plantas indicadoras para asperjar insecticidas una vez encuentre presencia de la plaga en las raíces.

Literatura citada

- BENAVIDES, G., M. 1972. La arañita roja del cafeto. Avances Técnicos Cenicafé. No. 22. Chinchiná, Colombia. 4 p.
- BUSTILLO, A. E. 2008. La arañita roja del café, *Oligonychus yothersi* (McGregor) (Acari: Tetranychidae). pp: 330-331. En: A. Bustillo (Ed.). Los insectos y su manejo en la caficultura colombiana. Chinchiná (Colombia), Cenicafé. Blanecolor Ltda, Manizales. 466 p.
- CÁRDENAS, R.; BENAVIDES G., M. 1974. El minador de las hojas del cafeto (*Leucoptera coffeella*) Avances técnicos Cenicafé, No. 35. Chinchiná, Colombia. 4 p.
- 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. Cenicafé. 31 p.
- Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Anuario Meteorológico Cafetero. Chinchiná, Cenicafé, 2008. [DC-ROM].
- CONSTANTINO, L. M.; FLOREZ, J. C.; BENAVIDES, M, P.; BACCA, T. 2011. Minador de las hojas del cafeto. Una plaga potencial por efectos del cambio climático. Cenicafé. Avances Técnicos No. 409. 12 p.
- D'ANTONIO, A. M.; PAULA, V. DE; GUERRA NETO, E. G. 1981. Estudo do comportamento de diversos inseticidas piretróides sobre a população de ácaro vermelho do cafeeiro, *Oligonychus* (O.) *ilicis* (McGregor, 1919) e sobre bicho mineiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 9., 1981, São Lourenço. Resumos. Rio de Janeiro: IBC-GERCA, 250-253 p.
- GIRALDO, M.; GALINDO, L. A.; BENAVIDES. M, P. 2011. La arañita roja del café. Biología y hábitos. Avances técnicos Cenicafé. No. 403. Chinchiná, Colombia. 8 p.
- LÓPEZ, E. 1991. El problema de los ácaros (arañitas) en los años secos en hortalizas y frutales. Empresa y avance agrícola (Chile) 1 (4): 6-8.
- MORAES, G.; FLECHTMANN, C.H.W.. 2008. Manual de acarología. Acarología básica e ácaros de plantas cultivadas no Brasil. Holos Editora. 125 p.
- PALIZ, V.; MENDOZA, J. 1993. PLAGAS DEL CAFETO. En: Sotomayor, H. I (Ed.) Manual del Cultivo del Café, Estación Experimental Pichilingue, Quevedo, Ecuador 144-166 p.
- RAMÍREZ CORTES, H. J.; BUSTILLO PARDEY, A.E.; GIL P., Z.N.; BENAVIDES M., P. 2008. La chinche de la chamusquina del café *Monalonion velezangeli*, una nueva plaga del café en Colombia. p. 374-380. En: BUSTILLO P., A. E. Los insectos y su manejo en la caficultura colombiana. Chinchiná: CENICAFÉ, 2008. 466 p.
- REIS, P. R.; SILVA, C. M. DA.; CARVALHO, J. G. DE. 1974. Funguicida cúprico atuando como fator de aumento da população do ácaro *Oligonychus* (O.) *ilicis* (McGregor, 1919) (Acari: Tetranychidae) em cafeeiro. Fitopatología, Lima 9(2): 67.
- REIS, P. R.; SOUZA, J.C. 1986. Pragas do cafeeiro. IN: RENA, A.B.; ALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Eds.): Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: POTAFÓS. 323-378 p.
- REIS, P.R.; ALVES, E. B.; SOUSA, E. O. 1997. Biologia do ácaro-vermelho do cafeeiro *Oligonychus ilicis* (McGregor, 1917). Ciência e Agrotecnologia 21 (3): 260-266.

- REIS, P. R.; TEODORO, A. V. 2000. Efeito do oxicleto de cobre sobre a reprodução do ácaro-vermelho do cafeeiro, *Oligonychus ilicis* (McGregor, 1917). *Ciência e Agrotecnologia* 24 (2) 347-352 p.
- SOUZA J. C DE; REIS P. R; RIGITANO, R. L DE O. 1998. Bicho-mineiro do cafeeiro: biologia, danos e manejo integrado. 2. ed. rev. e aum. Belo Horizonte: EPAMIG, 1998. 48 p. (EPAMIG. Boletim Técnico, 54).
- VILLEGAS GARCÍA, C; BUSTILLO P., A. E.; ZABALA, E., G; BENAVIDES, M. P.; RAMOS, P, A. A. 2008. Cochinillas harinosas en cafetales colombianos. Capítulo 24, p. 342 – 354. En: Bustillo P., A. E. (Ed.) En: Los insectos y su manejo en la caficultura colombiana. FNC – Cenicafé, Chinchiná (Colombia). Editorial Blanecolor Ltda, Manizales. 466 p.
- VILLEGAS G., C.; BENAVIDES, M., P.; ZABALA, E., G.; RAMOS P., A. A. 2009. Cochinillas harinosas asociadas a las raíces del café: descripción y biología. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 386: 1-8.

Plagas potenciales y sus implicaciones en el cultivo del café en Colombia

Luis Miguel Constantino¹

¹Entomólogo. M.Sc. Investigador científico I. Disciplina de Entomología. Centro Nacional de Investigaciones de Café. Cenicafé. FEDERACAFE. luismiguel.constantino@cafedecolombia.com

Resumen. Se presenta información acerca de algunas plagas potenciales del cultivo de café en Colombia que durante los últimos años presentaron brotes en algunas regiones cafeteras del país como el caso de la cochinilla harinosa de las ramas de café *Planococcus citri*, el perforador de las ramas del cafeto *Xylosandrus morigerus*, el gusano trozador y descortezador del tallo de café *Spodoptera frugiperda* y las termitas *Comatermes perfectus*. Igualmente se reportan por primera vez nuevos registros de hospedero en café en Colombia del gusano gelatina *Paracranga argentea*, el enrollador de las hojas del cafeto *Clepsis abscisana*, el gusano bellotero *Helicoverpa virescens*, y el barrenador del tallo y la raíz del café *Plagiohammus colombiensis* con lo cual se eleva a 134 especies el numero de artrópodos fitófagos asociados al cultivo de café en el país.

Palabras clave: plagas potenciales, nuevos registros, *Coffea arabica*, Colombia.

Introducción

El cultivo de café *Coffea arabica* en Colombia abarca un área sembrada de 931.100 hectáreas distribuidas en 20 departamentos de la región andina del país en un rango altitudinal entre 1000 a 2000 msnm. Este rango altitudinal amplio y extenso distribuido en ambas vertientes de las tres cordilleras del país y la Sierra Nevada de Santa Marta incluye una gran diversidad de ecotopos cafeteros y regiones biogeográficas con diferentes tipos de suelo, clima, biodiversidad de fauna y flora adaptadas a condiciones agroecológicas muy particulares. Producto de esto se tienen reportadas en la actualidad 134 especies de artrópodos fitófagos nativos que se alimentan de los diferentes órganos de la planta de café y que se encuentran en equilibrio en el agroecosistema cafetero, algunos con distribución local, otros con distribución amplia en todo el país. Esta adaptación no solo incluye a los artrópodos fitófagos que se alimentan del cultivo de café sino a sus enemigos naturales que han coevolucionado y han permitido mantener en equilibrio dinámico permanente y estable las redes tróficas de las poblaciones de estos artrópodos sin causar daños económicos.

Sin embargo cuando se presentan condiciones exógenas como consecuencia de la aplicación indiscriminada de insecticidas de amplio espectro de acción para el control de alguna plaga, o por efectos del cambio en las condiciones climáticas, ocasionan el resurgimiento y el

incremento de algunas poblaciones de insectos plaga secundarias que pueden ocasionar daños económicos en el cultivo.

El cultivo de café antes de la llegada de la broca *Hypothenemus hampei* al país en el año 1988 siempre estuvo libre de problemas de insectos con muy poca o ninguna aplicación de insecticidas (Bustillo 2008). Esta plaga exótica originaria de África e introducida en América en ausencia de sus enemigos naturales logró adaptarse y establecerse rápidamente en todos los países productores de café. Esto marcó un rumbo importante en la caficultura colombiana, lo que conllevó a Cenicafe a desarrollar y adoptar una estrategia de manejo integrado para mantener las poblaciones por debajo del umbral de daño económico (Bustillo *et al.* 1998). Hoy en día para el resto de insectos fitófago se cuenta con una red de monitoreo a nivel nacional con apoyo del servicio de extensión y la red agro climatológica de Cenicafe que cuenta con estaciones meteorológicas ubicadas en diferentes regiones cafeteras del país que permiten generar alertas tempranas para tomar decisiones de manejo y control oportunas cuando las poblaciones de insectos se incrementan como consecuencia de la variabilidad climática asociada a los eventos El Niño y la Niña, los cuales inciden directamente en cambios de la dinámica poblacional de muchos insectos, incluso en áreas donde nunca antes habían existido. A continuación se presenta un resumen con información sobre algunas plagas potenciales del cultivo de café en Colombia que en los últimos cinco años fueron atendidas por la disciplina de Entomología de Cenicafe a partir de consultas realizadas por parte de los caficultores y el servicio de extensión de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia.

***Planococcus citri* (Hemiptera: Pseudococcidae)**

La cochinilla harinosa de las ramas del café *Planococcus citri* es una especie de distribución cosmopolita en todas las regiones tropicales y templadas donde se cultiva café. Se trata de la especie mas común de cochinillas harinosas asociadas a cultivos de frutales como la naranja, el limón, mandarina, pomelo, aguacate, cacao, guanábana, lulo, guayaba, plátano, yuca, batata, papa, mango, café, granada, y varias especies de plantas ornamentales (Gallego y Vélez 1992; Cárdenas y Posada 2001; Villegas *et al.* 2008). En Colombia los primeros registros de *P. citri* en café se tienen desde el año 1978 en la hacienda Naranjal, en Chinchiná, Caldas. Desde entonces se han continuado registrando focos muy esporádicamente, pero en ningún caso con características de plaga. En el año 1985 se encontraron focos importantes de este insecto en una finca de Cambia, municipio de Risaralda (Caldas) y en dos fincas del municipio de Pereira (Risaralda) (Cárdenas 1985). Sin embargo, los brotes tan severos registrados en los meses de agosto, septiembre y octubre de 2012 en los municipios de Risaralda, Caldas y Santuario, Risaralda con niveles de daño superiores al 50%, estuvieron relacionados con condiciones climáticas favorables como fue un período seco prolongado con déficit hídrico en julio y agosto y la caída de ceniza volcánica proveniente de la erupción del Nevado del Ruiz en el mes de mayo y junio de 2012, en este ultimo caso, la ceniza volcánica actúa como un insecticida de contacto contra los enemigos naturales, por

el efecto abrasivo que presentan los compuestos de la ceniza que benefician a *P. citri* por su comportamiento reproductivo y el habito de secreción y cubierta cerosa algodonosa que la protege, pero elimina a los depredadores y parasitoides que fácilmente se deshidratan, interfiriendo con la capacidad de búsqueda que realizan estos para el control de la cochinilla harinosa de las ramas. Este seria el primer reporte confirmado del efecto de la ceniza volcánica en el incremento de un insecto plaga en Colombia. Existen estudios en Costa Rica del efecto de la ceniza del volcán Irazú en Costa Rica de cómo la ceniza altera las condiciones ecológicas de varias plagas del cultivo de café como la arañita roja *Oligonychus yothersi*, la cochinilla de las ramas *Planococcus citri* y el minador de las hojas del cafeto *Leucoptera coffeellum* (Willie y Fuentes 1975).

El principal daño de la cochinilla de las ramas de café lo ocasionan las ninfas y los adultos cuando se alimentan succionando la savia del pedúnculo de los frutos de café y sobre el haz y envés de las hojas a lo largo de la nervadura central. Es potencialmente uno de los insectos más dañinos en cafeto, debido a que se localiza sobre los pedúnculos de los frutos en desarrollo causando el secamiento de todo el nudo y por consiguiente la perdida de la producción (Cárdenas 1985). Las ninfas forman congregaciones numerosas alrededor de los pedúnculos de los frutos y en los glomérulos. Estas colonias están cubiertas con una secreción cerosa de consistencia algodonosa que las recubre totalmente. El exceso de savia que succionan las ninfas y los adultos lo excretan por el ano en forma de una sustancia azucarada llamada miel de rocío, la cual se deposita sobre el haz de las hojas, las ramas y los frutos, el cual sirve de medio de crecimiento de la fumagina, una cubierta de color negro causada por hongos de los géneros *Capnodium* y *Fumago*.

En el país se han encontrado varias especies de coccinélidos depredando los huevos y las ninfas de *P. citri*, de las cuales la especie más importante es *Cryptolaemus montrouzieri* (Coleoptera: Coccinellidae). Es un controlador importante de *P. citri*, especialista en la familia Pseudoccidae y fue observado en altas poblaciones depredando ninfas y adultos de *P. citri* en el municipio Santuario, departamento de Risaralda y en el municipio Risaralda, departamento de Caldas. Igualmente otras tres especies de coccinélidos de hábitos generalistas depredando larvas y adultos de *P. citri* tales como *Harmonia axyridis*, *Propylea* y *Scymnus* sp. Tanto los adultos como las larvas depredan todos los estados biológicos de *P. citri*. Un adulto puede depredar hasta 30 ninfas de *P. citri* en un día. Con relación a los parasitoides, se registraron dos especies de avispas de la familia Encyrtidae parasitando adultos de *P. citri* siendo *Leptomastix dactylopii* la especie más importante. *L. dactylopii* es un endoparasitoide que se desarrolla dentro del cuerpo de la cochinilla; cuando la ha consumido completamente empupa. Los puparios de la avispa son de color castaño y quedan expuestos sobre las colonias de *P. citri*. El incremento de las poblaciones de esta cochinilla está relacionado con variables climáticas y prevalencia de períodos secos. Generalmente el ataque inicial es en focos y con el tiempo se puede generalizar si no se toman medidas oportunas de manejo llegando a causar niveles de daño de hasta el 50%. Este incremento también está asociado a la aplicación de insecticidas de amplio espectro de acción para el control

de otras plagas presentes en el cultivo del café y por la caída de ceniza volcánica de las erupciones del volcán Nevado del Ruiz en los años 1985 y 2012.

***Xylosandrus morigerus* (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae)**

El perforador de las ramas del cafeto *Xylosandrus morigerus* es un coleóptero micetófago que se alimenta del hongo *Ambrosiaemyces zeilanicus* del cual depende para alimentarse y subsistir. Es una especie de hábitos polípagos, que se alimenta de varias especies de árboles maderables y plantas, incluida el café. Es originaria del sureste asiático y actualmente se encuentra distribuida en todas las regiones tropicales donde se cultiva café (Vélez 1997). En Colombia se reportó por primera atacando cafetales viejos en el año de 1957 en los municipios de Dagua, Bitaco y La Cumbre en el Valle del Cauca (Benavides 1961), posteriormente se ha registrado en los departamentos de Cauca, Caldas, Tolima, Norte de Santander, Antioquia (Cárdenas y Posada 2001) y más recientemente en Nariño, Risaralda, y Huila (Constantino y Benavides 2009) y nuevamente en Dagua, Valle (Giraldo y Galindo 2010).

Una característica de las ramas de café afectadas por *X. morigerus* es que se secan y quiebran con facilidad. Igualmente las ramas afectadas se marchitan en la medida que las galerías del insecto aumentan de tamaño, notándose un marchitamiento ascendente desde la base de la rama hasta la parte apical. El daño que el pasador de las ramas causa al árbol es pequeño comparado con el mas extenso del hongo; este no penetra muy profundo en la madera, pero puede interferir el transporte del agua en la rama y causar su muerte. Debido a su comportamiento reproductivo, el método mas eficaz es el control cultural mediante podas sanitarias. En cultivos de café bajo sombra se recomienda mantener sombrío moderado, para evitar ramas débiles y delgadas. Una adecuada fertilización mantiene ramas gruesas y fuertes que las hacen menos susceptibles al marchitamiento y taponamiento de los haces vasculares. Es conveniente revisar los árboles de sombrío como los guamos y aguacate donde se detecten focos de *Xylosandrus*, ya que generalmente los focos se inician de estos hacia el cafetal. En los árboles de sombrío con presencia de ramas secas y perforaciones de *X. morigerus* es necesario hacer podas y raleos de ramas viejas para cortar el ciclo del insecto.

El uso de trampas, de las mismas que se utilizan para el monitoreo de la broca del café *Hypothenemus hampei*, cebadas con metanol: etanol en una proporción de 3:1 son útiles para capturar las hembras adultas y conocer las épocas de vuelo del pasador de las ramas del cafeto, además, ayudan a disminuir las poblaciones (Giraldo y Galindo 2010). Igualmente las aspersiones con el hongo *Beauveria bassiana* en los árboles afectados y en los focos de infestación son importantes ya que es una especie que se encuentra naturalmente parasitando a *X. morigerus* (Bustillo 2008). El uso de insecticidas sistémicos y de ingestión son ineficaces para el pasador de las ramas porque el insecto no es xilófago sino micetófago. Igualmente el uso del parasitoide *Prorops nasuta* (Hymenoptera: Bethylidae) reportado parasitando a *X. morigerus* en el sudeste asiático (Vélez 1997), es una especie que ya se encuentra establecida en Colombia parasitando a la

broca del café *Hypothenemus hampei* (Maldonado y Benavides 2007), por lo cual la liberación de este parasitoide mas la aplicación del hongo *Beauveria bassiana* sirven para controlar estas dos plagas del café.

***Plagiohammus colombiensis* (Coleoptera: Cerambycidae)**

El barrenador del tallo y la raíz del café *Plagiohammus colombiensis*, es una especie nueva recientemente descrita en el país, que ataca el café. El género *Plagiohammus* es nativo de la región Neotropical, se distribuye desde México hasta Brasil y cuenta con 31 especies conocidas (Monné, 2005). En el cultivo de café se han registrado cuatro especies del género *Plagiohammus*, cuyas larvas barrenan el tallo y la raíz principal del cafeto destruyéndola completamente por lo cual los árboles se tornan cloróticos y se secan. Barrera *et al.* (2004) registra para México tres especies de barrenadores del tallo y las raíces del café: *P. maculosus*, *P. spinipennis* y *P. mexicanus*. Un estudio realizado recientemente en esta región reportó que el 34,8% de los cafetales de 23 localidades muestreadas estaban infestadas, con niveles de infestación entre 0,8 y 24,5%. Los productores de las zonas altas de esta región consideran al barrenador como una de las plagas más importantes del café en México. Ávila (2005) indica que *P. maculosus* se ha registrado atacando plantas de café en varios países como Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras y México. Cárdenas y Posada (2001) registran en Colombia la especie *P. maculosus* de la localidad de El Carmen (Santander). De las muestras de adultos del barrenador del tallo de café recolectadas en Boyacá, Cesar, Norte de Santander y Santander y comparadas con material tipo depositado en museos entomológicos en el exterior, se pudo confirmar que la especie de Colombia no es *P. maculosus* sino una nueva especie, la cual ha sido descrita con el nombre de *P. colombiensis* Constantino y Benavides (M/S). Durante los años 2012 y 2013 se presentaron cuatro nuevos registros para Colombia de *P. colombiensis* provenientes de los municipios de Maripí (Boyacá) a 900 msnm, El Carmen (Norte de Santander) a 1200 msnm; Aguachica (Cesar), vereda La Yeguera en la Serranía de Perijá a 1200-1300 m y en Girón, vereda Altamira (Santander) a 1425 m en 3.000 árboles de café afectados, todas estas localidades ubicadas en el flanco occidental de la cordillera oriental en la cuenca hidrográfica del río Magdalena.

La larva barrena el tallo y la raíz principal del cafeto destruyéndola completamente por lo cual los arboles se tornan cloróticos y se secan. El daño es más severo en árboles de menos de 18 meses; árboles mayores de 3 años toleran el ataque pero se debilitan y no producen. La presencia del barrenador del tallo en el cultivo de café se reconoce por los montículos de aserrín en la base del tallo afectado que la larva evacua cuando esta barrenando el tallo principal. El ciclo de vida del barrenador del tallo tarda 18 meses desde huevo hasta pupa. Es una especie nativa en el país que se ha encontrado en cafetales contiguos a zonas boscosas y húmedas, por lo que se presume que el hospedero principal pueda ser una especie forestal. Con el plan de renovación que se está adelantando en el país por parte de la Federación Nacional de Cafeteros, varias plantaciones de café de menos de 18 meses se han visto afectadas por el barrenador, ya que estas son más

susceptibles al marchitamiento. Plantaciones viejas toleran el daño pero la producción disminuye. El control cultural mediante la poda sanitaria de árboles marchitos es la mejor opción de manejo y el monitoreo poblacional mediante la identificación de árboles con presencia de aserrín en la base de los tallos es importante para determinar el nivel de infestación en el lote. Hasta el momento no se conocen enemigos naturales para esta plaga.

***Comatermes perfectus* (Isoptera: Kalotermitidae)**

El comején *Comatermes perfectus* ha sido reportado atacando plantaciones de café de menos de dos años, en el departamento del Tolima en terrenos que fueron previamente bosques y cultivos de caña. La reproducción del insecto ocurre en los tocones de los árboles maderables en estado muy avanzado de descomposición o tallos y raíces de gramíneas y luego se pasan a los árboles de café en pie.

El daño en los tallos de café es causado por las pseudo-operarias que construyen galerías profundas cerca del suelo, por encima del cuello de la raíz; la destrucción de tejido puede producir muerte del árbol; su ataque es localizado y casi siempre cercano a cepas en pudrición de árboles que fueron derribados para establecer el cafetal (Giraldo y Benavides 2010).

Para el manejo del comején es necesario eliminar y retirar los árboles de café afectados por las termitas, fuera del lote para cortar con los focos y el ciclo del insecto. Igualmente realizar un control cultural destruyendo los troncos secos y residuos de cosecha fuera del lote de café. Realizar el monitoreo constante para advertir el incremento de las poblaciones de termitas en la plantación de café que antes fueron bosques o cultivos de caña de azúcar. El uso de insecticidas es ineficaz por el comportamiento reproductivo que presenta este insecto.

Nuevos registros de hospedero en café

***Helicoverpa virescens* (Lepidoptera: Noctuidae)**

El gusano bellotero *Helicoverpa virescens* (Boddie, 1850) es una especie de hábitos polívoros y está reportada como una de las peores plagas de varios cultivos agrícolas como el tabaco, maíz, algodón, espárrago, guandul, garbanzo, y tomate. Esta especie se distribuye en toda América Tropical, desde el norte de Argentina hasta México y en los Estados Unidos de Norteamérica. En Colombia se encuentra en un rango altitudinal amplio desde el nivel del mar hasta los 2000 metros, en todas las zonas agrícolas donde hay cultivos de tomate, algodón, tabaco, guandul y maíz (Hallman 1979; Cordo *et al.* 2004). La larva de esta polilla causa perforaciones en los frutos verdes de café en ramas productivas y consume el contenido interno del fruto, dejando la cascara entera. El ataque de *H. virescens* en café fue detectado por primera vez en cultivos de café en la localidad de Aguadas, Caldas en el año 2012 (Mauricio Salazar, obs. pers.) durante un periodo de verano prolongado. Los únicos registros de ataque de *Helicoverpa* en frutos de café,

corresponden a la especie *H. armigera* (Hubner) en la India, Islas Fiji, China, Nueva Guinea, y Madagascar. En Colombia y en toda la región neotropical no se tenían registros de *H. virescens* consumiendo frutos de café, siendo este el primer reporte. El incremento actual de cultivos de tomate y maíz en la zona central cafetera contiguos o intercalados a cultivos de café puede explicar este caso de adaptación de *H. virescens* en café.

***Paracraga argentea* (Lepidoptera: Dalceridae)**

El gusano gelatina *Paracraga argentea* (Schaus, 1910) se distribuye desde México hasta Colombia (Miller, 1994). Este es un nuevo registro de esta especie de lepidóptero de la familia Dalceridae en café. Los huevos que son de color blanco son colocados por la hembra en grupos de 35-38 sobre el envés de las hojas de café. Las larvas son de hábitos gregarios en los primeros estadios y el daño lo ocasiona la larva cuando se alimenta haciendo un raspado sobre la epidermis en el envés de las hojas.

Cuando el raspado es muy profundo, traspasa el otro lado de la hoja, formando perforaciones de forma irregular en la lamina foliar. El daño se da de forma generalizada en todo el árbol y cuando el ataque es fuerte el daño se asemeja a una quemazón por granizo. Los primeros registros de *Paracraga argentea* se dieron en el año 2012 en las localidades de Sevilla (Valle) y Salento (Quindío) en cultivos de café ubicados a 1700 msnm durante un periodo seco en los meses de agosto y septiembre de 2012. Las larvas y pupas de *P. argentea* recolectadas en campo presentaron más de un 90% de parasitismo por avispas de la familia Chalcididae pertenecientes al género *Conura* sp. Para el manejo de sus poblaciones se aplicó una formulación comercial de *Bacillus thuringiensis* en formulación de (32% p/p) a una concentración de 50 g/100 L de agua.

***Clepsis abscisana* (Lepidoptera: Tortricidae)**

En el mes de mayo de 2011 se presentaron brotes generalizados del enrollador de las hojas del cafeto *Clepsis abscisana* en lotes con resiembras nuevas de café *Coffea arabica* var. *castillo* en los municipios de Sevilla y Bugalagrande en el norte del Valle, Colombia, en cultivos ubicados a 1.600 msnm. Los lotes afectados presentaban el suelo desnudo y habían sido asperjados con herbicida de forma generalizada. Este es el primer reporte de esta especie en café (Constantino *et al.* 2013). El daño lo ocasiona la larva cuando se alimenta de las hojas tiernas. Las larvas hacen un corte parcial con sus mandíbulas en la base del peciolo de la hoja que ocasiona que estas se quiebren, quedando colgadas de la planta, lo cual le permite a las larvas enrollar las hojas con facilidad. Las larvas se refugian en el interior de los cartuchos de las hojas que tejen con hilos de seda. Durante la noche salen para alimentarse de los rebrotes y hojas tiernas de café. Se desconoce el hospedero primario de esta especie de tortricido, que posiblemente pueda ser una arvense. El uso de herbicidas de forma generalizada en los cafetales afectados puede ser una de las causas de desequilibrio y adaptación a café de esta especie. Las larvas fueron controladas con

aspersiones de *Bacillus thuringiensis* (Bt) en formulaciones comerciales (32% p/p) a una concentración de 50 g/100 L de agua, para no afectar la fauna benéfica. Igualmente el manejo selectivo de arvenses nobles en las calles favoreció el incremento de la fauna benéfica que regula naturalmente las poblaciones de *Paracraga*.

Literatura citada

- BARRERA, J.; HERRERA, J.; VILLALOBOS, J.; GÓMEZ, B. 2004. El barrenador del tallo y la raíz del café *Plagiohammus maculosus*. Una plaga silenciosa. Proyecto Manejo Integrado de Plagas, folleto técnico No. 9. El Colegio de la Frontera Sur ECOSUR, Tapachula, Chiapas, México. 8 p.
- BENAVIDES G., M. 1961. El *Xyleborus morigerus* Blandford en Colombia. *Cenicafé* 12(1):17-28.
- BUSTILLO, A. E.; CÁRDENAS, M. R.; VILLALBA, G.D.; BENAVIDES, M. P.; OROZCO, H. J.; POSADA, F. J. 1998. Manejo integrado de la broca del café *Hypothenemus hampei* en Colombia. Chinchiná, *Cenicafé*. 134 p.
- BUSTILLO, A. E. 2008. Aspectos sobre la broca del café *Hypothenemus hampei* en Colombia. Capítulo 33, p. 389 -418. Editor A. E. Bustillo P. En: Los insectos y su manejo en la caficultura colombiana. FNC - *Cenicafé*, Chinchiná (Colombia). Editorial Blanecolor Ltda., Manizales, 466 p.
- CÁRDENAS, R. 1985. La palomilla de las ramas del cafeto *Planococcus citri* (Risso) (Homoptera: Pseudococcidae). *Avances Técnicos Cenicafé*. No. 125. Chinchiná, Caldas. 2p.
- CÁRDENAS, R.; POSADA, F.J. 2001. El pasador de las ramas *Xylosandrus morigerus* (Coleoptera: Cerambycidae) Pp. 63-65. En: Los Insectos y otros habitantes de cafetales y platanales. Comité de Cafeteros del Quindío. Optigraf, Armenia. 250 p.
- CÁRDENAS, R.; POSADA, F.J. 2001. El taladrador de tallos y raíces *Plagiohammus maculosus* Bates (Coleoptera: Cerambycidae) Pp. 60-61. En: Los Insectos y otros habitantes de cafetales y platanales. Comité de Cafeteros del Quindío. Optigraf, Armenia. 250 p.
- CONSTANTINO, L.M.; BENAVIDES M., P. 2009. Presencia del perforador de las ramas del cafeto *Xylosandrus morigerus* en un lote de *Coffea arabica* var. San Bernardo en Quinchia, Risaralda. Informe Técnico, Disciplina de Entomología, *Cenicafé*. 4 p.
- CONSTANTINO, L.M.; BROWN, W. J.; BENAVIDES, M. P. 2013. El enrollador de las hojas del cafeto *Clepsis abscisana* (Zeller, 1877) (Lepidoptera: Tortricidae) nuevo registro en café. Nota técnica, *Revista Cenicafé* (en prensa).
- CONSTANTINO, L.M.; BENAVIDES, M.P.; ESTEBAN, J. 2013. A new species of coffee stem and root borer of the genus *Plagiohammus* from Colombia (Coleoptera: Cerambycidae) *Insecta Mundi* (en prensa).
- CONSTANTINO, L.M.; MARTINEZ, H.; GIL, Z.; BENAVIDES M, P. 2012. Diagnostico de la presencia y daños ocasionados por la cochinilla harinosa de las ramas del cafeto *Planococcus citri* (Hemiptera: Pseudococcidae) en Santuario, Risaralda y Risaralda, Caldas. Informe Técnico, Disciplina de Entomología, *Cenicafé*. 13 p
- CORDO, H. A.; LOGRAZO, G.; BRAUN, K.; DI IORIO, O. 2004. Catálogo de insectos fitófagos de la Argentina y sus plantas asociadas. Sociedad Entomológica Argentina Ediciones, Buenos Aires, Argentina. Pp: 734- 987.

- HALLMAN, G. 1979. Claves taxonómicas para las especies de *Heliothis* (Lepidoptera: Noctuidae) en Colombia. Revista Colombiana de Entomología 4 (3 y 4): 61-69.
- GIRALDO J, M.; GALINDO, L.A. 2010. Visita perforador del tallo de café, Dagua, Valle del Cauca. Informe Técnico, Disciplina de Entomología, Cenicafé. 10 p.
- GIRALDO, M., BENAVIDES M., P. 2010. Termitas en café, Ibagué, Tolima. Informe Técnico, Disciplina de Entomología. Cenicafé. 11 p.
- MALDONADO, C.E.; BENAVIDES, M. P. 2007. Evaluación del establecimiento de *Cephalonomia stephanoderis* y *Prorops nasuta*, controladores de *Hypothenemus hampei* en Colombia. Cenicafé (Colombia). 58(4):333-339.
- MILLER, S. 1994. The systematics of the Neotropical moth family Dalceridae (Lepidoptera). Bulletin of the Museum of Comparative Zoology 153 (4): 1- 134.
- VÉLEZ, R. 1997. *Xylosandrus morigerus* (Blanford) (Coleoptera: Scolytidae). Pp. 190-196. En: Plagas agrícolas de impacto económico en Colombia: bionomía y manejo integrado. Editorial Universitaria de Antioquia. 2ª. edición, Medellín. 482 p.
- VILLEGAS, C.; BUSTILLO, A.E.; ZABALA, G.; BENAVIDES, P.; RAMOS, A. 2008. Cochinillas harinosas en cafetales colombianos. pp. 342-354. En: Bustillo, A.E. (ed.). Los Insectos y su manejo en la caficultura colombiana. Cenicafé. 466 p.
- WILLE, A.; FUENTES, G. 1975. Efecto de la ceniza del volcán Irazú (Costa Rica) en algunos insectos. Rev. Biol. Trop. 23 (2): 165-175.

Simposio 3.

Biotecnología con aplicación en entomología

Coordinador: Adriana Ochoa Fandiño, M. Sc.,
Investigadora Independiente

Participantes:

Alberto Pantoja, Ph.D.

Carlos Alberto Blanco, Ph.D.

Ana María Vélez, Ph.D., Terence A. Spencer, Analiza P. Alves, Dan Moellembeck, Robert L. Meagher, Haridas Chirakkal y Blair D. Siegfried,

Sergio Orduz Peralta, Ph. D. y Viktor Lemesenko, Ph. D.

Ana Luisa Días, Ph.D.

Biotecnología y MIP: Avances y perspectivas

Alberto Pantoja¹

¹Ph.D., Organización de las Naciones Unidas Para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Oficina Regional para América Latina y el Caribe, Avenida Dag Hammarskjöld 3241, Vitacura, Santiago, Chile, alberto.pantoja@fao.org

Según FAO el manejo integrado de plagas (MIP) es la consideración de todas las técnicas disponibles para combatir las plagas y la adopción de medidas que disminuyen o mantengan el desarrollo de poblaciones de plagas a niveles económicamente aceptables (FAO, 1998). Biotecnología se define como "toda aplicación tecnológica que utilice sistemas biológicos y organismos vivos o sus derivados para la creación o modificación de productos o procesos para usos específicos" (FAO 2013). La biotecnología utiliza un enfoque multidisciplinario que involucra variadas disciplinas y ciencias (Izquierdo y Riva 2000; Freyre 2010). Los mejoradores utilizan biotecnologías sencillas como cultivo de tejidos, mejoramiento genético y marcadores moleculares para lograr variedades resistentes a plagas. Los mejoradores utilizan además biotecnologías modernas en la obtención de resistencia a plagas (Pantoja *et al.* 1997; Freyre 2010). El Protocolo de Cartagena sobre Bioseguridad define biotecnología moderna a la manipulación de material genético y fusión de células más allá de las barreras normales de mejoramiento genético (FAO 1992). El uso de organismos genéticamente modificados (OGM) es probablemente la técnica de biotecnología moderna más conocida en la agricultura. La biotecnología moderna proporciona herramientas innovadoras para resolver problemas agrícolas; sin embargo aún no ha cumplido la promesa de beneficiar a los más necesitados y el uso de técnicas de biotecnología moderna es motivo de debates (Izquierdo y Riva 2000; FAO 2012).

El MIP pretende mantener el empleo de plaguicidas y otras intervenciones a niveles económicamente justificados para reducir los riesgos para la salud humana y el medioambiente (Pantoja *et al.* 1997; FAO 1998). Dentro del MIP se encuentra el uso de variedades resistentes a plagas. El uso de variedades resistentes es una medio eficaz para el productor, ya que la siembra de variedades resistentes no representa costo adicional por el manejo de las plagas. Esta tecnología es además sencilla de usar, ya que se maneja de forma similar a variedades convencionales y sería beneficiosa para los productores a pequeña escala. La resistencia a plagas puede ser generada por mejoramiento genético convencional o por biotecnologías modernas como la genética molecular. La introducción de resistencia a plagas mediante métodos de genética molecular (OGM) trae consigo una herramienta adicional a los programas MIP. Sin embargo, la aceptación y adopción de variedades genéticamente modificadas trae consigo debates asociados al costo, accesibilidad de semilla, posibles amenazas a la biodiversidad y consideraciones éticas y morales que han sido asociadas a las alteraciones genéticas (FAO 2013). A pesar de los debates públicos sobre el uso de OGM, al presente 10 de los 50 países considerados como los mayores productores mundiales de cultivos genéticamente modificados se encuentran en América Latina.

Brasil y Argentina son considerados el segundo y tercer productor mundial de cultivos transgénicos del mundo después de USA. Se estima 16.7 millones de agricultores a nivel mundial siembran 160 millones de hectáreas de cultivos transgénicos (ISAAA 2013). El uso de variedades transgénicas para resistencia a insectos (toxinas de Bt) y resistencia a herbicidas son los eventos o características de mayor uso en la agricultura comercial. Debido a la simpleza de su aplicación, estas tecnologías han sido adoptadas por los productores y según algunos investigadores (Duke 2011) han contribuido a la reducción en el uso de plaguicidas reduciendo además la huella de carbono asociada al manejo de plagas. El uso de plantas con resistencia a glifosato es la técnica mas usada en control de plagas a nivel mundial. Se estima el 85% de los cultivos transgénicos a nivel mundial están relacionados a resistencia a herbicidas (glifosato).

El incremento sostenible de la producción agrícola es un tópico de creciente interés público, lo que ha causado que los países productores de cultivos transgénicos comiencen a ser examinados para evaluar la sustentabilidad de la producción. Además, existe interés y presión pública sobre el sector privado para que éste asuma sus responsabilidades en los sistemas de agro-negocios y asegure su contribución a la mejora ambiental y social (Freyre 2010; FAO 2011, 2013). A pesar de las presiones, al presente se adelantan trabajos de transformaciones genéticas para incorporar resistencia a plagas y herbicidas en plantas que tradicionalmente son de consumo directo como el tomate, la berenjena y el repollo (Silva y Ortiz 2011). Este trabajo discutirá los avances en biotecnología y el manejo integrado de plagas y presentara la documentación FAO sobre le tema.

Literatura citada

- DUKE, S. 2011. Comparing Conventional and Biotechnology-Based Pest Management. *J. Agric. Food Chem.* 2011, 59, 5793–5798.
- FAO. 1992. Convenio sobre diversidad biológica. Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica. Río de Janeiro, 1992. <http://www.cinu.org.mx/eventos/conferencias/johannesburgo/documentos/convencion%20sobre%20diversidad%20biologica.pdf>
- FAO. 1998. Que es el manejo integrado de plagas. <http://www.fao.org/NOTICIAS/1998/ipm-s.htm>
- FAO. 2011. Ahorrar para crecer. <http://www.fao.org/ag/save-and-grow/es/index.html>
- FAO, 2013. La biotecnología en la alimentación y la agricultura. <http://www.fao.org/biotech/biotech-forum/es/>
- FREYRE, E. 2010. Bioética: si de Agricultura sostenible se trata. Universidad Agraria de la Habana. La Habana, Cuba.
- ISAAA. 2013. International Service for the Acquisitions of Agri-Biotech Applications. <http://www.isaaa.org/>
- IZQUIERDO, J. y G. de la Riva. 2000. Plant biotechnology and food security in Latin America and the Caribbean. *Electron. J. Biotechnol.* 3 (1): 1-20.
- PANTOJA, A.; Fischer, A.; Correa, F.; Sanint, L.; Ramirez, A. 1997. Integrated Crop Management for Rice in Latin America and the Caribbean. CIAT Pub. 292, Cali, Colombia.

- SILVA, J.; ORTIZ, R. 2011. Transgenic Vegetable Crops: Progress, Potentials, and Prospects. Plant Breeding Reviews. DOI: 10.1002/9781118100509.ch4
- SOTO, F.; RODRIGUEZ, M.; FALCONI, C. 2007. Políticas para la Agricultura Familiar en América Latina y el Caribe". Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe /Banco Interamericano de Desarrollo. Santiago, Chile.

¿Estamos preparados para la regulación de los próximos productos de la biotecnología agrícola?

Carlos Alberto Blanco¹

¹Ph.D. Adjunct Assistant Professor, Department of Biology, The University of New Mexico, Albuquerque, NM. Castetter Hall.
carlos.blanco1206@gmail.com / cblanco@unm.edu

Las primeras variedades de cultivos obtenidas a través de la ingeniería genética se crearon a través de la inserción de material genético perteneciente a distintas especies o de naturaleza sintética, lo que les ha dado el nombre de cultivos transgénicos u organismos genéticamente modificados. En la mayoría de las transformaciones en plantas se ha utilizado un vector también diferente al cultivo (e.g. *Agrobacterium*) como vehículo para insertar las secuencias que producen nuevas proteínas. Los requerimientos regulatorios actuales para comprobar la inocuidad de estos cultivos han requerido de hacer pruebas precisamente con las proteínas que estos cultivos producen, las cuales se utilizan para llevar a cabo un sinnúmero de pruebas que nos indican su efecto en la alimentación, su persistencia en el ambiente, su impacto en otros organismos, etcétera.

En el caso de protección a cultivos se vislumbran dos relativamente nuevas técnicas de transformación: la inserción de material genético a través de inyecciones en huevos de insectos y la inserción de material genético a través de la técnica 'piggy Bac,' que ha creado principalmente artrópodos estériles (Simmons *et al.* 2011; Frazer 2012); así como la técnica del silenciamiento de genes a través del ácido ribonucleico (ARM) de interferencia, conocido como *RNAi* (ILSI-CERA 2011; Petrick *et al.* 2013). Ambas técnicas no producen productos o proteínas con los cuales se puedan hacer bioensayos, creando un vacío de conocimiento y la necesidad de pensar en métodos diferentes de comprobación de la seguridad de estos nuevos cultivos.

Literatura citada

- FRAZER, JR., M. J. 2012. Insect transgenesis: current applications and future prospects.
- INTERNATIONAL LIFE SCIENCES INSTITUTE, CENTER FOR ENVIRONMENTAL RISK ASSESSMENT (ilsicera) 2011. Problem formulation for the environmental risk assessment of RNAi plants. Conference proceedings. http://cera-gmc.org/docs/cera_publications/pub_08_2011.pdf
- SIMMONS, G. S., *et al.* 2011. Field performance of a genetically engineered strain of pink bollworm. Public Library of Science 6: issue 9 p.

Caracterización de resistencia de *Spodoptera frugiperda* a maíz Cry1F en Puerto Rico*

Ana María Vélez¹, Terence A. Spencer², Analiza P. Alves³, Dan Moellenbeck⁴, Robert L. Meagher⁵, Haridas Chirakkal⁶ y Blair D. Siegfried²

¹ Entomóloga, Ph.D. Postdoctoral-Associate, University of Nebraska-Lincoln, Lincoln, Nebraska, USA. anamaria.velez@gmail.com. ² University of Nebraska-Lincoln, Lincoln, Nebraska, USA. ³ Dupont Pioneer, Johnston, IA. ⁴ DM Crop Research Group Inc. Polk City, IA. ⁵ USDA-ARS CMAVE, Gainesville, FL. ⁶ Department of Biological Sciences, University of Nebraska, Lincoln

* En caso de querer citar este trabajo, por favor hacer referencia a la publicación original: ¹Ana Maria Velez, ¹Terence A. Spencer, ²Analiza P. Alves, ³Dan Moellenbeck, ⁴Robert L. Meagher, ⁵Haridas Chirakkal and ¹Blair D. Siegfried. 2013. Inheritance of Cry1F resistance, cross-resistance and frequency of resistant alleles in *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). Bulletin of Entomological Research. In press.

Resumen. Desde 2003 se ha registrado el uso de maíz transgénico Cry1F para el control de *Spodoptera frugiperda* desde 2003 en Estados Unidos y Puerto Rico. En el 2006 se reportaron daños inesperados en maíz Cry1F en Puerto Rico generados por *S. frugiperda* resistente a Cry1F. La herencia de resistencia a Cry1F en *S. frugiperda* fue caracterizada usando una colonia resistente proveniente de Puerto Rico, la cual exhibió una resistencia 387 veces mayor que una colonia susceptible. Se realizaron bioensayos con un rango de concentraciones en la descendencia de los cruces recíprocos de las colonias parentales susceptible y resistente. Los resultados de estos bioensayos indicaron que la resistencia a Cry1F es recesiva y autosomal. Bioensayos del retrocruce de la F₁ con los parentales resistentes indicaron que la resistencia es monogénica. Adicionalmente, se evaluó la resistencia cruzada de Cry1F con Cry1Aa, Cry1Ab, Cry1Ac, Cry1Ba, Cry2Aa y Vip3Aa fue evaluada. Para Cry1Aa, Cry1Ba y Cry2Aa no se observó evidencia de resistencia cruzada con Cry1F, aunque se encontraron efectos limitados para la colonia susceptible. Vip3Aa fue efectiva contra la colonia susceptible y resistente, indicando que no existe resistencia cruzada entre Vip3Aa y Cry1F. En contraste, se observó resistencia cruzada con Cry1Ab y Cry1Ac. Para detectar el riesgo de resistencia a Cry1F en Florida y Texas se midió la frecuencia de alelos resistentes durante los años 2010 y 2011 usando un análisis de la F₁. Se observó una frecuencia de 0.13 y 0.02 para Florida y Texas respectivamente, indicando que alelos resistentes pueden encontrarse en poblaciones de Estados Unidos.

Palabras clave: Gusano cogollero del maíz, maíz Bt, Cry1F, resistencia, manejo de resistencia.

Abstract. Cry1F transgenic corn Cry1F has been registered for *Spodoptera frugiperda* control since 2003. Unexpected damage to Cry1F corn was reported in 2006 in Puerto Rico and resistance in *S. frugiperda* was documented. The inheritance of Cry1F resistance was

characterized in a *S. frugiperda* resistant strain from Puerto Rico which displayed >387-fold resistance to purified Cry1F. Concentration-response bioassays of reciprocal crosses of resistant and susceptible parental populations indicated that resistance is recessive and autosomal. Bioassays of the backcross of the F_1 generation crossed with the resistant parental strain suggest that a single locus is responsible for resistance. In addition, cross-resistance to Cry1Aa, Cry1Ab, Cry1Ac, Cry1Ba, Cry2Aa and Vip3Aa was assessed in the Cry1F resistant strain. There was no significant cross-resistance to Cry1Aa, Cry1Ba and Cry2Aa, although only limited effects were observed in the susceptible strain. Vip3Aa was highly effective against susceptible and resistant insects indicating no cross-resistance with Cry1F. In contrast, cross-resistance was observed for both Cry1Ab and Cry1Ac. To identify the risk of resistance in Florida and Texas, and F_1 screening was performed to calculate the frequency of resistant alleles during 2010 and 2011. Because the resistance is recessive and conferred by a single locus, an F_1 screen was performed to measure the frequency of resistant alleles in 2010 and 2011. A total frequency of 0.13 and 0.02 was found for Florida and Texas population respectively, indicating resistant alleles could be found in U.S. populations.

Keywords: Fall armyworm, *Bt* corn, Cry1F, resistance, resistance management.

Introducción

Los cultivos transgénicos que expresan toxinas de *Bacillus thuringiensis* Berliner (*Bt*) han sido ampliamente usados desde 1996 para controlar insectos plaga (Shelton *et al.* 2002; James 2009), sin embargo, la exposición prolongada a toxinas *Bt* puede generar resistencia, reduciendo la utilidad a largo plazo de esta tecnología. El desarrollo de programas efectivos para el manejo de resistencia depende del entendimiento de la evolución de resistencia (United States Environmental Protection Agency 2001).

El gusano cogollero del maíz *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), es un insecto endémico del hemisferio occidental distribuido desde Argentina hasta Norte América (Sparks 1979). Este insecto es una plaga importante de maíz y algodón en el neotrópico y de fin de temporada en Estados Unidos (Mitchell *et al.* 1991). *S. frugiperda* no posee diapausa y es vulnerable a temperaturas de congelación, por esa razón, en Norte América, cada año ocurren migraciones temporales desde el sur de la Florida y Texas hacia regiones mas templadas (Nagoshi *et al.* 2010; Nagoshi *et al.* 2012). Estudios de genética de poblaciones sugieren que las poblaciones de *S. frugiperda* de Puerto Rico son más similares a las poblaciones de la Florida comparada con las poblaciones de Brasil o Texas y adicionalmente se ha propuesto que existe intercambio genético limitado entre las poblaciones de Texas y Florida (Nagoshi *et al.* 2010; Nagoshi *et al.* 2012).

Una de las estrategias más recientes para manejar poblaciones del gusano cogollero del maíz es el uso de maíz *Bt* transgénico expresando la toxina Cry1F el cual proporciona un mejor

control que los híbridos que expresan Cry1Ab (Siebert *et al.* 2008). Los híbridos que expresan Cry1F han estado disponibles comercialmente desde 2003 y comercializados como Herculex I® *Insect Protection* (evento de transformación TC1507). En Puerto Rico el maíz Cry1F ha sido plantado desde 1998 para el desarrollo de híbridos y la producción de semillas (Buntin 2008). En el 2006 se reportaron daños inesperados en maíz Cry1F en Puerto Rico generados por *S. frugiperda* resistente a Cry1F (Matten *et al.* 2008; Tabashnik *et al.* 2009; Storer *et al.* 2010). La resistencia en campo de *S. frugiperda* a Cry1F en Puerto Rico, representa uno de los siete casos documentados de resistencia a un cultivo transgénico *Bt* en el campo, y el primer caso que ha llevado a retirar un cultivo *Bt* del mercado (Tabashnik *et al.* 2009).

Se cree que varios factores han contribuido a la evolución de resistencia a Cry1F en *S. frugiperda* en Puerto Rico. En primer lugar, Puerto Rico es un ecosistema aislado y subdividido por terrenos montañosos. Este tipo de topografía restringe la migración del insecto generando una selección intensa de poblaciones locales. De igual forma, el clima tropical de Puerto Rico permite el establecimiento del cultivo de maíz durante todo el año con múltiples generaciones de *S. frugiperda* expuestas a presión de selección por parte del maíz transgénico. La larga historia de uso de insecticidas *Bt* para manejo de *S. frugiperda* en vegetales y maíz, junto con el uso de otros eventos *Bt* expresando Cry1Ab también pudieron contribuir con la presión de selección. Finalmente, en el 2006 tras una severa sequía en Puerto Rico, las poblaciones de *S. frugiperda* se vieron forzadas a concentrarse en cultivos irrigados, de los cuales el maíz Cry1F era un importante componente. La presión de selección generada en 2006 ha sido la más intensa observada hasta la fecha (Storer *et al.* 2011, 2012).

La caracterización de resistencia en insectos que han evolucionado resistencia a cultivos *Bt* en el campo es importante para generar mejores estrategias de manejo de resistencia de las generaciones actuales y futuras de cultivos transgénicos (Tabashnik *et al.* 2009). Para comprender la resistencia en un contexto evolutivo y ecológico es importante estudiar la base genética de la resistencia y el efecto de alelos resistentes en el *fitness*. El estudio de estos parámetros poblacionales contribuyen a la interpretación de tasas de cambio de frecuencias de alelos resistentes en poblaciones naturales y pueden ser usadas en programas para retrasar la evolución de resistencia (McKenzie 1996). En este estudio, se investigaron los patrones de herencia a Cry1F (dominancia, ligamiento al sexo y número de locus) y la resistencia cruzada a Cry1Aa, Cry1Ab, Cry1Ac, Cry1Ba, Cry2Aa y Vip3Aa. La caracterización de la herencia permitió el uso de un análisis de la F₁ para detectar la frecuencia de alelos resistentes en poblaciones fuera de Puerto Rico (Florida y Texas). Los resultados de esta investigación tienen implicaciones directas para el manejo de la resistencia de *S. frugiperda* en maíz Cry1F.

Materiales y métodos

Colonias y Cría de Insectos. La colonia resistente de *S. frugiperda* fue recolectada en Puerto Rico y seleccionada usando tejido vegetal de maíz Cry1F, mientras que la colonia susceptible se obtuvo

de las crías comerciales de BioServ. Las dos colonias fueron mantenidas usando técnicas de cría adaptadas de Perkins (1979). Cada generación fue perpetuada usando al menos 200 individuos con apareamiento al azar. Las larvas se criaron en dieta general para Lepidoptera (BioServ, Frenchtown, NJ) y los adultos en una solución de cerveza con ácido ascórbico, ácido propiónico, aureomicina y vitaminas (Perkins 1979).

Toxinas Bt. Dupont Pioneer proporcionó la toxina Cry1F usada para los bioensayos, la proteína fue expresada en células BtG8 y purificada usando métodos analíticos estandarizados. Las proteínas Cry usadas para los experimentos de resistencia cruzada fueron purificadas de la fermentación de cepas recombinantes de *Escherichia coli* (Migula) transformadas para expresar Cry1Aa, Cry1Ab, Cry1Ac, Cry1Ba y Cry2Aa. La toxina Vip3Aa fue proporcionada por Syngenta Biotechnology.

Bioensayos. Los bioensayos se realizaron usando los métodos descritos por Marçon *et al.* (1999) en bandejas con 128 pozos. En cada pozo se dispensó 1 ml de dieta general para Lepidoptera, permitiendo el secado previo a la introducción de la toxina. Siete concentraciones se usaron para determinar la concentración letal CL₅₀. Las diluciones se hicieron en una solución al 0.1% de Triton-X 100 para obtener una distribución uniforme en la superficie. Cada pozo fue tratado con 30 µl de la concentración apropiada, mientras que el control negativo fue tratado con 30 µl de 0.1% Triton-X 100. Los pozos tratados se dejaron secar. Posteriormente una larva con menos de 24 horas de emergencia fue transferida a cada pozo usando un pincel fino. Los pozos se cubrieron y se mantuvieron en una incubadora a 27°C, con 24 horas de oscuridad y una humedad relativa de 80%. Después de 7 días de exposición a la toxina la mortalidad y el peso total de las larvas por dosis fueron registrados. Las larvas que no crecieron por encima del primer instar y con pesos ≤ 0.1 mg fueron consideradas muertas. Por lo tanto, la mortalidad en este estudio incluyó la inhibición del crecimiento y la muerte de las larvas. La mortalidad del control fue del 6% en promedio y replicas con mortalidad mayor a 20% no fueron incluidas.

Los datos de mortalidad por concentración fueron analizados por medio de un análisis *probit* (Finney, 1971) usando POLO-PC (LeOra Software 1987). Se calcularon la CL₅₀ y CL₉₉ y los intervalos de confianza al 95%, la pendiente y el error estándar. Una prueba de máxima similitud se realizó para determinar si los CL₅₀ eran iguales. La concentración diagnóstico se determinó basándose en el límite superior del intervalo de confianza de la CL₉₉ de la colonia susceptible. La tasa de sensibilidad a Cry1F fue determinada usando los valores de la CL₅₀ de la colonia susceptible dividido por la CL₅₀ de la colonia resistente (Robertson *et al.* 1995, 2007). Cuando no se generó mortalidad en los bioensayos debido a la resistencia, la concentración más alta se usó para calcular la tasa de sensibilidad. Los coeficientes de sensibilidad se consideraron iguales si los intervalos de confianza no se sobrepusieron.

Experimentos de Herencia. Para evaluar la ligación al sexo y la dominancia de resistencia, se realizaron bioensayos con la progenie de la F₁ de los cruces recíprocos entre la colonia resistente y

la susceptible (susceptible ♀ x resistente ♂ y susceptible ♂ x resistente ♀). Para cada cruce se generó una curva de mortalidad. La ligación al sexo fue determinada comparando la pendiente y el intercepto de las regresiones de los cruces recíprocos y las colonias parentales. Se probó la hipótesis nula de que las líneas son paralelas e iguales usando POLO-PC (LeOra Software 1987; Robertson *et al.* 2007). La dominancia de resistencia se calculó usando el método de dominancia efectiva a una concentración fija (D_{ML}) descrito por Bourguet *et al.* (2000). Para estimar el número de locus que confieren resistencia a Cry1F, la progenie de la F_1 de los cruces recíprocos fueron retro cruzados con la colonia resistente. El poder de pruebas indirectas para modos de herencia es mayor cuando el retrocruce se origina de los cruces entre la progenie F_1 y la colonia parental con mayores diferencias en susceptibilidad (Roush & Daly 1990; Tabashnik 1991). Se probó el modelo de herencia monogénica usando una prueba de chi-cuadrado (Georghiou 1969; Preisler *et al.* 1990; Tabashnik 1991; Tabashnik *et al.* 1992). Como hipótesis se partió de la premisa de que si la resistencia es monogénica, el retrocruce producirá una progenie donde el 50% son RS y el 50% RR, y para probarla, se calculó la mortalidad esperada usando la formula descrita por Tabashnik (1991). Las diferencias obtenidas entre la mortalidad observada y esperada en cada concentración se compararon usando una prueba de chi-cuadrado (Tabashnik 1991).

Resistencia Cruzada. Para determinar si la resistencia a Cry1F en *S. frugiperda* causa cambios en la susceptibilidad a otras toxinas *Bt*, se realizaron bioensayos de las colonias susceptible y resistente expuestas a las proteínas Cry1Aa, Cry1Ab, Cry1Ac, Cry1Ba, Cry2Aa y Vip3Aa. Las concentraciones letales CL_{50} fueron calculados para Cry1Ab y Vip3Aa usando POLO-PC (LeOra Software, 1987). La concentración de inhibición de crecimiento del 50% de la población CI_{50} , se estimó para Cry1Ab, Cry1Ac y Vip3Aa usando PROC NLIN (Instituto SAS 2011). Adicionalmente, se calcularon las tasas de sensibilidad para estas toxinas. Tanto la colonia susceptible y resistente exhibieron una respuesta reducida a Cry1Aa, Cry1Ba y Cry2Aa, por lo tanto, la concentración mas alta posible fue usada para realizar bioensayos tomando el peso de las larvas individualmente (64 larvas por colonia). Los pesos de las larvas se transformaron a porcentaje de inhibición de crecimiento en relación al control. Para identificar diferencias de inhibición significativas entre las colonias susceptible y resistente se realizó un análisis de varianza de una vía usando PROC GLIMMIX (Instituto SAS 2011).

Frecuencia de Alelos Resistentes. Se realizó un análisis de la generación F_1 para identificar la frecuencia de alelos resistentes en poblaciones de campo de Florida y Texas, áreas en las cuales *S. frugiperda* hiberna. Un análisis F_1 implica cruzar individuos del campo de genotipo desconocido con individuos de una colonia resistente. La progenie es analizada usando bioensayos para permitir discriminación entre homocigotos resistentes (SS), homocigotos susceptibles (RR) y heterocigotos (SR) (Gould *et al.* 1997; Mahon *et al.* 2010). Para este propósito, se recolectaron poblaciones de estados inmaduros de *S. frugiperda* de Florida y Texas entre 2010 y 2011. Las larvas y huevos del campo se criaron en el laboratorio hasta alcanzar el estado de pupa. Se

determinó el sexo de las pupas bajo el esteromicroscopio. Al momento de la emergencia, un adulto del campo se depositó con uno o dos individuos del sexo opuesto de la colonia resistente en un recipiente para apareamiento. Los huevos de cada par fueron se colectaron diariamente y depositados a temperatura ambiente para permitir la emergencia de las larvas. Un mínimo de 48 neonatos por pareja fueron analizados con un bioensayo usando una concentración diagnóstico de Cry1F. La mortalidad esperada con la concentración diagnóstico es dependiente del genotipo de los individuos colectados en el campo, generando tres diferentes respuestas de mortalidad. En el primer caso, si el parental es homocigoto susceptible la progenie resultante deberá ser compuesta de heterocigotos los cuales presentan un fenotipo susceptible que resulta en una mortalidad del 100% a la concentración diagnóstico. En el segundo caso, si el parental del campo es heterocigoto, la progenie tendrá una proporción de 1:1 de heterocigotos y homocigotos resistentes, resultando en aproximadamente 50% de mortalidad a la concentración diagnóstico. En el tercer caso, si el parental es homocigoto resistente, toda la progenie será resistente y una supervivencia del 100% es esperada con la concentración diagnóstico (Figura 1) (Gould *et al.* 1997; Mahon *et al.* 2010). Las larvas de las familias que se identificaron como resistentes en la F_1 , se criaron hasta adultos y se aparearon entre ellos. La descendencia de estos cruces (segunda generación F_2) se analizó con los bioensayos diagnósticos para confirmar la presencia de alelos resistente (Gould *et al.* 1997).

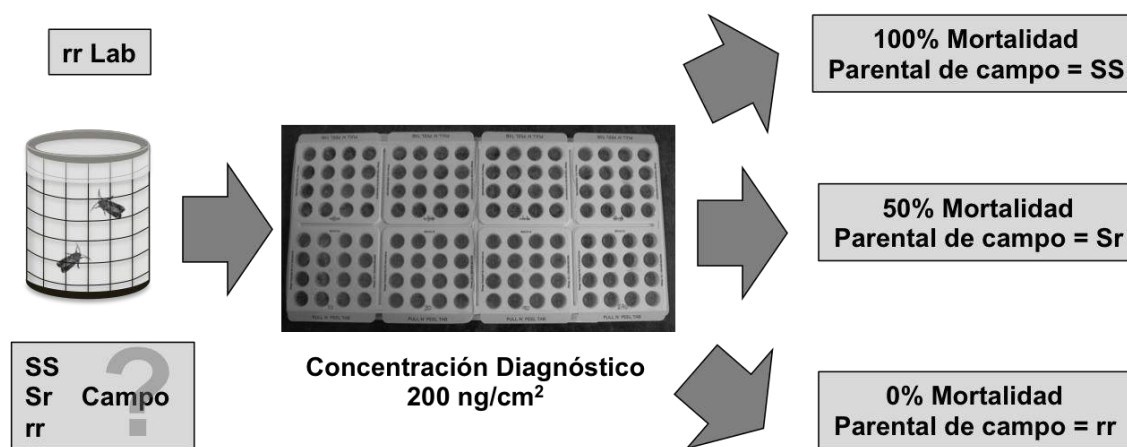


Figura 1. Esquema del experimento de segregación de alelos resistentes (r) de poblaciones de campo de Florida y Texas.

La información obtenida de los análisis F_1 se usó para estimar la frecuencia de los alelos resistentes, aplicando los métodos bayesianos descritos por Yue *et al.* (2008). Para calcular la probabilidad de un falso negativo se usó el método descrito por Wenes *et al.* (2006). Las diferencias en la frecuencia total de alelos resistentes entre Florida y Texas fue analizada usando el test exacto de Fisher.

Para analizar la prevalencia de los alelos resistentes en Puerto Rico, se colectaron huevos de *S. frugiperda* en Puerto Rico durante 2010, 2011, 2012 y 2013. Se permitió que los huevos eclosionaran y los neonatos se usaron para realizar bioensayos con la concentración diagnóstica. La frecuencia de alelos resistentes fue calculada usando la frecuencia de homocigotos de *Hardy-Weinberg* (Falconer & Mackay, 1996). La tasa de supervivencia y la frecuencia de alelos resistentes entre años se analizó con una prueba chi-cuadrado de homogeneidad.

Resultados y discusión

Niveles de Resistencia. Los bioensayos revelaron que la colonia resistente mostró un alto nivel de resistencia a Cry1F. La CL_{50} de la colonia susceptible fue 24.86 ng/cm² y para la colonia resistente mayor a 7,200 ng/cm², correspondiente a la concentración Cry1F más alta usada. Esta concentración fue utilizada para estimar la tasa de sensibilidad de la colonia resistente, indicando que presenta una resistencia 387 veces mayor a Cry1F purificada. La concentración diagnóstica calculada fue 200 ng/cm², la cual se usó para discriminar entre fenotipos susceptibles (SS y SR) y resistentes (RR).

Herencia de Resistencia. Los análisis de las curvas de mortalidad de los cruces recíprocos indicaron que la resistencia a Cry1F en *S. frugiperda* es recesiva y autosomal (Figura 2A). La hipótesis de igualdad entre los cruces recíprocos indicaron que las pendientes y los interceptos son idénticos ($\chi^2 = 5.33$; $P > 0.05$), confirmando que la resistencia es autosomal (Robertson *et al.* 2007). La dominancia fue examinada comparando las curvas de mortalidad de la generación F_1 con la colonia parental más similar, en este caso la colonia susceptible. La prueba de igualdad mostró que no hay diferencias entre las pendientes y los interceptos ($\chi^2 = 9.02$; $P > 0.05$), indicando que la resistencia a Cry1F es recesiva. Adicionalmente, el método de dominancia efectiva (D_{ML}) generó un valor de cero, confirmando que la resistencia es recesiva.

La prueba del modelo de herencia monogénica versus poligénica se realizó comparando la respuesta de la progenie del retrocruce de la generación F_1 y la colonia resistente (SR x RR), con las colonias parentales (SS y RR). La curva de respuesta del retrocruce mostró que la curva se estabilizó al 50% de la mortalidad, sugiriendo una proporción 1:1 de genotipos heterocigotos (SR) y resistentes (RR) (Fig. 2B). Adicionalmente, la prueba de herencia monogénica descrita por Tabashnik (1991) mostró que cinco de los siete valores observados no se desviaron de los valores esperados, confirmando que la resistencia a Cry1F en *S. frugiperda* es monogénica.

La resistencia a Cry1F en *S. frugiperda* es similar a una colonia resistente de *Ostrinia nubilalis* (Hübner) (Lepidoptera: Crambidae) previamente seleccionada en laboratorio. La resistencia a Cry1F en este insecto es autosomal, recesiva y conferida por un solo locus (Pereira *et al.* 2007, 2008). Se ha sugerido que la frecuencia de los alelos resistentes a Cry1F en *O. nubilalis* en el medio oeste de los Estados Unidos podría ser más alta que la anticipada, sugiriendo que los alelos resistentes podrían haber estado presentes a frecuencias relativamente altas antes de la

introducción de plantas expresando Cry1F (Siegfried com. pers). Las altas frecuencias de los alelos resistentes a Cry1F en *O. nubilalis* y *S. frugiperda* sugieren que no existe un costo en el fitness asociado con alelos resistentes Pereira *et al.* (2009) reportaron que *O. nubilalis* resistente a Cry1F no presenta un costo en el fitness y resultados similares fueron encontrados para *S. frugiperda* (Vélez *et al.* sometido). La falta de costo en el fitness de individuos que poseen alelos resistentes, esta asociada con una tendencia de los alelos resistentes a permanecer estables en las poblaciones cuando no existe presión de selección, dificultando haciendo el desarrollo de estrategias de remediación de resistencia (Vélez *et al.* sometido).

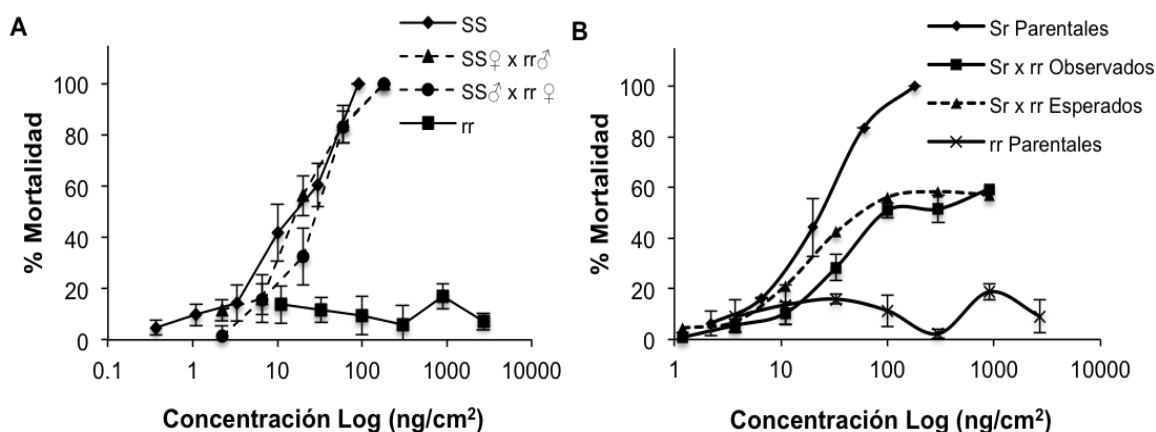


Figura 2. Curvas de mortalidad de *S. frugiperda* en respuesta a diferentes concentraciones de la proteína Cry1F (A) Curva de mortalidad de las colonia susceptible (SS), resistente (rr) y la progenie de los cruces recíprocos (SS x rr). (B) Curva de mortalidad de la F₁ (Sr), de la progenie de los retrocruces (Sr x rr), y de los parentales resistentes (rr). Las barras de error representan el error estándar de la media de la mortalidad a cada concentración.

Resistencia Cruzada. Las únicas proteínas Cry que generaron una respuesta en la colonia susceptible fueron Cry1Ab y Cry1Ac. La única toxina que generó mortalidad en la colonia susceptible fue Cry1Ab lo que permitió calcular la CL₅₀. La CL₅₀ para la colonia susceptible fue 37.46 ng/cm² y la dosis más alta usada en la colonia resistente fue 6000 ng/cm², generando una tasa de sensibilidad de mayor a 160.17 veces para mortalidad. La toxina Cry1Ac no generó mortalidad en la colonia susceptible, pero se observó inhibición de crecimiento. La CIC₅₀ para la colonia susceptible fue de 112.02 ng/cm² y para la colonia resistente correspondió a la dosis mas alta usada 15,000 ng/cm², generando una tasa de sensibilidad mayor a 133.9 veces para la inhibición de crecimiento. Los resultados de los bioensayos con Cry1Ab y Cry1Ac sugirieron que existe resistencia cruzada con Cry1Ab y Cry1Ac, aunque el nivel de resistencia es mucho más bajo que el observado para Cry1F. Estos resultados son importantes para asistir en la identificación del mecanismo de resistencia de Cry1F y para guiar decisiones de compatibilidad de toxinas para eventos expresando diferentes toxinas *Bt*. La resistencia cruzada de Cry1F con Cry1Ab y Cry1Ac

sugiere que la resistencia a Cry1F en *S. frugiperda* podría ser generada por alteraciones de receptores del intestino medio. Estudios con otras especies de Lepidoptera sugieren que las proteínas Cry1A comparten los mismos receptores que Cry1F (Ferre & Van Rie, 2012; Hernández-Martínez *et al.*, 2009; Luo *et al.* 1999).

Los resultados de los bioensayos con Cry1Aa, Cry1Ba y Cry2Aa indicaron que *S. frugiperda* no es sensible a estas toxinas, aunque la inhibición de crecimiento fue observada a concentraciones altas. La prueba *t* indicó que no existen diferencias significativas entre la colonia susceptible y resistente para Cry1Aa ($t = -0.64$; $P = 0.52$) y Cry1Ba ($t = 0.16$; $P = 0.87$). Esto indica que no existe resistencia cruzada entre Cry1Aa, Cry1Ba y Cry1F. En contraste, la colonia resistente exhibió mayor inhibición de crecimiento con Cry2Aa ($t = -4.10$; $P < 0.0001$), sugiriendo un nivel bajo de resistencia negativa de esta toxina con Cry1F. La resistencia cruzada negativa corresponde a un aumento de susceptibilidad a Cry2Aa debido a la resistencia a Cry1F. Sin embargo, las diferencias encontradas fueron leves y la indicación de resistencia cruzada negativa entre Cry2Aa y Cry1F es incierta.

Los resultados de los bioensayos con Vip3Aa indicaron una CL_{50} de 25.77 ng/cm² para la colonia susceptible y de 34.38 ng/cm² para la colonia resistente. La hipótesis de igualdad para mortalidad entre la colonia resistente y la susceptible indicaron que los interceptos y pendientes son iguales ($\chi^2 = 5.5$; $P > 0.05$), sugiriendo que no existe resistencia cruzada entre Vip3Aa y Cry1F. Estos resultados soportan experimentos previos los cuales indican que Cry1F y Vip3Aa no comparten el mismo receptor (Sena *et al.* 2009). Por esta razón, la toxina Vip3Aa tiene un alto potencial para controlar poblaciones de *S. frugiperda* resistentes a Cry1F. De igual forma, esta toxina puede ser usada junto con Cry1F en eventos transgénicos expresando mas de una toxina *Bt*.

Frecuencia de Alelos Resistentes. La naturaleza de la herencia de Cry1F en *S. frugiperda*, autosomal, recesiva y conferida por un solo locus, permite el uso del análisis de la F_1 como una herramienta eficiente para detectar alelos resistentes en poblaciones de campo. Los alelos resistentes a Cry1F fueron encontrados con mayor frecuencia en la Florida que en Texas durante los dos años de evaluación (Tabla 1). En el 2010, cinco individuos heterocigotos fueron encontrados en *Palm Beach* Florida representando una frecuencia de alelos resistentes de 0.122. En el 2011 se encontraron seis individuos heterocigotos y tres homocigotos resistentes en *Palm Beach* Florida, resultando en una frecuencia de 0.2472. En *Hendry County* Florida se encontraron dos individuos heterocigotos resultando en una frecuencia de 0.0531. A pesar de que estas localidades se encuentran a aproximadamente de 113 kilómetros de distancia, se encontraron diferencias significativas en la frecuencia de alelos resistentes de estas poblaciones. Para Texas, no se encontraron alelos resistentes a Cry1F en 2010. Sin embargo, en 2011 un individuo homocigoto resistente fue encontrado en el condado de *Hidalgo* Texas, generando una frecuencia de alelos resistentes de 0.0247. En el condado de *Nueces* Texas se encontró un individuo heterocigoto, resultando en una frecuencia de 0.01056. El test de Fisher indico que existen diferencias en la frecuencia de alelos resistentes entre los dos estados ($P < 0.0001$). Se encontró que cuando la

mortalidad en el controles es del 10% y el número total de larvas de la F_1 es 30, la probabilidad de encontrar un falso negativo por cruce es de 1.6×10^{-8} lo cual sugiere una alta probabilidad de detección (Wenes *et al.* 2006). Los resultados de este test sugieren que los alelos resistentes detectados en Florida y Texas son los mismos alelos observados en Puerto Rico. Con base en estos resultados, la frecuencia de alelos resistente en Florida puede ser tan alta como del 13% y pueden existir diferencias entre poblaciones locales. Estos porcentaje son mas alto de lo esperado y por esta razón es importante continuar el monitoreo tanto de las frecuencias de alelos resistentes como de los reportes de daño a maíz Cry1F. Aunque la frecuencia de resistencia entre poblaciones de Texas fue mucho más baja (0.02), se detectó la presencia de alelos resistentes.

Los resultados de la frecuencia de alelos resistentes en Florida y Texas son consistentes con estudios de flujo genético basados en haplotipos mitocondriales, donde se sugiere que intercambio genético ocurre entre Puerto Rico y Florida pero el intercambio genético entre Florida y Texas es limitado (Nagoshi *et al.*, 2010; Nagoshi *et al.*, 2012). La migración de individuos resistentes de Puerto Rico, puede ser una de las razones de la frecuencia relativamente alta de alelos resistentes en el sur de la Florida. Aunque la selección local también podría estar afectando frecuencias de alelos resistentes. Adicionalmente, presiones de selección previas generadas por el uso de *Bt* foliares, y/o selección local con maíz Cry1F, podría haber afectado la frecuencia de los alelos resistentes. Desafortunadamente, es difícil determinar la cantidad de maíz Cry1F plantado en el sur de la Florida. Diferencias locales entre condados puede ser el resultado de diferencias en área plantadas de maíz Cry1F las cuales generan diferentes presiones de selección. Es necesario el desarrollo de estudios adicionales para concluir los factores que favorecen las diferencias en las frecuencias de alelos resistentes entre Florida y Texas, y a nivel local en la Florida.

Tabla 1. Frecuencia de los alelos resistentes Cry1F en poblaciones de *S. frugiperda* de Florida y Texas durante 2010 y 2011.

Año	Locación	Familias Evaluadas	Alelos Resistentes		$E[P_R]^a$ (95% IC)
			Sr	rr	
2010	Palm Beach, FL	24	5	0	0.1229 (0.0468 - 0.2035)
2011	Palm Beach, FL	28	6	3	0.2472 (0.1322 - 0.3053)
	Hendry, FL	27	2	0	0.0531 (0.0113 - 0.1175)
Total		79	13	3	0.1322 (0.0799 - 0.1729) ^b
2010	Lubbock, TX	20	0	0	0.0000
	Lubbock, TX	3	0	0	0.0000
	Hidalgo, TX	39	1	0	0.0247 (0.0031 - 0.0658)
2011	Hidalgo, TX	23	0	0	0.0000
	Nueces, TX	13	0	1	0.1056 (0.0233 - 0.2141)
Total		99	1	1	0.0200 (0.0055 - 0.0426) ^b

^a Frecuencia de alelos resistentes. ^b Frecuencia de alelos resistentes $E[P_R]$ en Florida significativamente diferente a Texas (Test exacto de Fisher, $P < 0.0001$).

Los bioensayos realizados con los neonatos colectados en maíz de Puerto Rico en 2010, 2011, 2012 y 2013 indicaron que la proporción de supervivencia y la frecuencia de alelos resistentes cambió entre años ($\chi^2 = 44.92$; $P < 0.0001$) (Tabla 2). Sin embargo, a pesar de la fluctuación entre años, los niveles de resistencia se mantuvieron altos y constantes, con una baja frecuencia de los alelos susceptibles. Estos resultados pueden no reflejar todas las poblaciones de *S. frugiperda* en Puerto Rico. Estudios previos en dos diferentes localidades en Puerto Rico, Santa Isabel y Lajas, sugieren la ausencia de alelos susceptibles a Cry1F (Storer *et al.* 2012).

Tabla 2. Frecuencias de los alelos resistentes Cry1F en poblaciones de *S. frugiperda* de Juana Díaz Puerto Rico durante 2010, 2011, 2012 y 2013.

Año	Número de Insectos Analizados	Supervivencia	Frecuencia de Alelos Resistentes ^a
2010	48	35	0.854
2011	224	182	0.901
2012	1118	808	0.85
2013	671	574	0.925

^a Frecuencia de alelos resistentes calculados usando la frecuencia de homocigotos de Hardy-Weinberg ($q^2 = \sqrt{q}$). La proporción de supervivencia y frecuencia de alelos resistentes cambió significativamente entre años (χ^2 para homogeneidad = 44.92, $P < 0.0001$).

Conclusiones

Los resultados de este trabajo sugieren que existe un riesgo de evolución de resistencia a maíz Cry1F en poblaciones de *S. frugiperda* fuera de Puerto Rico. Sin embargo, debido a que la resistencia es recesiva su evolución se puede retrasar con el uso adecuado de los refugios requeridos para el manejo integrado de resistencia (Gould 1998). Actualmente en el sur de Estados Unidos se requiere de un 50% de refugio para el uso de maíz transgénico. El uso de esta estrategia junto con plantas que expresan toxinas con diferentes modos de acción efectivos para el manejo de *S. frugiperda* puede ayudar a reducir la propagación de los alelos resistentes (Adamczyk y Mahaffey 2008; Storer *et al.* 2012). Hasta la fecha, no existen reportes de efectividad reducida a maíz Cry1F en Florida o Texas (Tabashnik *et al.* 2009; Hardke *et al.* 2011; Storer *et al.* 2012). No obstante, la implementación de programas de monitoreo de resistencia, junto con el seguimiento de daño a maíz Cry1F debe ser una prioridad. Si la reducción en eficacia de este producto esta ligada a cambios en la frecuencia de alelos resistentes, sería necesario tomar acciones para limitar la supervivencia y dispersión de individuos portadores del alelo resistente (Siegfried *et al.* 2007). Adicionalmente, Storer *et al.* (2012) sugiere el uso de insecticidas sintéticos cuando las poblaciones de *S. frugiperda* son altas para ayudar a reducir la frecuencia de alelos resistentes.

Estudios adicionales sobre la biología de *S. frugiperda* resistente a Cry1F (comportamiento y migración) ayudarán a generar un mejor entendimiento de la evolución de resistencia a Cry1F en *S. frugiperda* en Puerto Rico. El entendimiento de la evolución de resistencia en *S. frugiperda* proporcionará bases para la predicción de problemas futuros con este insecto y asistirá en el desarrollo de mejores estrategias de manejo de resistencia de actuales y futuros cultivos transgénicos *Bt*. La información adquirida de *S. frugiperda* resistente a Cry1F de Puerto Rico guiará estrategias de manejo de resistencia en Latino América donde este insecto es una plaga importante de maíz y algodón. Es importante tener en cuenta que el uso creciente de cultivos *Bt* en Latino América sugiere la necesidad de generar programas de manejo de resistencia diseñados para áreas tropicales donde la producción de cultivos y la presión de selección es continua.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Carolina Camargo, Rita Isabel Vélez y la Dra. Paula Sepúlveda por su asistencia con el manuscrito. Los autores agradecen a Dupont Pioneer por proporcionar la colonia resistente de *S. frugiperda* de Puerto Rico y la toxina Cry1F usada en los bioensayos. A Syngenta por proporcionar la toxina Vip3Aa. A Dr. Pat Porter, Dr. Noel Troxclair and Monti Vandiver de Texas AgriLife Research and Extension por las colecciones de *S. frugiperda* de Texas en 2010. A Taurino Trujillo, Jorge Guzman y Dr. Marlin Rice de Dupont Pioneer por asistir con colecciones de *S. frugiperda* en Texas en 2011.

Literatura Citada

- ADAMCZYK, J. J.; MAHAFFEY, J. S. 2008. Efficacy of Vip3A and Cry1Ab transgenic traits in cotton against various Lepidopteran pests. *Florida Entomologist* 91: 570-574.
- BOURGUET, D., GENISSEL, A.; RAYMOND, M. 2000. Insecticide resistance and dominance levels. *Journal of Economic Entomology* 93: 1588-1595.
- BUNTIN, G. D. 2008. Corn expressing Cry1Ab or Cry1F endotoxin for fall armyworm and corn earworm (Lepidoptera: Noctuidae) management in field corn for grain production. *Florida Entomologist* 91: 523-530.
- FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. 1996. Introduction to quantitative genetics. Fourth Edition. Pearson, Prentice Hall.
- FERRÉ, J.; VAN RIE, J. 2002. Biochemistry and genetics of insect resistance to *Bacillus thuringiensis*. *Annual Review of Entomology* 47: 501-533.
- FINNEY, D. J. 1971. Probit analysis. 3rd ed. Cambridge, Cambridge University Press.
- GEORGHIOU, G. P. 1969. Parasitological review: genetics of resistance to insecticide in houseflies and mosquitoes. *Experimental Parasitology* 26: 224-255.
- GOULD, F., ANDERSON, A., JONES, A., SUMMERFORD, D. HECKEL; D. G., LOPEZ, J., MICINSKI, S., LEONARD, R.; LASTER, M. 1997 Initial frequency of alleles for resistance to *Bacillus thuringiensis* toxins in field populations of *Heliothis virescens*. *Proceedings of the National Academy of Science* 94: 3519-3523.

- GOULD, F. 1998. Sustainability of transgenic insecticidal cultivars: integrating pest genetics and ecology. *Annual Review of Entomology* 43: 701-726.
- HARDKE, J. T., LEONARD, B. R. HUANG, F.; JACKSON, R. E. 2011. Damage and survivorship of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) on transgenic field corn expressing *Bacillus thuringiensis* Cry proteins. *Crop Protection* 30: 168-172.
- HERNÁNDEZ-MARTÍNEZ, P., FERRÉ, J.; ESCRICHE, B. 2009. Broad spectrum cross-resistance in *Spodoptera exigua* from selection with a marginally toxic Cry protein. *Pest Management Science* 65: 645-650.
- JAMES, C. 2009. Global status of commercialized Biotech/GM crops: 2008. ISAAA Brief No. 39. International Service for the Acquisition of Ag-biotech Applications, Ithaca, NY.
- LEORA SOFTWARE. 1987. POLO-PC: A user's Guide to Probit and Logit Analysis, Berkeley, CA.
- LUO, K., BANKS, D.; ADANG, M. J. 1999. Toxicity, binding, and permeability analyses of four *Bacillus thuringiensis* Cry1 δ -endotoxins using brush border membrane vesicles of *Spodoptera exigua* and *Spodoptera frugiperda*. *Applied Environmental Microbiology* 65: 457-464.
- MARÇON, P. C. R. G., SIEGFRIED, B. D., SPENCER, T.; HUTCHISON, W. D. 2000. Development of diagnostic concentrations for monitoring *Bacillus thuringiensis* resistance in European corn borer (Lepidoptera: Crambidae). *Journal of Economic Entomology* 93: 925-930.
- MAHON, R. J., DOWNES, S., JAMES, W.; PARKER, T. 2010. Why do F₁ screens estimate higher frequencies of Cry2Ab resistance in *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) than do F₂ screens? *Journal of Economic Entomology* 103: 472-481.
- MATTEN, S.R, HEAD, G. P.; QUEMADA, H. D. 2008. How governmental regulation can help or hinder the integration of *Bt* crops into IPM programs pp. 27-39 in Romeis, J., Shelton, A. M. & Kennedy, G. G. S. (Eds.) *Integration of Insect-Resistant Genetically Modified Crops within IPM Programs*. Springer, New York.
- MCKENZIE, J. A. 1996. Ecological and evolutionary aspects of insecticide resistance. R. G. lands Company and Academic, Austin, TX.
- MITCHELL, E. R, MCNEIL, J. N., WESTBROOK, J. K., SILVAIN, J. F., LALANNE-CASSOU, B., CHALFANT, R. B., PAIR, S. D., WADDILL, V. H., SOTOMAYOR-RIOS, A.; PROSHOLD, F. I. 1991. Seasonal periodicity of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) in the Caribbean Basin and northward to Canada. *Journal of Entomological Science* 26: 39-50.
- NAGOSHI, R. N., MEAGHER, R. L.; JENKINS, D. A. 2010. Puerto Rico Fall Armyworm has only limited interactions with those from Brazil or Texas but could have substantial exchanges with Florida populations. *Journal of Economic Entomology* 103: 360-367.
- NAGOSHI, R. N., MEAGHER, R. L.; HAY-ROE, M. 2012. Inferring the annual migration patterns of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) in the United States from mitochondrial haplotypes. *Ecology and Evolution* 2: 1458-1467.
- PEREIRA, E. J. G., LANG, B. A., STORER, N. P. & SIEGFRIED B. D. 2007. Selection for Cry1F resistance in the European corn borer and cross-resistance to other Cry toxins. *Entomology Experimentalis et Applicata* 126: 115-121.
- PEREIRA, E. J. G., STORER, N. P.; SIEGFRIED, B. D. 2008. Inheritance of Cry1F resistance in laboratory-selected European corn borer and its survival on transgenic corn expressing the Cry1F toxin. *Bulletin of Entomological Research* 98: 621-629.
- PEREIRA, E. J. G., STORER, N. P.; SIEGFRIED, B. D. 2009. Fitness costs of Cry1F resistance in laboratory-selected European corn borer (Lepidoptera: Crambidae). *Journal of Applied Entomology* 132: 1-8.

- PERKINS, W.D. 1979. Laboratory rearing of the fall armyworm. *Florida Entomologist* 62: 87-90.
- PREISLER, H. K., HOY, M. A.; ROBERTSON, J. L. 1990. Statistical analysis of modes of inheritance for pesticide resistance. *Journal of Economic Entomology* 83: 1649-1655.
- ROBERTSON, J. L., PREISLER, H. K., NG, S. S., HICKLE, L. A.; GELERTNER, W. D. 1995. Natural variation – a complication factor in bioassays with chemical and microbial pesticides. *Journal of Economic Entomology* 88: 1-10.
- ROBERTSON, J. L., RUSSEL, R. M., PREISLER, H. K.; SAVIN, N. E. 2007. *Bioassays with Arthropods*. Second Edition. CRC Press.
- ROUSH, R. T.; DALY, J. C. 1990. The role of population genetics in resistance research and management, pp. 97-152 in: Roush, R.T. & Tabashnik, B. E. (Eds.) *Pesticide resistance in arthropods*. Chapman & Hall, New York.
- SAS INSTITUTE. 2011. SAS user's manual, version 9.3. SAS Institute, Cary NC.
- SENA, J. D. A., HERNANDEZ-RODRIGUEZ, C. S.; FERRÉ, J. 2009. Interaction of *Bacillus thuringiensis* Cry1 and Vip3A proteins with *Spodoptera frugiperda* midgut binding sites. *Applied Environmental Microbiology* 75: 2236-2237.
- SHELTON, A. M., ZHAO, J. Z.; ROUSH, R. T. 2002. Economic, ecological, food safety, and social consequences of the deployment of *Bt* transgenic plants. *Annual Review of Entomology* 47: 845-881.
- SIEBERT, M., BABOCK, J. M., NOLTING, S., SANTOS, A. C., ADAMCZYK, J. J., NEESE, P. A., KING, J. E., JENKINS, J. N., MCCARTY, J., LORENZ, G. M., FROMME, D. D.; LASSITER, R. B. 2008. Efficacy of Cry1F insecticidal protein in maize and cotton for control of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). *Florida Entomology* 91: 555-565.
- SIEGFRIED, B. D., SPENCER, T., CRESPO, A. L., STORER, N. P., HEAD, G. P., OWENS, E. D.; GUYER, D. 2007. Ten years of *Bt* resistance monitoring in the European corn borer. *American Entomologist* 53: 208-214.
- SPARKS, A. N. 1979. A review of the biology of the fall armyworm. *Florida Entomologist* 62: 82-87.
- STORER, N. P., BABCOCK, J. M., SCHLENZ, M., MEADE, T., THOMPSON, G. D. BING, J. W.; HUCKABA, R. M. 2010. Discovery and characterization of field resistance to *Bt* maize: *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Puerto Rico. *Journal of Economic Entomology* 103: 1031-1038.
- STORER, N.P., KUBISZAK, M.E., KING, E., THOMPSON, G. D.; SANTOS, A. C. 2012. Status of resistance to *Bt* maize in *Spodoptera frugiperda*: lessons from Puerto Rico. *Journal of Invertebrate Pathology* 110: 294-300.
- TABASHNIK, B. E. 1991. Determining the mode of inheritance of pesticide resistance with backcross experiments. *Journal of Economic Entomology* 84: 703-712.
- TABASHNIK, B. E., SCHWARTZ, J. M., FINSON, N.; JOHNSON, M. W. 1992. Inheritance of resistance to *Bacillus thuringiensis* in diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). *Journal of Economic Entomology* 85: 1046-1055.
- TABASHNIK, B. E., VAN RENSBERG, J. B. J.; CARRIÈRE, Y. 2009. Field-evolved insect resistance to *Bt* crops: definition, theory, and data. *Journal of Economic Entomology* 102: 211-2025.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 2001. Insect Resistance Management, in *Biopesticides Registration Action Document-Bacillus thuringiensis* Plant-Incorporated Protectants. http://www.epa.gov/opppbd1/biopesticides/pips/bt_brad2/4-irm.pdf
- VAN RIE, J. 1991. Insect control with transgenic plants: resistance proof? *Trends in Biotechnology* 9: 177-179.

- WENES, A. L., BOURGUET, D., ANDOW, D. A., COURTIN, C., CARRÉ, G., LORME, P., SANCHEZ, L.; AGUSTIN, S. 2006. Frequency and fitness cost of resistance to *Bacillus thuringiensis* in *Chrysomela tremulae* (Coleoptera: Chrysomelidae). *Heredity* 97: 127-134.
- YUE, B., HUANG, F., LEONARD, B. R., MOORE, S., PARKER, R., ANDOW, D. A., COOK, D., EMFINGER, K.; LEE, D. R. 2008. Verifying an F₁ screen for identification and quantification of rare *Bacillus thuringiensis* resistance alleles in field populations of the sugarcane borer, *Diatraea saccharalis*. *Entomology Experimentalis et Applicata* 129: 172-180.

Nuevas aplicaciones biotecnológicas de *Bacillus thuringiensis* subespecie *medellin* (Bacillales: Bacillaceae)

Sergio Orduz¹ y Viktor Lemesko²

Ph.D. Escuela de Biociencias, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín,

² Ph.D., D.Sc. Escuela de Física, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.

Resumen. El estudio de las toxinas de la bacteria Gram positiva *Bacillus thuringiensis* subespecie *medellin* indica que su sitio de acción es en la parte posterior del intestino medio. Igualmente el clonaje y secuenciación de los genes de estas toxinas ha permitido conocer la estructura tridimensional de al menos la toxina Cry11Bb. La evaluación de péptidos derivados de regiones del dominio I de ésta toxina indica que al menos dos péptidos tienen actividad insecticida, antimicrobiana y antitumoral. El desarrollo y aplicación de herramientas computacionales se convierte en un instrumento nuevo para el estudio de las toxinas Cry y de cualquier proteína, con el objeto de analizar sus secuencias en la búsqueda de nuevas sustancias bioactivas de utilidad en salud pública y en agricultura.

Palabras clave: *Bacillus thuringiensis*, toxinas Cry, péptidos insecticidas, péptidos antimicrobianos.

Bacillus thuringiensis (Bt) es una bacteria gram positiva, aeróbica, esporulada, que produce cristales paraesporales constituidos de proteínas sintetizadas al momento de la formación de esporas. Esta bacteria ha sido usada para el desarrollo de biopesticidas desde 1940 para el control de insectos plaga en agricultura y más recientemente para el control de dípteros vectores de enfermedades. Sus cristales paraesporales contienen diferentes tipos de proteínas, algunas de las cuales son tóxicas para insectos cuando son ingeridas. Los insectos que se ven afectados por estas proteínas tóxicas pertenecen principalmente a los órdenes Lepidoptera, Diptera y Coleoptera. Aunque existen algunos reportes de actividad contra otros grupos de insectos como Hymenoptera y Homoptera y también se ha reportado actividad contra nematodos, ácaros y algunas líneas tumorales.

A la fecha se han descrito 72 tipos de toxinas Cry producidas por cepas de Bt aisladas de prácticamente todo el mundo. Esta información se encuentra en la base de datos del profesor Neil Crickmore de la Universidad de Sussex en Inglaterra (http://www.lifesci.sussex.ac.uk/home/Neil_Crickmore/Bt/). También se puede consultar la especificidad de cada una las toxinas de Bt en la base de datos, Natural Resources Canada (<http://www.glfc.forestry.ca/bacillus/>).

Se conoce la estructura tridimensional de siete diferentes toxinas deducidas por cristalografía de rayos X (Cry1Aa, Cry2Aa, Cry3Aa, Cry3Ba, Cry4Aa, Cry4Ba y Cry8Ea) y de otras cuantas deducidas por modelamiento homólogo. En todas ellas se reconocen 3 dominios; el dominio I está conformado por un barril de 7 hélices α y está implicado en la inserción en la membrana, oligomerización de la toxina y en la formación de poros. El dominio II es un prisma β , mientras que el III está formado por un sándwich de dos hojas β antiparalelas. Los dominios II y III están implicados en la especificidad mediada por interacciones específicas con varias proteínas del epitelio intestinal de los insectos susceptibles (Bravo *et al.*, 2007). La estructura tridimensional entre las diferentes toxinas de la familia Cry es conservada, lo que sugiere que tal

vez el mecanismo de acción también lo sea, a pesar de entre ellas haya una baja similaridad a nivel de secuencia de aminoácidos.

El mecanismo general de acción para las toxinas Cry incluye los siguientes eventos, ingestión, solubilización de los cristales que contienen las protoxinas en el medio alcalino y reductor del intestino medio del insecto, activación de la toxina por proteólisis, reconocimiento y unión a receptores específicos, seguido por la inserción de las hélices α 4 y 5 del dominio I en la membrana del epitelio intestinal, oligomerización y la formación de poros que conduce a la muerte celular por desequilibrio osmótico (Schnepf *et al.* 1998).

Otro mecanismo de acción se ha sugerido recientemente para las toxinas Cry de Bt; por ejemplo, Zhang *et al.*, (2006) han propuesto que la toxina Cry1Ab tras la unión al receptor de cadherina, provoca la estimulación de la subunidad α de la proteína G y de la adenilato ciclasa en células transfectadas de *Trichoplusia ni* que expresan el receptor de cadherina, BT-R1, que a su vez estimula la producción de altos niveles de AMPc y la activación de la proteína quinasa A, situación que desencadena la muerte celular después de la aparición de protuberancias en la membrana celular.

Las subespecies de Bt, *israelensis*, *jegathesan* y *medellin* son altamente tóxicas para las diferentes especies de mosquitos de los géneros *Aedes*, *Anopheles* y *Culex*. Aunque varios receptores han sido identificados para las toxinas Cry11Aa y Cry11Ba en larvas de mosquitos, que incluyen cadherina (Chen *et al.* 2009), aminopeptidasa N (Chen *et al.* 2009) y fosfatasa alcalina (Fernández *et al.* 2009); Leetacheva *et al.* (2006) y Puntheeranurak *et al.* (2004) han demostrado que fragmentos de dominio I, específicamente las horquillas α 4- α 5 y α 1- α 5, de la toxina Cry4B, permeabilizan liposomas unilamelares e inducen la formación de poros en bicapas lipídicas planas; y recientemente Rodríguez-Almazan *et al.* (2012) han demostrado que al menos la toxina Cry4Ba, no requiere la unión a un receptor para formar oligómeros, y así causar toxicidad en larvas de *Ae. aegypti*.

***Bacillus thuringiensis* subespecie medellin**

B. thuringiensis subespecie *medellin* (Btm) fue reportada en Colombia (Orduz *et al.* 1992) y produce toxinas activas contra larvas de mosquito como *Ae. aegypti*, *An. albimanus* y *Cx. quinquefasciatus*, que son vectores de importantes enfermedades para los humanos. Las proteínas contenidas en los cristales paraesporales de Btm fueron descritas inicialmente por Orduz *et al.* (1994). Esta bacteria produce las toxinas Cry11Bb (Orduz *et al.*, 1998), Cry29A, Cry30A (Juárez-Perez *et al.*, 2003) y Cyt1Ab1 (Thiery *et al.*, 1998).

Otros estudios indican que la protoxina Cry11Bb se activa, in vivo e in vitro, por procesamiento proteolítico a una toxina de 65 kDa compuesta de 2 fragmentos de 30 y 35 kDa. Este procesamiento genera un fragmento de 56 aminoácidos del extremo N terminal cuando la toxina Cry11Bb se trata con tripsina y de 60 aminoácidos cuando se trata con extracto de proteasas de intestino de *Cx. quinquefasciatus* (Segura *et al.*, 2001). Igualmente en el 2001, Gutierrez *et al.* construyeron un modelo tridimensional teórico por homología computacional de la toxina Cr11Bb de Btm, en donde se observan los dominios I, II y III característicos de las toxinas Cry deducidos por cristalografía de rayos X. En el 2004, Ruiz *et al.* determinaron que el sitio de acción de la toxina Cry11Bb era el intestino medio posterior de las larvas de mosquito.

Posteriormente y basados en esta información, diseñamos péptidos que en la mayoría de los casos correspondían a cada una de las 7 hélices α del dominio I. Estos péptidos fueron ensayados en mitocondrias de hígado de rata y se encontró que algunos de ellos, especialmente el BTM-P1, causan poros en la membrana mitocondrial, produciendo hinchamiento (Lemeshko *et al.*, 2005). Así mismo demostramos que

este péptido tiene propiedades antimicrobianas a una concentración de 7.1 μM , tanto en bacterias Gram positivas como Gram negativas (Lemeshko *et al.*, 2006), y que su estructura tridimensional obtenida por resonancia magnética nuclear era de tipo α helicoidal (Segura *et al.* 2007).

Posteriormente hemos demostrado que éste péptido policatiónico, anfipático de 26 aminoácidos (BTM-P1) mata larvas de mosquito en concentraciones de 5 y 10 μM , lo cual se constituye en el primer reporte que un fragmento tan pequeño, derivado de una toxina Cry, sea tóxico para larvas de mosquito. Igualmente demostramos que la atracción eléctrica es la principal fuerza que atrae el péptido a las membranas del intestino medio de larvas de mosquito y que no se necesita la unión a un receptor (Lemeshko y Orduz 2013a).

De igual manera hemos desarrollado un nuevo péptido de 33 aminoácidos (BTM-P4) igualmente policatiónico y anfipático, que es activo no solamente contra bacterias, sino que además es activo contra hongos filamentosos y levaduras. Igualmente tiene actividad contra larvas de mosquito y contra algunas líneas tumorales (Lemeshko y Orduz 2013b).

Herramientas bioinformáticas para la búsqueda de nuevos péptidos en toxinas Cry y en otras proteínas.

La búsqueda de péptidos bioactivos en organismos es un ejercicio altamente demandante de tiempo y dinero. Por ésta razón algunos grupos de investigación han desarrollado herramientas bioinformáticas con el propósito de hacer el trabajo de bioprospección menos costoso y más eficiente. Algunos se encuentran disponibles en la red (<http://bioware.ucd.ie/~compass/> biowareweb/), mientras que otros no están disponibles para el público (Amaral *et al.* 2012). Este año, nuestro grupo de investigación desarrolló un algoritmo en Java que permite analizar cualquier secuencia de proteína y seleccionar candidatos de péptidos bioactivos (Betancur *et al.* 2013), (Figura 1).

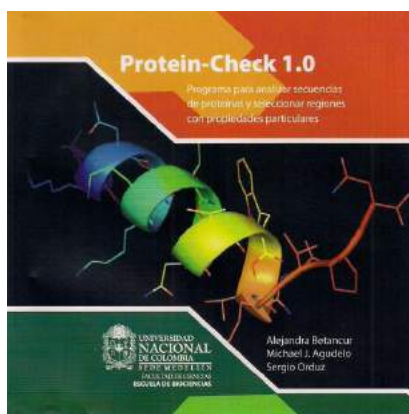


Figura 1. Portada del programa ProteinCheck 1.0.

El algoritmo permite seleccionar la longitud del péptido, así como su carga neta y su hidrofobicidad. Para validar el algoritmo, analizamos las proteínas Cry11Bb, Histona 2A y Lactoferrina de donde provienen los péptidos antimicrobianos BTM-P1 (Lemeshko *et al.* 2006), Buforina II (Cho *et al.* 2009) y Lactoferricina

(Gifford *et al.* 2005). En todos los casos, el algoritmo encontró cada uno de estos péptidos y además de otros posibles candidatos.

Agradecimientos

Los resultados aquí presentados han sido obtenidos en trabajos realizados con proyectos financiados por Colciencias y por la Universidad Nacional de Colombia.

Literatura citada

- AMARAL, A.C.; SILVA, O.N.; MUNDIM, N.C.; DE CARVALHO, M.J.; MIGLIOLO, L.; LEITE, J.R.; PRATES, M.V.; BOCCA, A.L.; FRANCO, O.L.; FELIPE, M.S. 2012. Predicting antimicrobial peptides from eukaryotic genomes: in silico strategies to develop antibiotics. *Peptides* 37 (2): 301-318.
- BETANCUR, A.; AGUDELO, M.J.; ORDUZ, S. 2013. ProteinCheck 1.0. Programa para analizar secuencias de proteínas y seleccionar regiones con propiedades particulares. Dirección Nacional de Derechos de Autor de Colombia. (Registro de software en proceso).
- BRAVO, A.; GILL, S. S.; SOBERON, M. 2007. Mode of action of *Bacillus thuringiensis* Cry and Cyt toxins and their potential for insect control. *Toxicon* 49: 423-435.
- CHEN, J.; AIMANOVA, K.G.; PAN, S.; GILL, S.S. 2009. Identification and characterization of *Aedes aegypti* aminopeptidase N as a putative receptor of *Bacillus thuringiensis* Cry11A toxin. *Insect Biochemistry and Molecular Biology* 39: 688-696.
- CHO, J.H.; SUNG, B.H.; KIM, S.C. 2009. Buforins: histone H2A-derived antimicrobial peptides from toad stomach. *Biochimica et Biophysica Acta* 1788 (8): 1564-1569.
- FERNANDEZ, L.E.; MARTINEZ-ANAYA, C.; LIRA, E.; CHEN, J.; EVANS, A.; HERNANDEZ-MARTINEZ, S.; LANZ-MENDOZA, H.; BRAVO, A.; GILL, S.S.; SOBERON, M. 2009. Cloning and epitope mapping of Cry11Aa-binding sites in the Cry11Aa-receptor alkaline phosphatase from *Aedes aegypti*. *Biochemistry* 48:8 899-8907.
- GIFFORD, J.L.; HUNTER, H.N.; VOGEL, H.J. 2005. Lactoferricin: a lactoferrin-derived peptide with antimicrobial, antiviral, antitumor and immunological properties. *Cellular and Molecular Life Sciences*. 62 (22): 2588-2598.
- GUTIERREZ, P.; ALZATE, O.; ORDUZ, S. 2001. A theoretical model of the tridimensional structure of the Cry11Bb toxin from *Bacillus thuringiensis* subsp. *medellin* deduced by homology modelling. *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz* 96: 357-364.
- JUÁREZ-PÉREZ, V.; PORCAR, M.; ORDUZ, S.; DELÉCLUSE, A. 2003. Cry29A and Cry30A: Two novel δ -endotoxins isolated from a *Bacillus thuringiensis* highly mosquitocidal strain. *Systematic and Applied Microbiology* 26: 502-504.
- LEETACHEWA, S.; KATZENMEIER, G.; ANG SUTHANASOMBAT, C. 2006. Novel preparation and characterization of the alpha4-loop-alpha5 membrane-perturbing peptide from the *Bacillus thuringiensis* Cry4Ba delta-endotoxin. *Journal of Biochemistry and Molecular Biology* 39: 270-277.
- LEMESHKO, V.; ARIAS M.; ORDUZ, S. 2005. Mitochondria permeabilization by a novel polycation peptide BTM-P1. *Journal of Biological Chemistry* 280: 15579-15586.
- LEMESHKO, V.V.; ORDUZ, S. 2013a. Electrical hypothesis of toxicity of the Cry toxins for mosquito larvae. *Bioscience Reports* 33 (1): 125-136.
- LEMESHKO, V.V.; ORDUZ, S. 2013b. Péptido sintético policatiónico con propiedades ionofóricas, antimicrobianas, antitumorales e insecticidas. Superintendencia de Industria y Comercio de Colombia (Registro de patente en proceso).

- LEMESHKO, V.; ORDUZ, S.; SEGURA, C.; GUZMAN, F.; PATARROYO, M.E. 2006. Synthetic peptide having an ionophoric and antimicrobial activity. United States Patent and Trademark Office patent number 7.041.647 B2.
- ORDUZ, S.; DIAZ, T.; THIÉRY, I.; CHARLES, J.-F.; ROJAS, W. 1994. Crystal proteins from *Bacillus thuringiensis* subspecies *medellin*. Applied Microbiology and Biotechnology 40: 794-799.
- ORDUZ, S.; REALPE, M.; ARANGO, R.; MURILLO, L.A.; DELÉCLUSE, A. 1998. Sequence of the *cry11Bb* gene from *Bacillus thuringiensis* subsp. *medellin* and toxicity analysis of its encoded protein. Biochemica et Biophysica Acta 1388: 267-272.
- ORDUZ, S.; ROJAS, W.; CORREA, M.M.; MONTOYA, A.E.; DE BARJAC, H. 1992. A new subspecies of *Bacillus thuringiensis* from Colombia, toxic to mosquito larvae. Journal of Invertebrate Pathology 59: 99-103.
- PUNTHEERANURAK, T.; UAWITHYA, P.; POTVIN, L.; ASGSUTHANASOMBAT, C.; SCHWARTZ, J.L. 2004. Ion channels formed in planar lipid bilayers by the dipteran-specific Cry4B *Bacillus thuringiensis* toxin and its alpha1-alpha5 fragment. Molecular Membrane Biology 21: 67-74.
- RODRIGUEZ-ALMAZAN, C.; REYES, E.Z.; ZÚÑIGA-NAVARRETE, F.; MUÑOZ-GARAY, C.; GÓMEZ, I.; EVANS, A.M.; LIKITVIVATANAVONG, S.; BRAVO, A.; GILL, S.S.; SOBERON, M. 2012. Cadherin binding is not a limiting step for *Bacillus thuringiensis* subsp. *israelensis* Cry4Ba toxicity to *Aedes aegypti* larvae. Biochemistry Journal 14: 711-717.
- RUIZ, L. M.; SEGURA, C.; TRUJILLO, J.; ORDUZ, S. 2004. In vivo binding of the Cry11Bb toxin of *Bacillus thuringiensis* subsp. *medellin* to the midgut of mosquito larvae (Diptera: Culicidae). Memorias do Instituto Oswaldo Cruz 99: 73-79.
- SCHNEPF, E.; CRICKMORE, N.; VAN RIE, J.; LERECLUS, D.; BAUM, J.R.; FEITELSON, J.; ZEIGLER, D.R.; DEAN, D.H. 1998. *Bacillus thuringiensis* and its pesticidal crystal proteins. Microbiology and Molecular Biology Reviews 62: 775-806.
- SEGURA, C.; GUZMAN, F.; PATARROYO, M.E.; ORDUZ, S. 2000. Activation pattern and toxicity of the Cry11Bb toxin of *Bacillus thuringiensis* subsp. *medellin*. Journal of Invertebrate Pathology 76: 56-62.
- SEGURA, C.; GUZMAN, F.; SALAZAR, L.M.; PATARROYO, M.; ORDUZ, S.; LEMESHKO, V. 2007. BTM-P1 polycationic peptide biological activity and 3D-dimensional structure. Biochemica et Biophysica Research Communications 353: 908-914.
- THIERY, I.; HAMON, S.; DELÉCLUSE, A.; ORDUZ, S. 1998. The introduction into *Bacillus spahericus* of the *Bacillus thuringiensis* subsp. *medellin* *cyt1Ab1* gene results in higher susceptibility of resistant mosquito larval populations to *B. spahericus*. Applied and Environmental Microbiology 64: 3910-3916.
- ZHANG, X.; CANDAS, M.; GRIKO, N.B.; TAUSSIG, R.; BULLA, L.A. Jr. 2006. A mechanism of cell death involving an adenylyl cyclase/PKA signaling pathway by the Cr1Ab toxin of *Bacillus thuringiensis*. Proceedings of the National Academy of Science. USA. 103: 9897-9902.

Simposio 4.

Nuevas tecnologías en el control de insectos plaga

Coordinador: Efraín Becerra-Contreras
DowAgroSciences, Colombia

Participantes:

Julián Mejía O., Juan Manuel Álvarez y Fabio Maximiano de Andrade Silva

María Helena La Torre

Leonel Aviles Morales y J. Dripps

Fabricio Cifuentes

Ariel Rivera

Cyazypyr[®], la primera diamida antranílica para el control de insectos chupadores y la optimización de cosechas

Julián Mejía O.¹, Juan Manuel Álvarez² y Fabio Maximiano de Andrade Silva³

¹ Representante de Investigación y Desarrollo para Países Andinos, Dupont de Colombia S. A., Calle 113 # 7-21 Piso 10. Bogotá, julian.mejia@dupont.com. ² PS&R Investigador Principal, DuPont Crop Protection, Stine-Haskell Research Center, 1090 Elkton Rd. Newark, DE 19711, USA juan.m.alvarez@dupont.com. ³ Coordinador Técnico de Insecticidas para Latinoamérica. Paulinia, SP, Brasil. Fabio-m-andrade.silva@dupont.com

Resumen. CyazypyrTM es la segunda diamida antranílica descubierta por DuPont, pero la primera con la particularidad de mostrar eficacia sobre algunas especies de insectos chupadores y trips, manteniendo aún la actividad sobre insectos defoliadores del orden lepidóptero. Cyazypyr[®] cuenta con un novedoso modo de acción insecticida que activa selectivamente los receptores de ryanodina en los músculos de los insectos, ocasionando un rápido cese de alimentación, lo que permite una protección única del cultivo cuando se aplica al inicio del establecimiento de las poblaciones plaga. Novedosas técnicas de análisis como el uso de fluorescencia, entre otras, han mostrado que el cese de alimentación ocurre más rápidamente comparado con otros productos del mercado para insectos chupadores, lo cual es muy importante para reducir la transmisión de virus y bacterias causada por insectos como áfidos, psílidos y trips.

Otros atributos de Cyazypyr[®] incluyen la traslaminaridad y translocación, su alta eficacia aun en aquellas plagas que han mostrado resistencia a algunos insecticidas de uso frecuente, haciendo de este insecticida una excelente alternativa para incorporar en el manejo de plagas. Para el caso Colombiano, la molécula presenta alternativas interesantes para ser usado en el control de la broca del café (*Hypothenemus hampei*), así como para diferentes plagas en tomate como moscas blancas, minadores de hojas y larvas comedores de follaje y fruto. Cyazypyr[®] posee un excelente perfil toxicológico con muy baja toxicidad sobre mamíferos y gran selectividad sobre los artrópodos benéficos, lo cual permitirá su ajuste perfecto en programas de manejo integrado de plagas en múltiples cultivos.

Palabras claves: Cyantraniliprole. Receptor ryanodina. Detención alimentación. Mosca blanca. Trips.

Introducción

El descubrimiento de moléculas para la protección de cultivos que conjuguen una alta eficacia y espectro de control, así como con una novedosa forma de acción, es un hallazgo escaso. Actualmente, el 95% de los insecticidas comerciales interfieren uno de estos cinco procesos: la

función del receptor acetilcolínico, la función del receptor GABA, la función de los canales de sodio, la respiración mitocondrial o la síntesis de la quitina (Cordova *et al.* 2006). El uso indiscriminado de insecticidas con pocos o los mismos modos de acción, y la baja adopción de prácticas de manejo integrado de plagas como de manejo de resistencia insecticida, hacen imperativo contar con nuevas tecnologías de control químico de plagas agrícolas.

Se presumía con anterioridad que el calcio constituía un sitio objetivo de control insecticida, debido a su importante rol en múltiples procesos fisiológicos de los insectos. Desde 1946 se conocían reportes de la actividad insecticida del metabolito de la planta *Ryania speciosa* Vahl (Flacourtiácea), la cual alteraba los canales de calcio en plagas lepidópteras y hemípteras (Lahm *et al.* 2009). El nombre “Receptor de Ryanodina” (RyRs) deriva su nombre de dicha planta. Los RyRs regulan la liberación del calcio interno almacenado en las células de los músculos, lo cual conduce a la parálisis muscular y la muerte de los insectos.

La Ryanodina, el metabolito de la planta natural se trató de vender como una “alternativa orgánica” a los insecticidas sintéticos pero se encontraron dificultades en la síntesis del compuesto, altos costos de producción en masa y riesgos de toxicología, lo cual conllevó a no continuar su producción en 1993 (Cordova *et al.* 2006; Lahm *et al.* 2009). Las diamidas del ácido ftálico de Nihon Nohyaku, y las diamidas antranílicas de DuPont son las primeras clases sintéticas que utilizan el mismo principio de los RyRs como modo de acción insecticida. Clorantropilprole (Rynaxypyr®) desarrollado por DuPont es la primera diamida antranílica comercialmente disponible, que muestra actividad anti-alimentaria contra insectos masticadores principalmente.

Más recientemente DuPont sintetizó otra diamida antranílica: Cyantraniliprole™ (Cyazypyr®) la cual es activa frente a un espectro de plagas más amplio que Clorantropilprole por cuanto controla insectos lepidópteros, chupadores y adicionalmente algunas especies plagas económicamente importantes de los órdenes Thysanoptera, Coleoptera y Diptera. Cyazypyr® causa una rápida detención de la alimentación, con lo cual se reduce la transmisión de enfermedades causadas por bacterias y virus transmitidos por insectos y se protege contra defoliadores, permitiendo un incremento del vigor de las plantas y la obtención de mayor producción y calidad al final del ciclo de las cosechas.

En la presente revisión se destacan los atributos principales de Cyazypyr®, y se describen algunos ejemplos de la aplicación de dicha tecnología en Colombia.

1. Modo de acción y selectividad

El proceso de contracción muscular involucra la coordinación de dos tipos diferentes de canales: los canales regulados por impulsos nerviosos, que regulan la entrada del calcio externo, y los canales de los RyRs, los cuales regulan la liberación del calcio de los almacenamientos internos (Cordova *et al.* 2006). Cyazypyr® actúa de la segunda forma, (interfiriendo en la liberación de calcio de los RyRs). Constituye la segunda generación del novedoso modo de acción insecticida llamado Diamidas, grupo químico 28 (IRAC, 2012) donde también se encuentran Clorantropilprole y

flubendiamida. Interesantemente, no se ha reportado interferencia de este tipo de acción insecticida sobre la función del sistema nervioso central (Lahm *et al.* 2009).

Los RyRs se componen de cuatro sub-unidades idénticas que forman una compuerta o canal (Figura 1). Estos canales, junto con varias proteínas accesorias se localizan en el retículo sarcoplásmico de los músculos. Los síntomas de intoxicación, una vez ocurre la liberación descontrolada del calcio muscular, comprenden letargia, regurgitación, cesación de la alimentación, reducción de la tasa reproductiva, y por último la muerte de los insectos (DuPont, 2010).

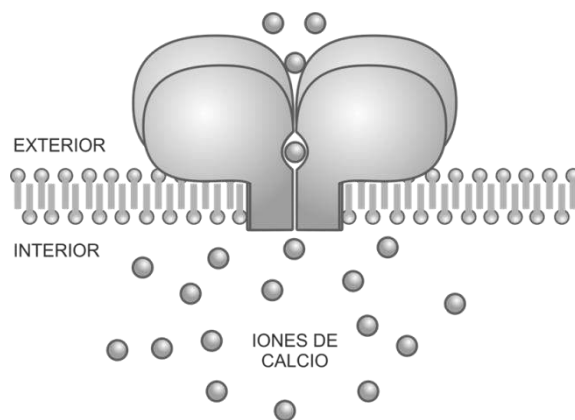


Figura 1. Representación esquemática del receptor de ryanodina. El receptor es un tetrámero de cuatro subunidades idénticas que regulan el flujo de iones de calcio (mostrado como pequeños círculos) hacia afuera del retículo sarcoplásmico en las células de los músculos y del retículo endoplásmico en las células no musculares. Por simplicidad, las proteínas asociadas que interactúan directamente con el RyR no se muestran – Adaptado de Lahm *et al.* 2009.

A diferencia de los insectos, los mamíferos poseen tres formas de RyRs: RyR1 y RyR2 están localizados principalmente en los músculos esqueléticos y cardíacos, respectivamente; mientras que el RyR3, más heterogéneamente puede encontrarse en el cerebro o en músculos lisos (Lahm *et al.* 2009). Los estudios comparativos con líneas de células mamíferas que endógenamente expresan RyRs, demostraron que las diamidas antranílicas tenían selectividades entre 300 a 500 veces más altas entre los RyRs de los insectos comparada con los receptores de mamíferos. Lo anterior explica en gran parte la extraordinaria seguridad sobre mamíferos, aves y peces de los compuestos pertenecientes a las diamidas. La figura 2 muestra la diferencia de selectividad entre órdenes de insectos y algunos mamíferos.

Cyazypyr® es muy efectivo a bajas dosis, dependiendo del tipo de plaga, el método de aplicación y el tipo de cultivo. Las dosis varían de 10 a 100 gramos de ingrediente activo (g i.a) por hectárea (ha) para especies seleccionadas de moscas blancas, cucarrones, minadores de hoja,

moscas de la fruta, psílidos, y larvas de lepidópteros; y entre 30 y 150 g i.a/ha para la mayoría de especies de afidos, cigarritas, saltahojas, gorgojos, y trips (DuPont 2010).

Cyazypyr® es la primer diamida descubierta con espectro cruzado sobre especies seleccionadas de diferentes órdenes. Flubendiamide tiene alta actividad contra Lepidóptera, pero no hay evidencia de actividad en otros órdenes de insectos (Gentz *et al.* 2010). Cloranthraniliprole por su parte, reporta alta eficacia en la mayoría de especies plaga lepidóptera, coleóptera y díptera seleccionados como *Leptinotarsa decemlineata*, *Premnotrypes vorax*, *Phyllophaga* spp, *Liriomyza* spp. y supresión de moscas blancas entre otros (DuPont 2007).

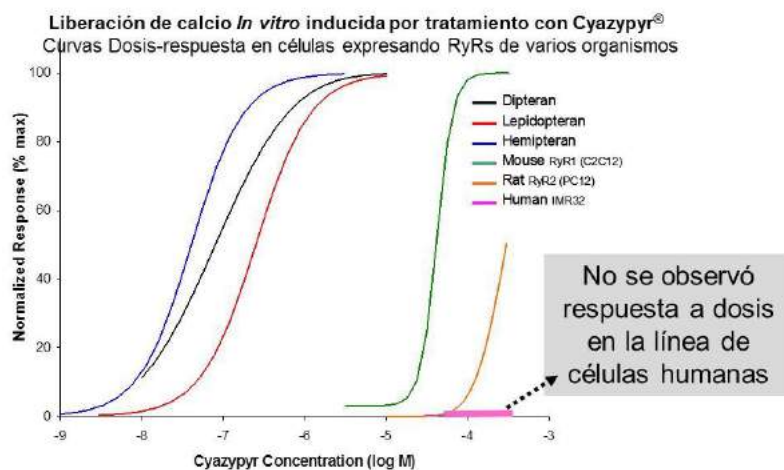


Figura 2. Selectividad de los RyRs en diferentes órdenes de insectos y en mamíferos.

Cyazypyr® ha ampliado el espectro de control a insectos chupadores como afidos, moscas blancas y trips, con la principal consecuencia de este hallazgo consistente en que por la rápida detención de la alimentación en dichas especies, se percibe una disminución importante en la transmisión de bacterias y virus cuando el producto es aplicado correctamente. Por consiguiente, con la aplicación de Cyazypyr® de manera temprana en el ciclo del cultivo, y de la infestación de las plagas, se ha observado un incremento de las producciones cuándo los demás factores que afectan al cultivo se mantienen en buenas condiciones.

2.1. Eficacia de Cyazypyr® en trips. Entre los años 2010 a 2012 se realizaron en Colombia seis bioensayos de campo en cultivos de cebolla (*Allium cepa*), con el fin de verificar el control sobre trips de la cebolla (*Thrips tabaci*). Las pruebas se realizaron en los departamentos de Boyacá y Cundinamarca sobre plantas de la Variedad Yellow Granex, sembradas en camas de 1 a 2.0 m. de ancho, de 30 a 40 días de edad. Se realizaron aplicaciones foliares de insecticidas contra trips cada 7 a 10 días, dependiendo de la dinámica de la población, y se hicieron evaluaciones con el mismo intervalo. La variable de interés consistió en contabilizar todas las formas móviles visibles (ninfas y

adultos) presentes en 10 plantas por cada parcela. Los bioensayos a y b se hicieron con aplicación exclusiva de los productos, mientras que los bioensayos c y d se hicieron con adición de adyuvante no iónico Carrier® a la dosis recomendada por el fabricante. Como resultado se encontró que Cyazypyr® aplicado en dosis entre 30 y 120 g. i.a/ha muestra control sobre los trips, siendo más consistente el control a partir de 90 a 120 g. i.a/ha. El control fue de igual forma superior al de los estándares comerciales lambda-cialotrina, tiametoxam + lambda-cialotrina y metomil, a las dosis recomendadas por sus fabricantes; Metomil es un insecticida tradicionalmente conocido por su eficacia sobre trips.

Las propiedades físicas y químicas, así como la toxicidad a mamíferos de Cyazypyr® se resumen en las Tabla 1 y 2 (DuPont, 2010).

Tabla 1. Propiedades físicas y químicas de Cyazypyr®.

Clase química	Diamida antranílica
Forma física	Polvo fino
Color	Blanco
Olor	Ninguno
Punto de fusión	217-219 °C
Punto de ebullición	232 °C
Densidad	1.3858
Solubilidad en agua	14.24 mg/L
Coeficiente de partición octanol/agua (Log P _{ow})	1.94 (no dependiente de pH)
Volatilidad	No volátil

Tabla 2. Toxicidad a mamíferos de Cyazypyr®.

Toxicidad oral aguda, rata DL50	>5000 mg/Kg
Toxicidad dermal aguda, rata DL50	>5000 mg/Kg
Inhalación aguda LC50	>5.2 mg/L
Irritación dermal	No irritante
Irritación ocular	No irritante
Mutagenicidad según Ames	Negativo
Aberraciones cromosómicas in vitro	Negativo
Micro núcleos in vivo	Negativo

2. Eficacia biológica, protección de cultivo y maximización de la producción.

2.2. Eficacia de Cyazypyr™ en mosca blanca. Los estudios con Cyazypyr™ sobre moscas blancas han sido numerosos, tanto en aplicaciones foliares como al suelo. En general se reporta excelente control especialmente para especies en los géneros *Bemisia* spp., *Aleyrodes* spp., *Dialeurodes* spp., y eficacia moderada o supresión sobre *Trialeurodes vaporariorum*. Los resultados

a su vez reportan mayor eficacia sobre ninfas que sobre adultos. Un bioensayo de campo realizado en Colombia en 2010, sobre cultivos de tomate (*Solanum lycopersicum*) variedad Cumanday bajo invernadero, mostró que el control de ninfas de *T. vaporariorum* es por lo menos igual al de los productos tradicionalmente usados en el control dicha plaga; aplicaciones al suelo al momento del trasplante seguido de aplicaciones foliares presentan los mejores controles de ninfas y adultos, y por consecuencia la mejor protección del cultivo.

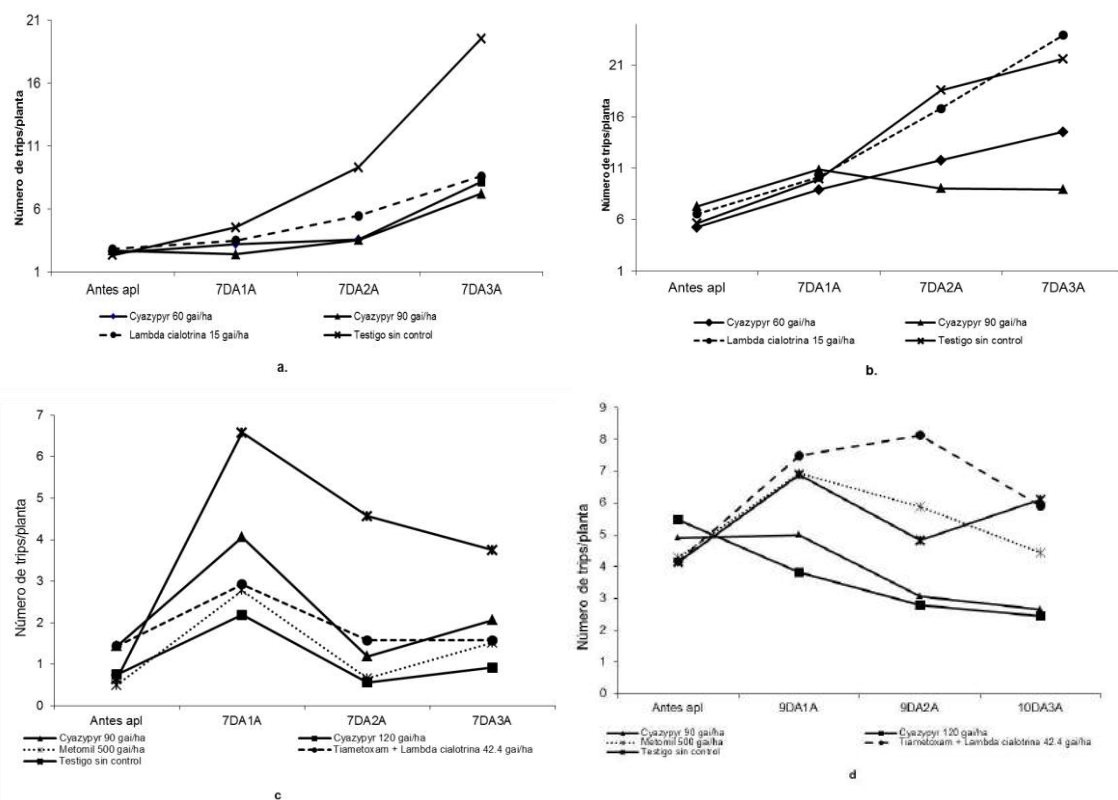


Figura 3. Cyazypyr® en control de *Thrips tabaci*: a) Bioensayo 1. b) Bioensayo 2. c) Bioensayo 3. d) Bioensayo 4

Jacobson y Kennedy (2011) reportaron el control de Cyazypyr® sobre especies seleccionadas del orden Thysanoptera. En sus ensayos, mantuvieron en laboratorio colonias de *Frankliniella fusca* y *Frankliniella occidentalis*, las cuales habían sido previamente dejadas en alimentación sobre hojas de plantas infectadas con el virus del bronceado del tomate "Tomato spotted wilt virus" (TSWV). La aplicación al suelo de una solución de Cyazypyr® a dosis de 1.45, 2.90 y 4.41 mg i.a./planta de pimentón (*Capsicum annuum*) en 50 ml de agua, redujo significativamente la transmisión de TSWV por *F. fusca* en comparación al control, mientras que la transmisión por *F. occidentalis* no fue reducida.

Las moscas blancas, y en particular *Bemisia tabaci*, es quizás la plaga de mosca blanca económicamente más importante en Estados Unidos y en otros países. Las moscas blancas están adaptadas a un rango amplio de latitudes y climas, y afectan los cultivos con su alimentación en tres formas: 1) daño directo causado por la alimentación en el floema de las hojas, reduciendo el vigor y la producción. 2) Cuando los adultos y ninfas de *B. tabaci* se alimentan, excretan una miel, la cual es sustrato para el desarrollo del hongo fumagina, el cual afecta la producción y la calidad de las cosechas, y 3) *B. tabaci* transmite 111 virus de plantas (Jones 2003). En Colombia la incidencia de virus en cultivos de tomate es cada vez más frecuente; un estudio iniciado en 2008, en el cual se tomaron muestras en 75 fincas productoras localizadas entre los 655 hasta los 2184 msnm en 22 departamentos, arrojó que el 100% de las muestras estaban infectadas con virus (UN Periódico 2012). La transmisión de virus se reduce o elimina en cuanto los insecticidas usados para diezmar las poblaciones de sus vectores sean capaces de detener rápidamente la alimentación, antes de que ocurra la infección. Trabajos de laboratorio recientes mostraron la alta capacidad de Cyazypyr® de reducir rápidamente la alimentación de ninfas de mosca blanca (Cameron *et al.* 2013). El estudio utilizó la técnica de fluorescencia (sal de sodio fluorescente) para determinar en qué medida la aplicación de tres diferentes insecticidas reducía la alimentación de ninfas de mosca blanca, y la velocidad a la cual esta ocurría, permitiendo inferir sobre la transmisión de virus. Las ninfas que se estaban alimentando mostraban su aparato digestivo fluorescente bajo luz ultravioleta, mientras que ninfas que no se alimentaban no presentaban fluorescencia. El estudio concluyó que en tan solo 4 horas después de la exposición de las ninfas en las plantas tratadas con Cyazypyr®, se observó una reducción significativa en la alimentación (32% fluorescentes), en comparación a las tratadas con imidacloprid y spirotretramat (94 y 100% fluorescentes, respectivamente). Estos resultados confirmaron la importancia de este nuevo modo de acción insecticida en la reducción de virus transmitidos por insectos.

2.3. Eficacia de Cyazypyr® en broca del café. Los estudios de Cyazypyr® sobre la broca del café (*Hyphotenemus hampei*) se vienen realizando en Colombia desde el año 2010. Se han efectuado pruebas de eficacia en laboratorio, campo con infestación controlada, y campo en infestación natural, siendo todos consistentes en mostrar la alta eficacia insecticida cuando se aplica a las hojas y frutos del café (*coffea arabica*) a dosis que varían entre 125 a 200 g i.a/ha según las condiciones de presión de plaga y densidad de siembra, entre otros. Los estudios preliminares se realizaron bajo la metodología sugerida por Villalba *et al.* (1995), la cual es conocida entre los técnicos del cultivo como “prueba de residualidad”. En la primera prueba de residualidad, se utilizaron plantas de café de variedad Colombia, que al momento de la prueba se encontraban en 3^{er} año de cosecha. Se realizó una única aplicación foliar dirigida a todos los árboles, bajo el tipo de aplicación de “dos medias caras por pasada”; se utilizó una bomba de espalda calibrada a 30 p.s.i, con una boquilla de cono hueco y se arrojó un volumen de 50 cc de caldo de aspersión por árbol. Las aplicaciones se realizaron entre mayo y junio de 2010, sobre árboles con frutos de

aproximadamente 120-140 días después de floración, sin aplicación de adyuvantes, a excepción de correctores de pH marca Cosmoaguas®. Los tratamientos consistieron en 25 árboles por parcela, con cuatro repeticiones por tratamiento, en un arreglo de bloques completos al azar. De los 25 árboles se marcaron dos centrales para evaluación, y en cada uno de estos se seleccionaron 3 ramas equidistantes del tercio medio, las cuales se dejaron con 50 granos de café sanos (sin daños de broca). Posteriormente se liberaron 150 adultos de broca por manga, para una razón de brocas: granos de café de 3:1. Las liberaciones se efectuaron a los 7, 14 y 21 días después de la aplicación, y se hizo la evaluación del control respectivo a los 3 días siguientes a cada liberación. Las variables de interés fueron el número de frutos sanos y el número de frutos brocados en cada una de las posiciones de penetración de la broca “A”, “B”, “C”, “D”, según la descripción de los daños ocasionados a granos de café descrita por Bustillo (2002) y Villalba *et al.* (1995).

Los resultados promedios para la evaluación a los 10 días de la aplicación se presentan en la figura 4, la cual a su vez refleja los resultados promedio de dos bioensayos.

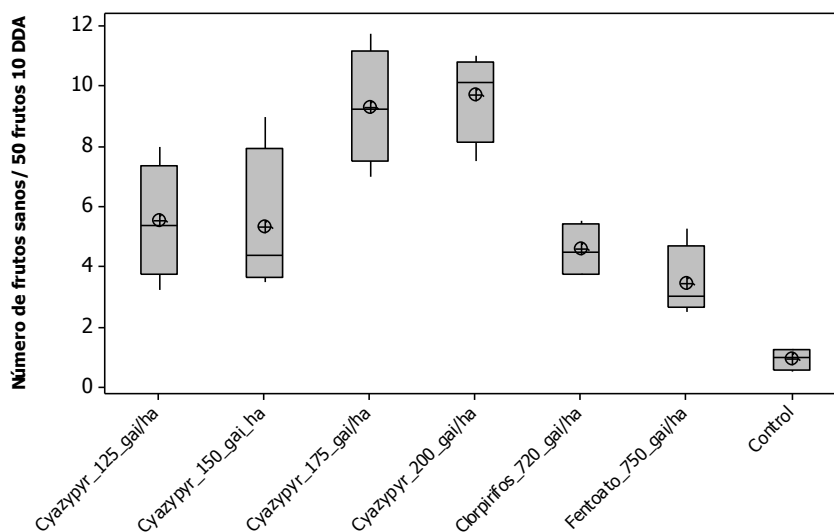


Figura 4. Cyazypyr® vs. Broca de café. Frutos protegidos dentro de la manga 10 días después de aplicación.

Cyazypyr® fue efectivo en prevenir el ingreso de las brocas a los frutos, incluso a una tasa mayor que la presentada por los estándares comerciales Clorpirifos y Fentoato, los cuales son tradicionalmente conocidos por su efecto de choque o “*knock-down*”. El muy bajo número de granos de café sanos (no infestados por broca) transcurridos tan solo 10 días después de la aplicación, y 3 después de la liberación, permitió concluir de la alta capacidad de la broca para atacar granos susceptibles. El análisis de varianza de los datos arrojó un modelo estadísticamente

significativo ($F=19.89$, $P=0.0001$), mientras que todos los tratamientos químicos fueron diferentes al testigo absoluto según la prueba Tukey al 95% C.I.

En los mismos bioensayos, transcurridos 24 días después de la aplicación se encontró que la protección de los frutos con Cyazypyr® se incrementó comparativamente con la ofrecida por los estándares comerciales, en particular Clorpirifos, el cual para este momento prácticamente no logró proteger ningún fruto del ingreso de la broca. El modelo fue estadísticamente significativo ($F= 6.03$, $P= 0.001$).

A los 24 días de la aplicación de los tratamientos, ninguna broca había alcanzado la posición de penetración “D”; es decir, no había transcurrido el tiempo suficiente para que la broca produjera su progenie. No obstante lo anterior, la evaluación de frutos con daños en posición “C”, (la broca ya perforó al menos una almendra, con lo cual hay pérdida en producción y en calidad), permitió concluir que todas las dosis de Cyazypyr® presentaban daños a cosecha en un orden de magnitud al menos 4 veces inferior al de los estándares comerciales y el testigo absoluto (Figura 6). El modelo estadístico fue significativo ($F= 5.79$, $P=0.002$). Todos los tratamientos con Cyazypyr™ fueron estadísticamente diferentes según Tukey al 95% C.I, con respecto a los tratamientos Clorpirifos y Fentoato.

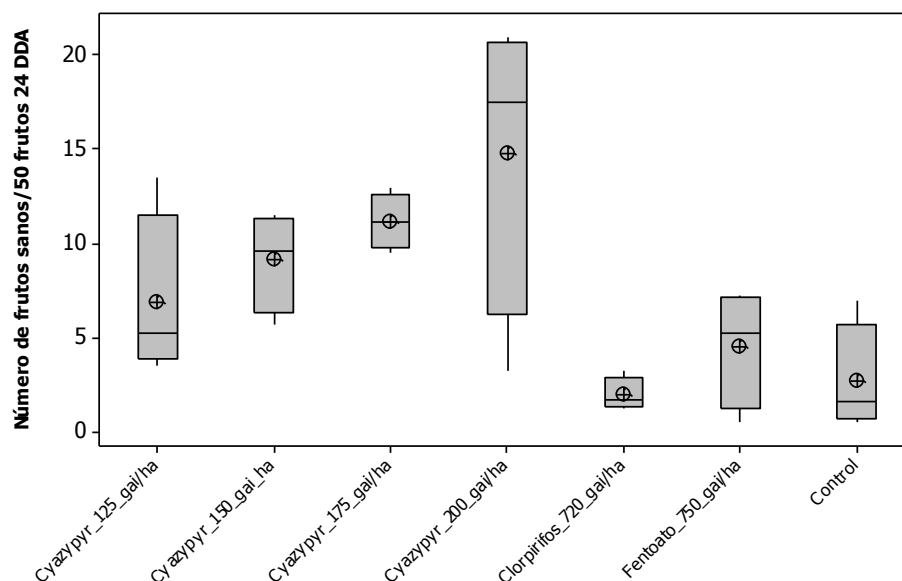


Figura 5. Cyazypyr® vs. Broca de café. Frutos protegidos dentro de la manga 24 días después de aplicación.

Otra prueba realizada bajo la misma metodología, con una única aplicación en noviembre de 2010 y abril de 2011, obtuvo resultados similares. En esta ocasión se redujo la relación de brocas liberadas: grano a 1:1, y se modificó la variable de interés “número de frutos brocados en cada una de las posiciones”, de tal forma que se contabilizaron los granos brocados con brocas

vivas y muertas en su interior, para cada una de las posiciones. Por broca viva se entendió aquella que no reaccionaba al toque de un pincel al momento de abrir los granos brocados. Se presenta la figura 7, con el número de brocas vivas a los 24 días de la aplicación preventiva.

Como conclusión general, se encontró que Cyazypyr® es efectivo en proteger los frutos de café contra el ingreso de la broca, y que dicha protección ocurre por un tiempo no inferior a 24 días, cuando las aplicaciones se realizan preventivamente. De igual forma, la disminución de la progenie (huevos, larvas, adultos) en la almendra, significa un incremento de la productividad y una mejora en la producción de café pergamino seco, toda vez que las poblaciones que logran establecerse al interior de la almendra no son controladas naturalmente por medios químicos, y por ende continuarán la descendencia. Adicionalmente, los resultados confirmaron la necesidad de iniciar los controles de forma preventiva, al momento de mayor vuelo de broca.

3. Selectividad a enemigos naturales

Si bien es cierto que la selectividad de Cyazypyr® a enemigos naturales está en proceso de documentación, varias pruebas realizadas demuestran que es selectivo a organismos benéficos en diversos sistemas de cultivo. Gentz *et al.* 2009 en una revisión de las nuevas moléculas con potencial para uso en combinación con enemigos naturales, incluyó el grupo químico de las diamidas, como uno con posibilidad no solo para mantener las poblaciones de benéficos, sino también de incrementar el control que cada modo de control (insecticida-enemigo natural) puede alcanzar individualmente sobre cierto insecto plaga. Para el caso de la diamida de 1ª generación Clorantraniliprole, Koppenhofer y Fuzy 2008, reportaron sinergia con el nematodo entomopatógeno *Heterorhabditis bacteriophora*, para el control de chisas (*Anomala orientalis*). Con Cyazypyr®, estudios internos realizados por Dupont con adultos de *Chrysopa carnea*, evaluando el efecto por contacto directo y sobre residuos secos, mostraron que la mortalidad por contacto directo fluctuó entre 14 y 17% a los 2 días, incrementándose a 64 a 97% a los 5 días, pero que la mortalidad por contacto con residuo seco fue tan baja como 4 a 9% transcurridos 7 días después de ocurrido el contacto. De igual forma ensayos similares con los predadores *Hippodamia convergens*, *Orius insidiosus* y *Geocoris punctipes* mostraron mortalidades bajas, significativamente menores que las mostradas por los estándares Clorpirifos, Spinetoram y lambda-cialotrina. Los parasitoides *Aphidius rhopalosiphi*, parasitoide de afidos, y *Tamarixia radiata*, parasitoide de *Diaphorina citri* (psílido asiático de los cítricos) mostraron a su vez alta selectividad respecto a estándares seleccionados. Rebelles-R *et al.*, 2012 reportó que en ensayos de laboratorio Cyazypyr® aplicado a dosis de 75 a 200 g i.a/ha sobre los ácaros depredadores Phytoseiidae: *Iphiseiodes zuluagai*, *Euseius alatus* y *Amblyseius herbicolus*, fue clasificado como inocuo (clase 1) y poco dañino (clase 2). Los anteriores son controladores naturales de ácaros fitófagos en cultivos de cítricos y café en Brasil.

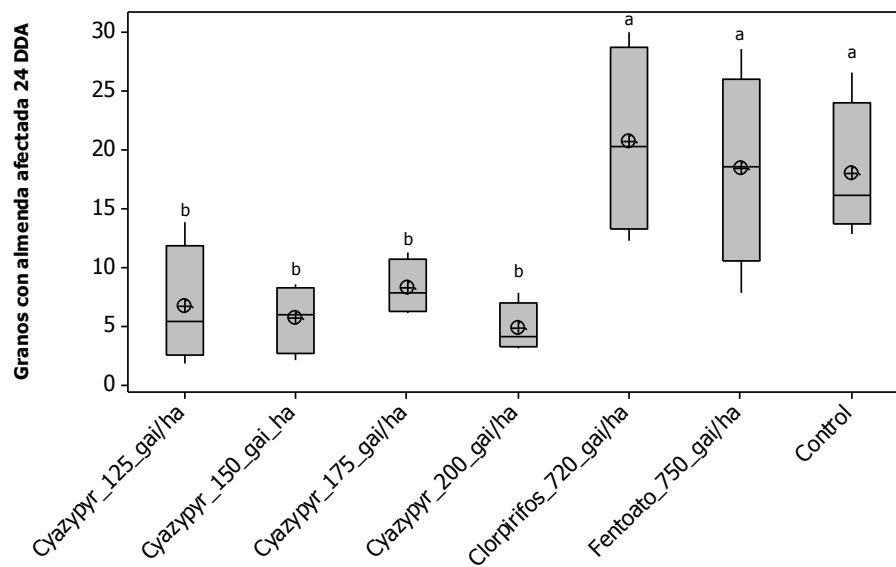


Figura 6. Cyazypyr® vs. Broca de café. Granos perdidos por daño de broca 24 días después de aplicación.

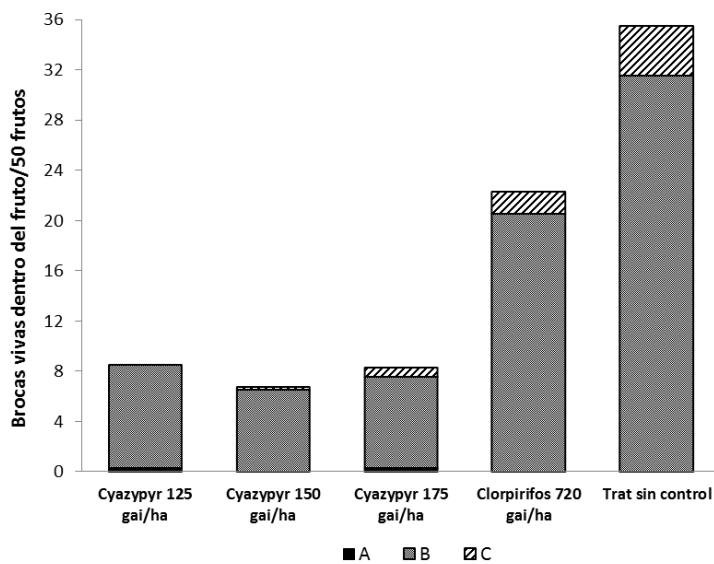


Figura 7. Posición de broca dentro del fruto, Bioensayos 3 y 4.

Comentarios finales

Cyazypyr® en resumen, ofrece un nuevo modo de acción para el control de plagas chupadoras; rápida acción que reduce la transmisión de enfermedades; acción traslaminar y sistemicidad vía raíz; espectro cruzado (control selectivo de diferentes especies); mayor selectividad a insectos benéficos; baja toxicidad a mamíferos, y un perfil ambiental más favorable.

El control de insectos plaga en la agricultura requiere adaptarse a las nuevas tendencias mundiales en términos de cuidado del medio ambiente, seguridad y salud a las personas y uso razonable de recursos. Los atributos de Cyazypyr® en mayor o menor medida apuntan a cumplir dichas tendencias. Particularmente en el caso de insectos chupadores, existen un sinnúmero de plagas que no han hecho su aparición en nuestro territorio o que aún no se han adaptado causando perjuicios a niveles económicamente importante; ejemplos de estos son el psílido asiático de los cítricos (*Diaphorina citri*); el psílido de la papa (*Bactericera cockerelli*), el escarabajo rojo de la papa o “colorado potato beetle” (*Leptinotarsa decemlineata*) entre otros. Cyazypyr® ha mostrado resultados importantes de control de dichas plagas, y en el caso de los dos primeros, reducciones importantes en la transmisión de virus en sus cultivos hospederos. En el escenario eventual, no deseable, de que ocurran explosiones de dichas plagas en Colombia, deberán considerarse nuevas tecnologías de control de plagas como las aquí expuestas, para paliar los daños potenciales.

Con relación a las plagas agrícolas existentes y con daños económicos importantes, la existencia de moléculas de nueva tecnología como Cyazypyr®, constituye una alternativa a considerar dados sus atributos.

Literatura citada

- BUSTILLO, P. A. E. 2002. El Manejo de Cafetales y su relación con el control de la broca del café en Colombia. Boletín Técnico No. 24. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Gerencia Técnica. Cenicafe. 40 p.
- CAMERON, R., LANG, E.B.; ANNAN, I.B.; PORTILLO, H.E.; ALVAREZ, J.M. 2013. Use of Fluorescence, a Novel Technique to Determine Reduction in *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) Nymph Feeding When Exposed to Benevia and Other Insecticides. Journal of Economic Entomology. Vol. 106, no. 2. P 597 – 603.
- CORDOVA, D; BENNER, E.A.; SACHER, M.D.; RAUH, J.J.; SOPA, J.S.; LAHM. G.P.; SELBY, T.P.; STEVENSON, T.M.; FLEXNER, L.; GUTTERIDGE, S.; RHOADES, D.F.; WU, L.; SMITH, R.M.; TAO, Y. 2006. Anthranilic diamides: A new class of insecticides with a novel mode of action, ryanodine receptor activation.
- DuPont, 2007. DuPont Rynaxypyr™ Insect Control Technical Bulletin. 11 p.
- DuPont, 2010. DuPont Cyazypyr™ (DPX-HGW86) insecticida Technical Data Sheet. 4 p.

- GENTZ, M.C.; MURDOCH, G.; KING, G.F. 2010. Tandem use of selective insecticides and natural enemies for effective, reduced-risk pest management. Volume 52, Issue 3, march, 2010. p. 208-215.
- IRAC. 2012. IRAC MoA classification scheme. (<http://www.irac-online.org/wp-content/uploads/MoA-classification.pdf>).
- JACOBSON, A.L., KENNEDY, G.G. 2011. The effect of three rates of cyantraniliprole on the transmission of tomato spotted wilt virus by *Frankliniella occidentalis* and *Frankliniella fusca* (Thysanoptera: Thripidae) to *capsicum annuum*. Crop Protection 30 (2011) p. 512-515.
- JONES, D. R. 2003. Plant viruses transmitted by whiteflies. Eur. J. Plant Pathol. 109: 195-219.
- KOPPENHOFER, A. M.; FUZY, E.M. 2008. Effect of the anthranilic diamide insecticide, chlorantraniliprole, on *Heterorhabditis bacteriophora* (Rhabditida: *Heterorhabditidae*) efficacy against white grubs (Coleoptera: Scarabaeidae). Biological Control 45 (2008) p. 93-102.
- LAHM, G.P.; CORDOVA, D.; BARRY, J.D. 2009. New and selective ryanodine receptor activators for insect control. Bioorganic & Medicinal Chemistry. Volume 17, Issue 2, June 2009. p. 4127-4133.
- REBELLES R. P.; ALVES T. M.; ANDRADE S. F.M.; 2012. Selectividad de Cyazypyr™ para tres especies de fitoseidos en cafeto y otros cultivos agrícolas relevantes en Brasil. En: Acarología Latinoamericana. Eds: Estrada V. E.; Equihua M. A.; Acuña S. J.; Chaires G. M.P.; Durán R. G. p 245-250.
- UNPeriodico. 2012. Peligrosos virus diezman producción de tomate. Unimedios, Universidad Nacional de Colombia. Publicado 8 de abril de 2012.
- VILLALBA, D.A.; BUSTILLO, P. A.E.; CHAVES C. B. 1995. Evaluación de insecticidas para el control de la broca del café en Colombia. Cenicafé, 46(3) p. 152-163.

Cultiva el futuro del sector agrícola de Colombia

María Helena La Torre¹

¹ANDI. Cámara de Protección de Cultivos

Hace más de veinte años Colombia cuenta con industria de plaguicidas y fertilizantes, fruto de las políticas país para atraer inversión.

En la ANDI la Cámara Procultivos representa esta industria que tiene 14 plantas de producción, ubicadas principalmente en la Costa Atlántica, por la operación de importación de materia prima y exportación de productos finales en puertos. La valorización de las plantas es de mil millones de dólares aproximadamente, con tecnologías de punta para la formulación y síntesis de estas sustancias.



Los aportes económicos de esta industria en producción, ventas domésticas, exportaciones, generación de empleo, ingreso al Fisco Nacional por impuestos y jalonamiento a otros sectores son muy importante.



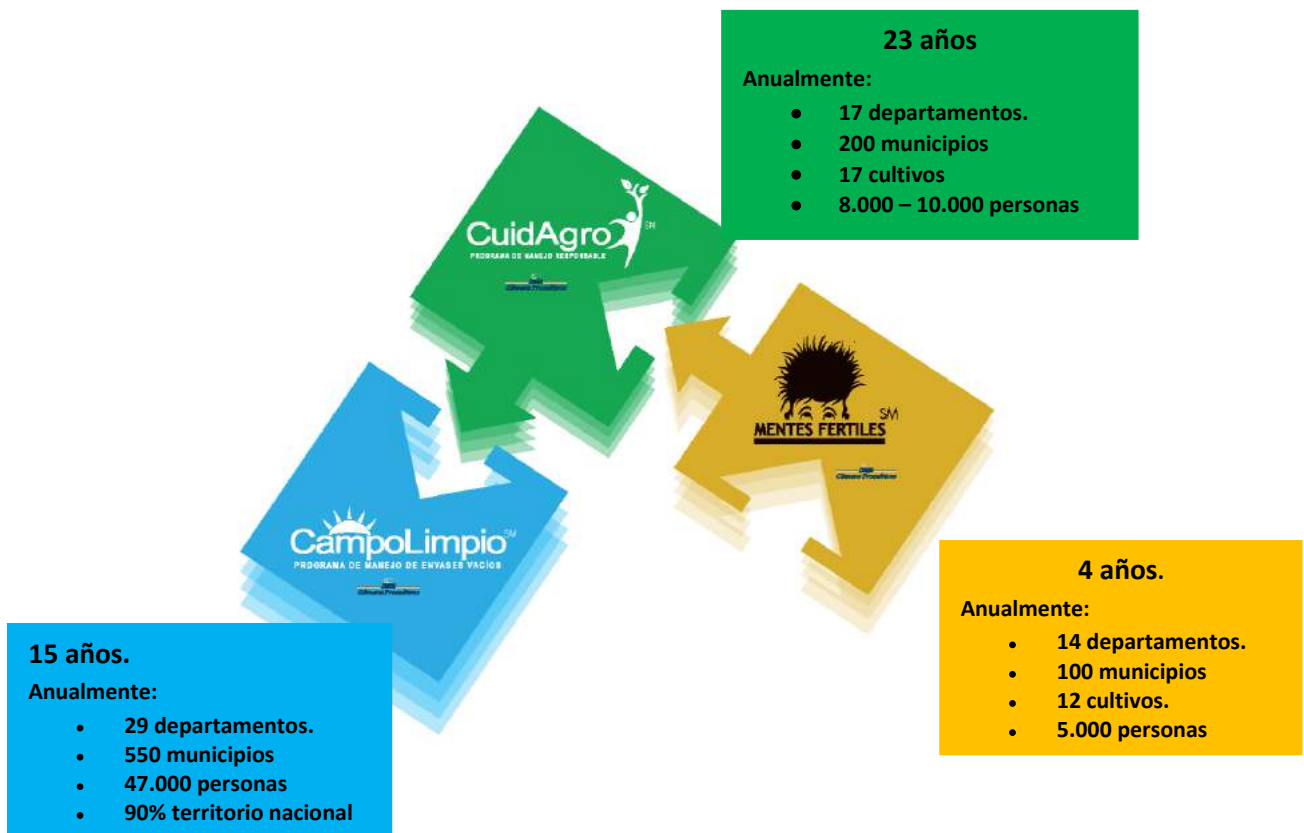
La innovación y la productividad son los pilares que prometen un mejor futuro a la agricultura. La FAO y la OCDE indican al mundo principalmente a los países en desarrollo generar políticas que dinamicen estos pilares; para atender la demanda mundial debido al crecimiento de la población, mayores raciones en alimentación humana y animal, biocombustibles, entre otros.

La protección de cultivos es un componente muy importante para acompañar los pilares recomendados por la FAO y la OCDE. Los focos fitosanitarios sin atención se convierten en perjuicio directo para la producción de la agricultura, que golpea la oferta de alimentos. Según la FAO la producción agrícola mundial se reduce entre el 20% y 40% por causa de plagas y/o enfermedades.

La alimentación, la lucha contra la hambruna del mundo y la producción de más agricultura en la disponibilidad de tierra, son desafíos que convocan directamente a la protección de cultivos, para equilibrar el uso de tecnologías y controles, dentro del concepto del Manejo Integrado de los Cultivos. El cambio climático fomenta la propagación de plagas y enfermedades, y si se adaptan las prevenciones y controles pertinentemente, Colombia puede ser abastecedora estratégica de agricultura al mundo.



La Cámara Procultivos ANDI, desde hace 20 años, ha importado programas aliados de la agricultura y de los desafíos para la alimentación del mundo, la sostenibilidad de la producción agrícola y el cuidado del medio ambiente; los cuales se conocerán ampliamente en el marco del 40 Congreso de SOCOLEN.



Nuestros objetivos, se basan en las siguientes premisas:

- Herramientas sostenibles para proteger el medio ambiente y la salud pública
- Canales para la innovación y la productividad del agro
- Aliados en la nutrición de la tierra y sus cultivos
- Capítulos especializados de las BPA
- Vehículos de la productividad
- Asistencia técnica efectiva

Nuevas tecnologías en el control de insectos plaga

Leonel Avilés¹ y J. Dripps²

¹ Investigación y desarrollo en Dow AgroSciences de México.

² Investigación y desarrollo Dow AgroSciences Indianapolis USA.

Summary: The rapid increase net annual rate of world population is about 23 million people per year, on the other hand, the annual rate of decline of arable land in the world is 100 thousand hectares, are certainly the major global challenges for world leaders in the production of food, which by the way, have not obtained the necessary increase levels since production only grew by 1.5% pa over the last 10 years. (FAO).

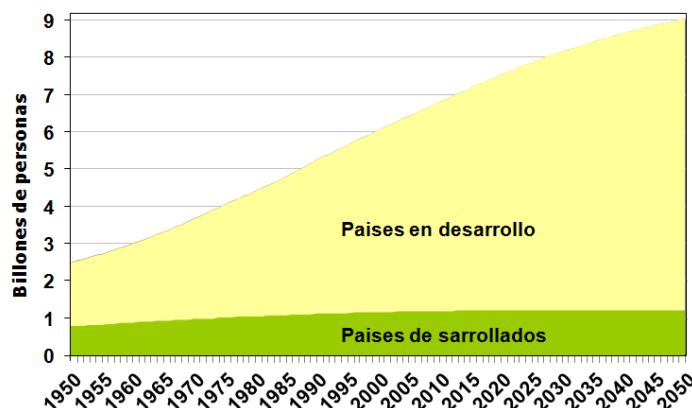
Changes in food consumption, the need for biodiesel, the growing concern for human health, wealth and urbanization have led to changes in the diet, has increased consumption of animal protein in developing countries, more consumption of fruits and vegetables in developed countries, these changes require increased production of processed foods and a greater potential for problems stored product pests, but that's not all, every day the demand for higher quality fresh food is higher, which resulting in more intensive care to keep crops free agents (insects and diseases) that affect this quality, however, it is not simple, because the pressure is to increase the use of pesticides with favorable toxicological profile, with less waste and less harvest intervals is growing.

An alternative to achieve the required food production to meet the global need without polluting the environment is certainly new technologies, GM crops tolerant to adverse temperatures, drought or high salt concentrations in the soil, better resistance to insects and diseases are undoubtedly along with other technologies the right direction. As part of introduction of new technologies for insects control DAS is launching Sulfoxaflor, insecticide highly effective against SAP feeding insects with unique Mode of Action, New chemistry not a neonicotinoid. Unique interaction with insect nicotinic acetylcholine receptor and Designated by IRAC Mode of Action Working Group as the sole member of a new subgroup – 4C.

Key words: New technologies, pesticides, biotechnology, food, Sulfoxaflor, Spinetoram.

La acelerada tasa anual neta de incremento de la población mundial es de aproximadamente 23 millones de personas por año, por otro lado, la tasa anual de disminución de tierra arable en el mundo que es de 100 mil hectáreas, son sin duda los principales retos globales para los líderes mundiales en la producción de alimentos, que por cierto, no han obtenido los niveles de incremento necesario pues solo ha crecido la producción en 1,5% en los últimos 10 años. (FAO).

Población mundial 1950-2050



Fuente: United Nations Populations Division, *World Population Prospects, The 2004 Revision*, medium variant.

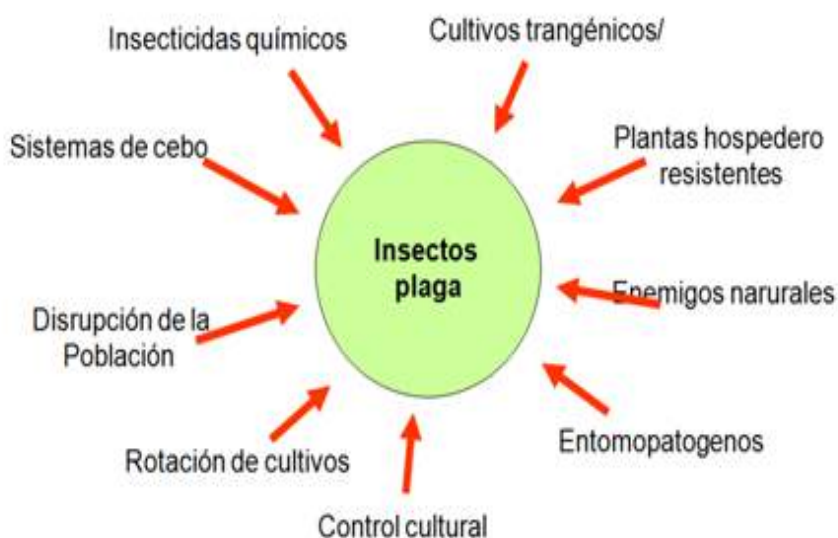
Los cambios en el consumo de alimentos, la necesidad de utilizar biocombustibles, la creciente preocupación por la salud humana, la riqueza y la urbanización han provocado cambios en la dieta, se ha incrementado el consumo de proteínas animales en los países en desarrollo, más consumo de frutas y hortalizas en los países desarrollados, estos cambios exigen mayor producción de alimentos procesados y un mayor potencial de problemas de plagas de productos almacenados, pero eso no es todo, cada día la exigencia por alimentos frescos de mayor calidad es mayor, lo que deriva en cuidados más intensivos de los cultivos para mantenerlos libres de agentes (insectos y enfermedades) que afectan esta calidad, sin embargo, hacerlo no es cosa sencilla, pues la presión que se tiene para intensificar el uso de pesticidas con perfil toxicológico favorable, con menos residuos y menos intervalos a cosecha es cada día mayor.

Una alternativa para poder lograr la producción de alimentos necesaria para cubrir la necesidad global sin contaminar el medio ambiente es sin duda, las nuevas tecnologías, cultivos transgénicos tolerantes a temperaturas adversas, sequía o altas concentraciones de sal en el suelo, mejor aún con resistencia a insectos y enfermedades son sin lugar a duda junto con otras tecnologías la dirección correcta.

El uso de nuevas tecnologías y biotecnología en el control de insectos es un factor en que Dow AgroSciences está enfocada en nuestra visión de proveer tecnología innovadora que excede las necesidades del mercado y mejora la calidad de vida de la creciente población mundial, con alternativas de control novedosas, afines a las nuevas necesidades globales, con perfil toxicológico adecuado y sobre todo con excelentes resultados en el control, con ello sin duda, estamos ofreciendo alternativas innovadoras que beneficiaran directamente a los productores globales de alimentos así como a los consumidores finales. Algunas de las nuevas tecnologías más eficientes para el control de plagas son: los sistemas de cebos; con ingredientes activos mezclados que pueden controlar solo al individuo que lo toma o bien a la colonia a donde lo lleve. Cultivos transgénicos, los cuales alcanzaron las 90 millones de hectáreas en el mundo, han logrado un

incremento en la producción con una reducción importante en la utilización de pesticidas. Disrupción de la población, este método es altamente eficiente y son riego cero de contaminación. El descubrimiento, caracterización y desarrollo de nuevas moléculas es una de las tareas principales para el éxito de control de plagas, tal es el caso de SULFOXAFLO, una nueva molécula de la nueva clase “Las Sulfoximinas” perteneciente al subgrupo 4C del grupo 4 de acuerdo a la clasificación de IRAC y el cual es un compuesto altamente eficiente para el control de moscas blancas, áfidos, chinches, piojo harinoso y escamas.

Opciones par el manejo de insectos – Hoy hay mas que nunca



Sulfoxaflor se une a los receptores nicotínicos de acetilcolina. Sin embargo no se ha identificado resistencia cruzada con los neonicotinoides, su familia química única y novedosa por lo cual no presenta resistencia cruzada con neonicotinoides.

La mezcla de diferentes activos como parte de una nueva tecnología es algo habitual sin embargo, cuando esta mezcla se realiza con producto con alta eficacia, perfil toxicológico adecuado, selectividad implícita y además un muy amplio espectro el resultado es un producto con un perfil alto para ser utilizado dentro del manejo de plagas, tal es el caso de la mezcla de Sulfoxaflor + Spinetoram...

Bayer, innovación en la protección de cultivos Aporte tecnológico para una agricultura sustentable

Fabricio Cifuentes V.¹

¹Gerente de Investigación y Desarrollo Países Andinos

Toda actividad humana debe verse beneficiada del avance en el conocimiento, la agricultura no es ajena a esta premisa de la realidad del ser humano. Aportar a una mejor alimentación, nutrición u oferta de materias primas con mayor valor para los consumidores, es el compromiso actual de la actividad agrícola, claro está, garantizando un agro-ecosistema sostenible, económica y ecológicamente. La protección de cultivos, por ser de cualquier manera una intervención en el proceso, juega un papel preponderante ya que debe prevenir, controlar y/o mitigar el daño de los enemigos naturales de los cultivos con una positiva relación costo/beneficio, económico y ecológico.

Bayer, una compañía centenaria en Colombia y con más de 150 años en el mundo tiene un compromiso global cuyos lineamientos están orientados por 5 principios fundamentales para hacer de la agricultura una actividad con un futuro sustentable; Liderar la innovación en la protección y producción ayudando en los desafíos de esta actividad a través de nuevas soluciones, Apoyo a los agricultores grandes y pequeños, con tecnología, herramientas y capacitación para prosperar en el largo plazo, Conducir una intensificación de la agricultura sostenible en el largo plazo con mayor productividad de manera compatible con el medio ambiente, Mejora de la salud humana a través de un mayor valor nutricional para un suministro de alimentos sanos y Ampliar la sinergia de la colaboración, aprovechando todo el potencial de la cooperación en la agricultura moderna.

La innovación en la protección de cultivos en su evolución permanente, requiere de muchos esfuerzos en investigación y desarrollo para garantizar el resultado positivo de la ecuación, protección/costo=beneficio. Hoy en día todos los esfuerzos están enfocados no solo a la búsqueda de la solución de un problema fitosanitario sino que adicionalmente deben agregarle valor al proceso productivo, por ejemplo promoviendo el crecimiento de las plantas, generando sinergia con otras alternativas de manejo, ofreciendo tolerancia a estrés abiótico o al final con incrementos en los rendimientos de los cultivos.

Tras muchos años y centenares de pruebas en las áreas físico-química, biológica, toxicológica, eco-toxicológica y de destino ambiental, el proceso de investigación y desarrollo de una nueva molécula se realiza con un alto rigor científico, técnico y práctico usando las más diversas metodologías, equipos e infraestructura en etapas de laboratorio, invernadero, centros de investigación y campos experimentales para que al final, la molécula llegue a los campos comerciales convertida en una solución a un problema fitosanitario, con el perfil adecuado y que

se integre a otras medidas de manejo para aportar el mayor valor y beneficios para la sostenibilidad de la producción agrícola.

Desde el punto de vista físico-químico, el proceso comienza con la síntesis química de la nueva molécula, disponible en cantidades extremadamente pequeñas, de nano a miligramos, con los cuales se inician los primeros estudios de laboratorio. Tras por lo menos 2 años de investigación en esta etapa, se optimiza su síntesis y un par de años más tarde, se dará el desarrollo de los procesos de producción del ingrediente activo y del producto formulado en las primeras plantas piloto, para al final del séptimo año estar iniciando el proceso de producción comercial.

La investigación de la actividad biológica de esta nueva molécula, es estudiada desde la etapa de laboratorio con las primeras pruebas, llevadas a cabo con los más altos estándares tecnológicos como es la robotización en el tema de dosificación y aplicación, donde se evalúa su actividad, herbicida, fungicida y/o insecticida para posteriormente ser liberada a la etapa de invernadero con las pruebas de investigación a nivel de materos. Se inician luego las pruebas de campo en micro parcelas, todo esto en el lugar de origen de la molécula. A continuación entrará a una etapa de desarrollo agronómico en donde se establece su perfil técnico y su posicionamiento preliminares en la que se inician las primeras pruebas de desarrollo en campo en condiciones controladas. Esta etapa tomará de 3 a 5 años dependiendo de la diversidad de condiciones y/o manejo y es aquí donde los países más desarrollados tienen acceso a estas nuevas tecnologías. Después de 6 años en promedio se inician las pruebas de eficacia en las diferentes condiciones en los países interesados en su desarrollo para, en adelante, estar ejecutando las pruebas de eficacia para su registro.

Todo este proceso biológico y agronómico es acompañado de su conocimiento en las áreas toxicológica, eco-toxicológica y de destino ambiental donde se investiga la toxicidad aguda, sub-crónica, crónica, mutagénica, carcinogénica, teratogénica y en reproducción en mamíferos y las pruebas sobre algas, pulgas de agua, peces, aves, microorganismos, abejas y organismos no objeto de control, al igual que su comportamiento en agua, suelo y aire.

Este complejo proceso se realiza en paralelo para poder al cabo de 8 años, tener toda la información que será evaluada por las autoridades de registro en cada país, donde es muy importante resaltar que estas herramientas químicas tienen una muy clara regulación la cual se ve reflejada en la etiqueta del producto en cuanto a sus precauciones de uso, su identificación y su recomendación de manejo. Al final se construye, todo el plan de custodia y capacitación de manejo adecuado de productos para que los agricultores puedan beneficiarse de la nueva tecnología preservando el medio ambiente y la salud.

De la misma forma, luego de tanto esfuerzo, es menester garantizar que todo este conocimiento acumulado en tan maratónico proceso, se mantenga en el tiempo, lo que implica de igual manera grandes esfuerzos por lograr este compromiso, la solución debe ser, la misma siempre. Y esto se logra estandarizando la producción, que se inicia con la selección estándar de

los materiales, precedida con un proceso estándar de producción y al final un aseguramiento estándar de la calidad.

Es así como la innovación no solo se refiere a encontrar una nueva molécula u organismo biológico que pueda ofrecer todo este valor agregado, también la de asegurar que su calidad será siempre la misma y adicionalmente el conocimiento en cómo lograr ubicar en el sitio exacto y el momento preciso estos gramos de algún ingrediente activo que deben quedar homogéneamente distribuidos en la hectárea de cultivo a ser protegida. Es entonces como el asesoramiento en las técnicas de aplicación, el manejo adecuado de productos al igual que el apoyo a programas de recolección de envases, se convierten en las medidas complementarias para lograr el objetivo, la protección fitosanitaria con la minimización de riesgos al ambiente y la salud.

Para garantizar que la alternativa de solución que se ofrece cumpla su compromiso en el largo plazo, es conocido que el concepto de Manejo Integrado es la mejor alternativa, y esto es tan concreto como que en la medida en que un problema fitosanitario está presente en un cultivo es de vital importancia identificar que tantos factores están a su favor para identificar a que tantos factores debemos echarle mano para que la solución a este problema sea eficiente, viable y rentable en el corto, mediano y largo plazo.

Se llega entonces a la última fase en el proceso en donde se dará la capacitación técnica teórico-práctica con los ingenieros agrónomos representantes comerciales, para la realización de pruebas semicomerciales en los lotes de cultivo, encargándose de dar el acompañamiento en las aplicaciones en los campos comerciales de los agricultores para garantizar el correcto entendimiento de las precauciones de uso, la identificación y composición del producto y por ultimo de las recomendaciones de manejo.

Han transcurrido entre 8 y 10 años, desde que un científico en el laboratorio comenzó a trabajar con la nueva molécula, se han invertido más de €200 millones de euros, miles de expertos de las más diversas disciplinas han aportado todo su conocimiento, es el momento en que se hace realidad el compromiso corporativo de Bayer, Ciencia para una vida mejor.

Simposio 5.

Biogeografía y sistemática de insectos

Coordinador: Lucimar Gomes Dias, Ph. D.
Universidad de Caldas, Manizales.

Participantes:

Rodrigo José Guerrero, cand, Ph. D. y **Fernando Fernández**, Ph. D.
Eduardo Dominguez, Ph. D., **Daniel A. Dos Santos**, **María del Carmen Zúñiga**, Ph. D.
Joseph Eger, Ph. D.
Vivian Eliana Sandoval Gómez, Ph. D. y **Cristiano Lopes Andrade**, Ph. D.
Luis Fernando Vallejo Espinosa, Ph.D.

Explorando la distribución de las hormigas en la región Neotropical

Roberto J. Guerrero¹ y Fernando Fernández²

¹ Biólogo. Docente Programa de Biología, Universidad del Magdalena. Carrera 32 # 22-08, Santa Marta (Magdalena, Colombia). robertojoseguerrero@unmagdalena.edu.co. ² Doctor. Profesor Asistente, Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia). ffernandezca@unal.edu.co

Resumen. Las hormigas son un grupo de insectos monofilético, que evolucionaron hace más de 130 millones de años. Estos insectos son considerados como ingenieros del ecosistema pues las múltiples interacciones que exhiben son fundamentales para el sostenimiento de muchos procesos ecológicos en los ecosistemas terrestres. Particularmente, las hormigas son muy diversas; esta familia de himenópteros sobrepasa las 12.500 especies. Sin embargo, esta diversidad es inequitativa entre las regiones zoogeográficas. Una de las regiones con mayor riqueza es la región Neotropical; en esta región posee 15 subfamilias (>70%) y más del 40% de todos los géneros conocidos en todo el mundo. Atendiendo a algunas propuestas de delimitación de regiones biogeográficas dentro de la región Neotropical, en esta propuesta se explora la distribución de las hormigas en la región Neotropical. Algunas de esas regiones biogeográficas exhiben una alta diversidad de especies, además de un alto grado de endemismos. Por otra parte, algunos géneros presentan distribuciones disyuntas (*Pogonomyrex*) o muy restringidas (*Martialis*), mientras que otros son de amplia distribución, compartiéndose con otras regiones zoogeográficas. La alta diversidad de especies y la composición diferencial en la región Neotropical sugiere que la estructura de las hormigas neotropicales corresponde en mayor proporción a especies que han evolucionado *in situ*, pero también pueden encontrarse componentes productos de la dispersión.

Palabras clave: Biogeografía, endemismos, insectos, Formicidae, hiperdiversidad.

Introducción

Las hormigas (Hymenoptera: Formicidae) son insectos que habitan en casi todos los ambientes terrestres excepto en la Tundra, nieves perpetuas y regiones de páramos cubiertos de nieve (Hölldobler y Wilson 1990); además, son un componente conspicuo de la biodiversidad terrestre, reconociéndose una cifra superior a las 12.500 especies (Agosti y Johnson 2005), un número que posiciona a esta familia de insectos como un taxón hiperdiverso. No obstante, su diversidad no sólo radica en el número de especies, sino en la variabilidad de hábitos alimenticios, dominancia en los ecosistemas terrestres sobre todo en bosques tropicales, una amplia gama de simbiontes, complejidad en su comportamiento social (Hölldobler y Wilson 1990), y un registro fósil muy rico (LaPolla *et al.* 2013).

Todas esas cualidades biológicas son exhibidas por una familia monofilética, que evolucionó hace más de 130 millones de años atrás (Brady *et al.* 2006; Moreau *et al.* 2006; Moreau y Bell 2013), y cuya característica morfológica más relevante es la glándula metapleurale, una estructura capaz de producir más de 30 tipos de secreciones variable entre especies (Yek y Muller 2011). Tanto los análisis cladísticos morfológicos (Baroni Urbani *et al.* 1992; Keller 2011) como aquellos análisis moleculares (*e.g.*, Brady *et al.* 2006; Moreau y Bell 2013) respaldan la monofilia de las hormigas, sin embargo, entre análisis se pueden encontrar variantes en la estructura de la topologías.

En esta contribución se exponen datos sobre la riqueza y composición de las hormigas en la región Neotropical; así mismo, se exploran los patrones de distribución y se sugieren procesos que han podido influir en tales patrones. Toda la información utilizada para elucidar el patrón de distribución, fue obtenida de revisiones taxonómicas regionales o locales, análisis filogenéticos, investigaciones ecológicas, entre otros; por lo tanto, los resultados presentados aquí no surgen de la aplicación de métodos biogeográficos sino del análisis condensado de información variada.

Tantas hormigas? Algunos números y proporciones

La alta diversidad de especies de hormigas sobrepasa las 12.700 especies (Bolton *et al.* 2007; Ward 2010), distribuidas en 308 géneros y 21 subfamilias (Bolton *et al.* 2007; Rabeling *et al.* 2008). A pesar de su distribución cosmopolita, la riqueza y composición es desigual entre las diferentes regiones zoogeográficas (Bolton 1995; Fisher 2010); de acuerdo a esto, la región Neotropical es considerada como la de mayor concentración de diversidad (Fisher 2010). En el nivel taxonómico de subfamilia, el Neotrópico posee 15 subfamilias y un grado de endemismo del 19%, muy superior a cualquier otra región zoogeográfica. Así mismo, esta región ocupa el primer lugar en géneros de formícidos, representando *c.a.* 42% del total mundial; además posee el mayor grado de endemismo genéricos entre todas las regiones (Fig. 1), lo cual representa el 17% de todos los géneros reconocidos y casi la mitad de los géneros restringidos a una región, seguida sólo por África con 31 géneros endémicos (Bolton *et al.*, 2007; Fig. 1).

Recientemente, Moreau y Bell (2013) concluyeron que la región Neotropical ha impulsado la evolución de muchas nuevas especies y quizás taxones por encima del rango específico; así mismo, esta ha actuado como un museo al albergar taxones filogenéticamente “viejos”. Analizando la composición de las hormigas a niveles supra-específicos, tales apreciaciones cobran sentido. Existen cuatro subfamilias restringidas a toda América: *Agroecomyrmecinae*, *Ecitoninae*, *Leptanilloidinae* y *Martialinae* (Tabla 1). Exceptuando a *Ecitoninae*, el resto de las subfamilias son exclusivas de la región Neotropical, limitando su distribución hasta el extremo sur de México. Por otra parte, algunos géneros de la fauna de hormigas del Neotrópico se comparten en gran proporción con la región Neártica y la Indo-australiana. Por el contrario, hay muy poco en común con la región Paleártica y ningún grupo endémico entre las dos regiones. Tampoco se comparten géneros de manera exclusiva con el continente africano, ya que estos corresponden a géneros

ampliamente distribuidos entre las regiones tropicales (e.g., *Sphinctomyrmex*; Guénard *et al.* 2010).

Tabla 1. Lista de las subfamilias y géneros de hormigas distribuidas en la región Neotropical.

Subfamilia	Género
Agroecomyrmecinae	<i>Tatuidris</i>
Amblyoponinae	<i>Stigmatomma</i> , <i>Paraprionopelta</i> , <i>Prionopelta</i>
Cerapachyinae	<i>Acanthosticus</i> , <i>Cerapachys</i> , <i>Cylindromyrmex</i> , <i>Sphinctomyrmex</i>
Dolichoderinae	<i>Anillidris</i> , <i>Azteca</i> , <i>Bothriomyrmex</i> , <i>Dolichoderus</i> , <i>Dorymyrmex</i> , <i>Forelius</i> , <i>Gracilidris</i> , <i>Linepithema</i> , <i>Liometopum</i> , <i>Tapinoma</i> , <i>Technomyrmex</i>
Ecitoninae	<i>Cheliomyrmex</i> , <i>Eciton</i> , <i>Labidus</i> , <i>Neivamyrmex</i> , <i>Nomamyrmex</i>
Ectatomminae	<i>Ectatomma</i> , <i>Gnamptogeny</i> , <i>Typhlomyrmex</i>
Formicinae	<i>Acropyga</i> , <i>Brachymyrmex</i> , <i>Camponotus</i> , <i>Formica</i> , <i>Gigantiops</i> , <i>Lasiophanes</i> , <i>Lasius</i> , <i>Myrmecosistus</i> , <i>Myrmelachista</i> , <i>Nylanderia</i> , <i>Paratrechina</i> , <i>Polyrachis</i> , <i>Prenolepis</i>
Heteroponerinae	<i>Acanthoponera</i> , <i>Heteroponera</i>
Leptanilloidinae	<i>Amyrmex</i> , <i>Asphinctanilloides</i> , <i>Leptanilloides</i>
Martialinae	<i>Martialis</i>
Myrmicinae	<i>Acanthognathus</i> , <i>Acromyrmex</i> , <i>Adelomyrmex</i> , <i>Allomerus</i> , <i>Aphaenogaster</i> , <i>Apterostigma</i> , <i>Atta</i> , <i>Bariamyrmex</i> , <i>Basiceros</i> , <i>Blepharidatta</i> , <i>Cardiocondyla</i> , <i>Carebara</i> , <i>Carebarella</i> , <i>Cephalotes</i> , <i>Crematogaster</i> , <i>Cryptomyrmex</i> , <i>Cyphomyrmex</i> , <i>Daceton</i> , <i>Diaphoromyrma</i> , <i>Eurhopalothrix</i> , <i>Formicoxenus</i> , <i>Hylomyrma</i> , <i>Kalathomyrmex</i> , <i>Lachnomyrmex</i> , <i>Lenomyrmex</i> , <i>Leptothorax</i> , <i>Megalomyrmex</i> , <i>Messor</i> , <i>Monomorium</i> , <i>Mycetagoicus</i> , <i>Mycetarotes</i> , <i>Mycetophylax</i> , <i>Mycetosoritis</i> , <i>Mycocepurus</i> , <i>Myrmecina</i> , <i>Myrmica</i> , <i>Myrmicocrypta</i> , <i>Nesomyrmex</i> , <i>Ochetomyrmex</i> , <i>Octostruma</i> , <i>Oxyepoecus</i> , <i>Paramycetophylax</i> , <i>Perissomyrmex</i> , <i>Phalacromyrmex</i> , <i>Pheidole</i> , <i>Pogonomyrmex</i> , <i>Procryptocerus</i> , <i>Protalaridris</i> , <i>Pseudoatta</i> , <i>Rhopalothrix</i> , <i>Rogeria</i> , <i>Sericomyrmex</i> , <i>Solenopsis</i> , <i>Stegomyrmex</i> , <i>Stenamma</i> , <i>Strumigenys</i> , <i>Talaridris</i> , <i>Temnothorax</i> , <i>Tetramorium</i> , <i>Trachymyrmex</i> , <i>Tranopelta</i> , <i>Tropidomyrmex</i> , <i>Wasmannia</i> , <i>Xenomyrmex</i>
Paraponerinae	<i>Paraponera</i>
Ponerinae	<i>Anochetus</i> , <i>Belonopelta</i> , <i>Centromyrmex</i> , <i>Cryptopone</i> , <i>Dinoponera</i> , <i>Hypoponera</i> , <i>Leptogenys</i> , <i>Odontomachus</i> , <i>Pachycondyla</i> , <i>Platythyrea</i> , <i>Simopelta</i> , <i>Thaumatomyrmex</i>
Proceratiinae	<i>Discothyrea</i> , <i>Probolomyrmex</i> , <i>Proceratium</i>
Pseudomyrmecinae	<i>Myrcidris</i> , <i>Pseudomyrmex</i>

Explorando patrones de distribución en la región Neotropical

A continuación se proponen algunas áreas del Neotrópico que se perfilan como lugares con una diversidad (o endemismos) mayor que las áreas circundantes, todo referido a Formicidae (Fig. 3). Las fuentes principales de información sobre la distribución de hormigas son revisiones taxonómicas (*e.g.*, Bolton 2000; Cuzzo 2000). Las regiones corresponden al esquema de Morrone (2001) y algunas apreciaciones de Lattke (2003). Además, se incluyen datos sobre la fauna Neártica ya que varios taxones de hormigas de América del Norte, han extendido su ámbito de distribución hasta el Neotrópico.

Para iniciar, las hormigas repletas del género *Myrmecocystus*, el cual es típico de América del Norte, extiende su límite meridional hasta el altiplano mexicano (Snelling 1976). *Aphaenogaster* es más diverso en la región Paleártica (77 especies) y Neártica (19 especies) pero existen ocho especies en el Neotrópico; la mayor diversidad está en Centroamérica, pero algunas especies registradas para Colombia (Fernández *et al.* 1996) y Venezuela (Guénard *et al.* 2010). Otro componente muy importante es el género *Stenamma*, que cuenta con 17 especies descritas para la región Neártica y 40 especies Neotropicales distribuidas desde Centroamérica (mayor diversidad, >30 especies) hasta Colombia y Ecuador (Branstetter 2009, 2013); es posible que *Stenamma* haya “prosperado” evolutivamente debido a la afinidad con climas de bosques nublados de montaña, las cuales presentan condiciones climáticas parecidas a la de regiones templadas (Longino y Hanson 1995). *Formica*, un taxón típicamente holártico, está representando en la región Neotropical por seis especies, incluyendo algunas especies del grupo *fusca* cuya distribución llega hasta Veracruz, México (Francoeur 1973).

La fauna de hormigas chilena es muy pobre en comparación con el resto de la fauna latinoamericana; Chile, sólo presenta un 10% de los géneros de Suramérica (Snelling y Hunt 1975). Algunos componentes ausentes de tierras chilenas son la subfamilia Ecitoninae, las tribus Attini, Cephalotini y Dacetini y el género *Crematogaster*, taxones Myrmicinae muy comunes en otras áreas de la región Neotropical. A pesar de esto, esta región posee un número nada despreciable de especies endémicas, casi el 55% de 62 especies (Snelling y Hunt 1975). Por otra parte, existe una afinidad mirmecofaunística con Argentina, pero algunas especies son más cercanas con otras regiones zoogeográficas; por ejemplo, el pariente más cercano de *Monomorium denticulatus* (Heterick 2001) habita en Australia. El género *Lasiophanes*, endémico a Chile y Argentina, es el único grupo americano dentro de la Tribu Melophorini (Bolton 1995), donde los demás miembros son casi exclusivamente australianos, exceptuando algunas especies esparcidas en Nueva Guinea y Nueva Zelanda (Shattuck 1999).

Una región Neotropical *sensu stricto* corresponde al trópico americano, desde el norte de México hasta el centro de la Argentina (Morrone 2001). Tomando a América Central como base del análisis, algunos géneros como *Apterostigma*, *Blepharidatta*, *Eciton*, *Lachnomyrmex*, *Myrmicocrypta*, *Octostruma*, *Platythyrea* y *Typhlomyrmex*, alcanzan su límite septentrional en los alrededores de Veracruz (sur de México). Especies endémicas registradas para esta zona

corresponden a *Acromyrmex*, *Adelomyrmex*, *Apterostigma*, *Basiceros*, *Belonopelta*, *Cyphomyrmex*, *Pogonomyrmex*, *Pseudomyrmex*, *Pyramica*, *Rogeria*, *Sericomyrmex*, *Stenamma*, *Strumigenys*, *Trachymyrmex*, entre otros. El género *Adelomyrmex* tiene mayor diversidad de especies en Centroamérica que en Suramérica (Fernández 2003). Otros géneros restringidos a Costa Rica son *Perissomyrmex* (Longino y Hartley 1995) y *Bothriomyrmex* (Dubovikoff y Longino 2004). De acuerdo a los datos de distribución, la fauna de hormigas parece ser mayoritariamente de origen suramericano con algunos elementos derivados de la región Paleártica (e.g., *Bothriomyrmex* y *Perissomyrmex*).

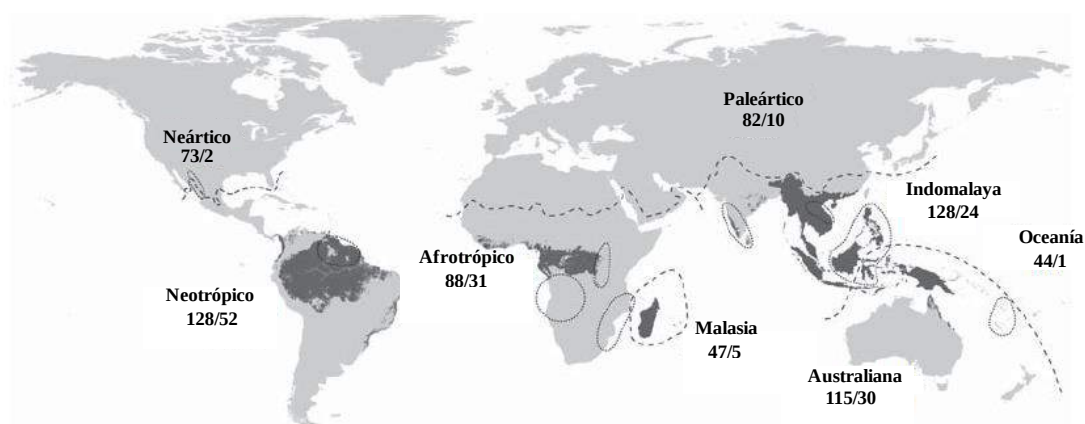


Figura 1. Número de géneros nativos y endémicos en las diferentes regiones Biogeográficas del mundo. Los límites están indicados por las líneas punteadas largas. Tomado y modificado de Fisher (2010).

Observando en el Caribe (Antillas mayores y menores), la fauna es pobre y no hay géneros endémicos de hormigas, pero al igual que Chile los endemismos a nivel de especies son proporcionalmente altos. La fauna cubana tiene casi el 50% de especies de hormigas endémicas a la isla y La Española tiene un 36% de especies endémicas (Wilson 1988). La fauna muestra una afinidad con América del Sur, excepto por algunos elementos como *Aphaenogaster* con una especie en La Española además de fósiles en ámbar. La explicación de la relación de estas islas con la fauna suramericana esta aunada a la existencia de una conexión terrestre con el norte de Suramérica durante el Eoceno Tardío-Oligoceno Temprano (Iturralde-Vinent y MacPhee 1999). Sin embargo, es posible que procesos dispersalistas desde el sur de Norteamérica hayan hecho “mella” en la composición de la fauna caribeña. La dispersión entre las islas podría ejemplificarse con la hormiga cultivadora de hongos *Mycocepurus smithii*, que se encuentra muy difundida por las playas del Caribe (Lattke 2003).

Una región interesante debido a su alta heterogeneidad corresponde al Chocó, la cual abarca desde Costa Rica hasta Ecuador, incluyendo occidente del istmo de Panamá, Chocó, Magdalena, Cauca y occidente de Ecuador (Morrone 2001). Hay especies endémicas en los

géneros *Anochetus*, *Atta*, *Belonopelta*, *Carebabra*, *Cephalotes*, *Crematogaster*, *Dolichoderus*, *Eciton*, *Gnamptogenys*, *Leptanilloides*, *Leptogenys*, *Megalomyrmex*, *Odontomachus*, *Pachycondyla*, *Pheidole*, *Pogonomyrmex*, *Probolomyrmex*, *Pseudomyrmex*, *Pyramica*, *Simopelta*, *Stenamma*, *Strumigenys*, *Stegomyrmex* y *Technomyrmex*. Dos géneros endémicos, *Lenomyrmex*, distribuidos desde Panamá hasta Ecuador (Fernández y Palacio 1999), y *Protalaridris*, conocido en Colombia y Ecuador (Brown 1980a, b). Así mismo, esta zona alberga a las dos únicas especies del género *Technomyrmex* (*T. fulvus* y *T. gorgona*; Fernández y Guerrero 2008), el cual concentra su diversidad en la región Indo-Malaya (Bolton *et al.* 2007). En el Chocó se encuentran que más de la mitad de las especies americanas de *Gnamptogenys* están presentes en Colombia y Ecuador (Lattke *et al.* 2007). La riqueza de especies en *Apterostigma* también tiene un pico en esta zona (Lattke 1997).

Brasil es uno de los países con una fauna de hormigas impresionante. Tal vez su vasta extensión de tierra y heterogeneidad de paisajes ha permitido la evolución de tan alta diversidad de especies. Al analizar la región del bosque atlántico brasileño (SE de Brasil) surgen datos interesantes. Por ejemplo, existen dos especies de *Sphinctomyrmex*, un género que registra dos especies en África, tres en la región oriental e Indoaustraliana y 16 en Australia (Bolton 1995); la distribución tan discontinua sugiere que *Sphinctomyrmex* en América podría ser de origen gondwánico o un caso de dispersión transatlántica (Lattke 2003). Asimismo, la única especie americana de Phalacromyrmecini, *Phalacromyrmex fugax*, habita al SE de Brasil.

La cuenca Orinoco-Amazonas, incluye muchos accidentes topográficos como el Escudo Guayanés y no menos de 10 provincias (Morrone 2001). Actualmente se tienen muchos registros de géneros endémicos como *Asphinctanilloides*, *Daceton*, *Gigantiops*, *Martialis*, *Mycetarotes* y *Myrcidris*. Además, un alto número de especies endémicas en *Acanthostichus*, *Anochetus*, *Apterostigma*, *Basiceros*, *Cephalotes*, *Crematogaster*, *Cylindromyrmex*, *Dinoponera*, *Dolichoderus*, *Gnamptogenys*, *Megalomyrmex*, *Ochetomyrmex*, *Octostruma*, *Odontomachus*, *Pseudomyrmex*, *Pyramica*, *Strumigenys* y *Trachymyrmex*.

¿Por qué estos patrones?

Una de las hipótesis que intenta explicar estos patrones de diversidad, se basa en los cambios climáticos cíclicos asociados a las glaciaciones del Pleistoceno, que redujeron significativamente las selvas, dejando algunos remanentes boscosos que sirvieron de refugios ecológicamente aptos y propicios para los procesos de especiación. Ward (1999) postula diferentes eventos de especiación previos al Pleistoceno en el grupo *viduus* de *Pseudomyrmex* que está distribuido en la cuenca amazónica. También podría sugerirse la dispersión a través de las sabanas y zonas áridas, como áreas potencialmente útiles para aquellos corredores especies adaptadas a tales condiciones extremas; por ejemplo, algunas especies de *Dorymyrmex* que anidan en arena (Cuezzo y Guerrero 2012).

Las Orogenias también han favorecido la diversificación de la fauna de hormigas, tanto por sus efectos vicariantes como por sus efectos sobre el clima regional. El levantamiento de los Andes dividió la fauna a ambos lados y también separó poblaciones entre los múltiples valles andinos, notándose este efecto más en el norte donde el levantamiento fue más reciente que en el sur. Esto se ejemplifica con la cuenca alta del Amazonas y también en el Chocó y la cordillera Occidental de Colombia. Las montañas en el Chocó no son demasiada altas, no hay picos nevados, y están dentro de uno de los sitios con mayor pluviosidad conocido y una de las más ricas en especies vegetales. La división de faunas por la cordillera andina se refleja en las especies hermanas *Apterostigma carinatum* y *A. tropicoxa* (Lattke 1997). La primera está distribuida desde el noreste peruano hasta el noreste brasileño, y la segunda especie se conoce del suroeste colombiano (Lattke 2003).

Conclusión

El patrón de distribución de la fauna de hormigas en la región Neotropical no es homogéneo. Algunos géneros como *Forelius* y *Pogonomyrmex* exhiben distribuciones disjuntas, con altas concentraciones de especies hacia el cono sur de América del Sur y las zonas áridas sureñas de la región Neártica; ambos géneros evidentemente han “saltado” la humedad del Amazonas, estableciéndose en zonas áridas tanto caliente como frías (Guerrero y Fernández 2008). Por otro lado, algunas subfamilias, géneros y muchas especies, se restringen a zonas Neotropicales con características ecológicas interesantes. Por ejemplo, el Chocó que alberga representantes paleárticos como *Technomyrmex* (Fernández y Guerrero 2008), o el Amazonas brasileño, región donde habita *Martialis heureka* (Martialinae), uno de los hallazgos más recientes e “inesperados” en la mirmecología, que ha conllevado a replantear las hipótesis sobre la evolución de las hormigas modernas; si esta hormiga es o no el linaje hermano al resto de las hormigas, es un aspecto importante por resolver, sin embargo, independiente de ese aspecto, la región Neotropical ha sido relevante para la diversificación de las hormigas modernas, puesto que durante la evolución de este grupo de insectos ha actuado como un centro de diversificación, donde proporcionalmente surgen más especies de las que pueden extinguirse de manera natural, y como un centro donde a lo largo del tiempo evolutivo se han acumulado especies muy viejas (Moreau y Bell 2013)

Literatura citada

- AGOSTI, D.; JOHNSON, N. F. Editors. 2005. www.antbase.org. Fecha última revisión: 13 septiembre 2001. Fecha último acceso: [10 mayo 2013]
- BARONI URBANI, C.; BOLTON, B.; WARD, P. S. 1992. The internal phylogeny of ants (Hymenoptera: Formicidae). *Systematic Entomology* 17: 301-329.
- BOLTON, B. 1995. A taxonomic and zoogeographical census of the extant ant taxa (Hymenoptera: Formicidae). *Journal of Natural History* 29: 1037-1056.

- BOLTON, B. 2000. The ant tribe Dacetini Memoirs of the American Entomological Institute 65: 1-1028.
- BOLTON, B.; ALPERT, G.; WARD, P. S.; NASRECKI, P. 2007. Bolton's Catalogue of Ants of the World. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, CD-ROM.
- BRADY, S. G., FISHER, B. L.; SCHULTZ, T. R.; WARD, P. S. 2006. Evaluating alternative hypotheses for the early evolution and diversification of ants. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 103: 18172-18177 p.
- BRANSTETTER, M. G. 2009. The ant genus *Stenamma* Westwood (Hymenoptera: Formicidae) redefined, with a description of a new genus *Propodilobus*. *Zootaxa* 2221: 41-58.
- BRANSTETTER, M. G. 2013. Revision of the Middle American clade of the ant genus *Stenamma* Westwood (Hymenoptera, Formicidae, Myrmicinae). *ZooKeys* 295: 1-277.
- CUEZZO, F. 2000. Revisión del género *Forelius* (Hymenoptera: Formicidae: Dolichoderinae). *Sociobiology* 35: 197-277.
- CUEZZO, F.; GUERRERO, R. J. 2012. The ant genus *Dorymyrmex* Mayr (Hymenoptera: Formicidae: Dolichoderinae) in Colombia. *Psyche* doi:10.1155/2012/516058.
- DUBOVIKOFF, D. A.; LONGINO, J. T. 2004. A new species of the genus *Bothriomyrmex* Emery, 1869 (Hymenoptera: Formicidae: Dolichoderinae) from Costa Rica. *Zootaxa* 776: 1-10.
- FERNÁNDEZ, F. 2003. Revision of the myrmicine ants of the *Adelomyrmex* genus-group (Hymenoptera: Formicidae). *Zootaxa* 361: 1-5.
- FERNÁNDEZ, F.; GUERRERO, R. J. 2008. *Technomyrmex* (Formicidae: Dolichoderinae) in the New World: synopsis and description of a new species. *Revista Colombiana de Entomología* 34: 110-115.
- FERNÁNDEZ, F.; PALACIO, E. E. 1999. *Lenomyrmex*, an enigmatic new ant genus from the Neotropical Region (Hymenoptera: Formicidae: Myrmicinae). *Systematic Entomology* 24: 7-16.
- FISHER, B. L. 2010. Biogeography. pp.: 3-17. En: Lach, L; Parr, C.L.; Abbott, K. L. (Eds.). *Ant Ecology*. Oxford University press, Nueva York, EEUU. 402 p.
- FRANCOEUR, A. 1973. Révision taxonomique des espèces néartique du groupe *fusca*, genre *Formica* (Formicidae, Hymenoptera). *Mémoires de la Société Entomologique du Québec* 3:1-316.
- GUÉNARD, B.; WEISER, M. D.; DUNN, R. R. 2010. Ant Genera of the World. http://www.antmacroecology.org/ant_genera/index.html. Fecha última revisión: 01 enero 2001. Fecha último acceso: [10 de mayo de 2013]
- GUERRERO, R.; FERNÁNDEZ, F. 2008. A new species of the ant genus (Formicidae: Dolichoderinae) from the dry forest of Colombia. *Zootaxa* 1958: 51-60.
- HETERICK, B. E. 2001. Revision of the Australian ants of the genus *Monomorium* (Hymenoptera: Formicidae). *Invertebrate Taxonomy* 15: 353-459.
- HÖLLDOBLER, B. y WILSON, E. O. 1990. The ants. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, EEUU. 732 p.
- ITURRALDE-VINENT, M. A.; MACPHEE, R. D. 1999. Paleogeography of the Caribbean Region: implications for Cenozoic biogeography. *Bulletin of the American Museum of Natural History* 238: 1-95.
- KELLER, R. A. 2011. A phylogenetic analysis of ant morphology (Hymenoptera: Formicidae) with special reference to the poneromorph subfamilies. *Bulletin of the American Museum of Natural History* 355: 1-90.

- LAPOLLA, J. S., DLUSSKY, G. M.; PERRICHOT, V. 2013. Ants and the fossil record. *Annual Review of Entomology*, 58: 609-630.
- LATTKE, J. E. 1997. Revisión del Género *Apterostigma* Mayr (Hymenoptera: Formicidae). *Arquivos de Zoologia (São Paulo)* 34: 121-221.
- LATTKE, J. E. 2003. Biogeografía de las hormigas Neotropicales. Pp: 65-87. En: Fernández, F. (Ed.). *Introducción a las Hormigas de la región Neotropical*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia. 398 p.
- LATTKE, J. E.; FERNÁNDEZ, F.; PALACIO, E. E. 2007. Identification of the species of *Gnamptogenys* Roger in the Americas, pp. 254-270. En: R. R Snelling; Fisher, B. L.; Ward, P. S. (Eds.). *Advances in ant systematics (Hymenoptera: Formicidae): Homage to E. O. Wilson – 50 years of contributions*. *Memoirs of the American Entomological Institute*, 80 p.
- LONGINO, J.; HANSON, P. 1995. The ants (Formicidae). Pp. 588-620. En: P. Hanson y I. Gauld (Eds.). *The Hymenoptera of Costa Rica*. Oxford University Press, Nueva York, EEUU. 920 p.
- LONGINO, J.; HARTLEY, D. 1994. *Perissomyrmex snyderi* (Hymenoptera: Formicidae) is native to Central America and exhibits worker polymorphism. *Psyche* 101: 195-202.
- MORRONE, J. J. 2001. Biogeografía de América Latina y el Caribe. *Manuales & Tesis SEA*, N° 3, Sociedad Entomológica Aragonesa, Zaragoza, España. 148 p.
- MOREAU, C. S.; BELL, C. D.; Vila, R.; ARCHIBALD, S. B.; PIERCE, N. E.. 2006. Phylogeny of the ants: Diversification in the age of angiosperms. *Science*, 312:101-104.
- MOREAU, C. S.; BELL, C. D. 2013. Testing the museum versus cradle tropical biological diversity hypothesis: phylogeny, diversification, and ancestral biogeographic range evolution of the ants. *Evolution* doi:10.1111/evo. 12105.
- RABELING, C.; BROWN, J. M.; VERHAAGH, M. 2008. Newly discovered sister lineage sheds light on early ant evolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 105: 14913-14917.
- SHATTUCK, S. 1999. *Australian ants, their biology and identification*. C.S.I.R.O Publishing, Victoria, Australia. 226 p.
- SNELLING, R. 1976. A revision of the honey ants, genus *Myrmecocystus* (Hymenoptera: Formicidae). *Natural History Museum of Los Angeles County Museum Bulletin* 24: 1-163.
- SNELLING, R.; HUNT, J. 1975. The ants of Chile (Hymenoptera: Formicidae). *Revista Chilena de Entomología* 9: 63-129.
- WILSON, E. O. 1988. The biogeography of West Indian ants (Hymenoptera: Formicidae). Pp.: 214-230. En: Liebherr, J. K. (Ed.). *Zoogeography of Caribbean insects*. Cornell University Press, Ithaca, EEUU. 304 p.
- YEK, S. H.; MUELLER, U. G. 2011. The metapleural gland of ants. *Biological Reviews*, 86: 774-791. doi: 10.1111/j.1469-185X.2010.00170.x

Análisis de redes en sistemática y biogeografía: ejemplos en co-autoría y simpatría de Ephemeroptera de América del Sur

Eduardo Domínguez¹, Daniel A. Dos Santos² y María del Carmen Zúñiga³

¹ Instituto de Biodiversidad Neotropical, CONICET-Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Tucumán, Miguel Lillo 205, 4.000 Tucumán, Argentina. mayfly@unt.edu.ar. ² Instituto de Biodiversidad Neotropical, CONICET-Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Tucumán, Miguel Lillo 205, 4.000 Tucumán, Argentina. pseudalopex_79@yahoo.com. ³ Departamento de Biología-Grupo de Investigaciones Entomológicas, Facultad de Ciencias, Universidad del Valle, Cali, Colombia. maczuniga@gmail.com.

Resumen. Se introducen conceptos fundamentales de Teoría de Redes aplicándolos al estudio de relaciones de co-autoría y relaciones espaciales entre especies. Como caso de estudio se utilizaron registros confirmados de presencia y datos bibliográficos sobre especies de Ephemeroptera descriptas en América del Sur. El análisis de la red de co-autoría (inferida a partir de los autores involucrados en su descripción) reveló numerosas comunidades de investigación influenciadas por los factores de especialidad taxonómica y procedencia geográfica. Se destacó además una tendencia en el tiempo a la colaboración entre autores de la región. En el análisis biogeográfico fue posible detectar en la red de simpatría subyacente numerosos grupos de especies co-distribuidas. Al cruzar la información filogenética con la de los patrones geográficos, fue posible descubrir instancias de progresión filogenética en el eje andino y de vicarianza entre Amazonía y la Mata Atlántica.

Palabras clave: Taxonomía, simpatría, co-distribución, vicarianza.

Introducción

Las redes son colecciones de elementos (nodos o vértices) conectados por algunas relaciones de interés (aristas o enlaces). Estas estructuras se presentan en diferentes sistemas (sociales, infraestructuras de transportes, sistemas biológicos, etc.). El estudio de sus patrones de conexión, dentro de un contexto de redes, puede llevar a nuevos y útiles enfoques (Newman 2010), además de servir como usina epistemológica de la cual surgen preguntas creativas de investigación. Considerando que ciertos aspectos del conocimiento sistemático y biogeográfico de las efímeras pueden ser abstraídos en término de redes, con este ejemplo biológico se ilustrarán las potencialidades que tienen para el investigador algunas de las técnicas cuantitativas provistas por la teoría de redes.

El conocimiento de la diversidad de Ephemeroptera (Insecta) de América del Sur está avanzando rápidamente en la actualidad. Como una medida de esto, según los datos aportados por el catálogo más reciente (Domínguez *et al.* 2011), si graficamos el número acumulado de

especies descritas por año, la tendencia resultante puede ajustarse satisfactoriamente con una función exponencial. Nos pareció interesante estudiar procesos ligados a este fenómeno como ser la interacción entre los autores en función de su procedencia y a lo largo del tiempo. Estas relaciones, que reflejan contextos sociales y económicos, toman formas reticuladas, debido a las interacciones complejas entre los diferentes autores. Por esta razón, se consideró que sería interesante realizar un análisis de redes para ver si existía algún patrón de interacción en la red de co-autoría emergente, teniendo en cuenta tanto los países de procedencia de los investigadores como su membresía a diferentes grupos de investigación.

Además del avance en los aspectos sistemáticos (descripción de especies, elaboración de claves, propuesta de filogenias, etc.), se produjo una mejora correlacionada en la compilación de sus datos de distribución, con el rasgo facilitador de estar la mayoría de las localidades resueltas al nivel de punto geográfico gracias a la georeferenciación con GPS. La afinidad distribucional entre especies es otro tipo de relación susceptible de ser estudiada con teoría de redes. Por esta razón, se encaró un estudio distribucional de los diferentes taxones, comparando sus mapas de distribución a los efectos de inferir un conjunto de relaciones espaciales entre ellos. En este caso, la red resultante se compone de taxones conectados por vínculos de simpatría, lo que constituye una red natural en biogeografía. Las distribuciones de los organismos acuáticos, especialmente las de aquellos que habitan ambientes lóticos, presentan características particulares, como ser la de reproducir la naturaleza lineal y divergente de los ríos. Por esta razón, los métodos basados en grillas o UGOs (unidades operativas geográficas) no resultan adecuados dado lo arbitrario que entraña el uso de unidades predefinidas de análisis (celdas, áreas, etc.) para codificar las distribuciones. Para hacer más eficiente la utilización de la información disponible, el método NAM (Network Analisis Method) (Dos Santos *et al.*, 2008, 2012) permite, además de estudiar patrones de co-distribución desde la perspectiva de redes, usar la información original (localidades puntuales de colecta) sin someterlos previamente a artificios de distribución. Resumiendo, el presente trabajo procura comunicar aplicaciones de teoría de redes a través de dos ejemplos: (i) la red de co-autoría de sistemáticos implicados en la descripción de efímeras sudamericanas y (ii) la red de simpatría asociada a los datos distribucionales de dichas efímeras.

Materiales y métodos

Para la red de co-autoría, se elaboró una lista de publicaciones referidas a la descripción de especies de Ephemeroptera de América del Sur. A partir de dicha lista, se filtraron especies con status de válidas hasta fines de 2012. Se extrajeron los siguientes datos: autores por especie, año de publicación y origen de los autores. Se construyó una red de co-autoría donde dos autores quedan conectados a través de un enlace si los mismos comparten créditos en la descripción de especies válidas. Se asignó a cada enlace un peso proporcional a la frecuencia con la que el respectivo par de autores colabora en la descripción. (Domínguez & Dos Santos, in prep.). Una vez construida la red de co-autoría, se analizó en ella la formación de comunidades de investigación y

se estudió el grado de mezcla en su estructura de interrelaciones teniendo en cuenta la procedencia de los autores. La red de co-autoría fue procesada y visualizada a través del complemento para Excel NodeXL (Smith *et al.* 2010).

Para la red de simpatría, se compilaron registros geográficos de distribución a partir de las localidades de los ejemplares sudamericanos depositados en las Colecciones del Instituto-Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina y en el Museo de Entomología de la Universidad del Valle, Cali, Colombia. Sumado a ello, se recopilamos las localidades a partir de todas las publicaciones disponibles de Ephemeroptera, en las que las determinaciones fueran confiables y se encontraran a nivel de especie. Las que estaban disponibles como coordenadas fueron utilizadas directamente, y en los casos donde sólo se citaban nombres de localidades, se procedió a establecer sus coordenadas ubicándolas en el navegador de imágenes de Google Earth. Fueron descartadas aquellas localidades con referencias muy imprecisas, y en las que no fue posible una obtención confiable de sus coordenadas. Los patrones distribucionales fueron analizados con el paquete SyNet 2.0 (Dos Santos, 2012) disponible en <http://www.cran.r-project.org>, el cual corre sobre la plataforma R para análisis estadísticos e implementa el método NAM. Luego del estudio geográfico orientado a extraer grupos de especies co-distribuidos, se procedió a analizar el contenido filogenético de sus expresiones espaciales, cruzando esta información espacial con la de los nodos de las filogenias disponibles (Molineri *et al.* 2010).

Resultados y discusión

Sistemática. Se detectaron diferentes comunidades de investigación dentro de la red de co-autoría. Estas comunidades pueden explicarse principalmente por la especialidad y por la pertenencia de los autores. A lo largo del tiempo se verifica un pasaje de una red atomizada compuesta por autores publicando aisladamente, hacia una red en la que la mayoría de los autores quedan conectados en un único componente dominante. Según la procedencia de los autores, se pueden notar dos tendencias principales: autores que tienden a colaborar sólo con connacionales en oposición a otros que son más proclives a interactuar con autores de otras nacionalidades.

Biogeografía. El análisis de los datos geográficos vía NAM reveló diferentes unidades de co-distribución (grupos de especies endémicas y cohesivamente simpátricas entre sí, y simultáneamente alopátricas con otras) que ocupan diferentes áreas de América del Sur. Se seleccionaron las más representativas para mostrar sus características particulares, y luego se las contrastó con las filogenias disponibles para analizar la existencia de componentes históricos. Entre los resultados más conspicuos se pueden mencionar: 1) la naturaleza anidada y latitudinalmente sectorizada de los complejos distribucionales que se encuentran en Patagonia y

Noroeste de Argentina; 2) la progresión filogenética a lo largo del gradiente latitudinal sobre el eje andino; y 3) la relación vicariante entre taxones distribuidos en Amazonia y la Mata Atlántica.

Literatura citada

- DOMÍNGUEZ, E.; HUBBARD, M. D.; PESCADOR, M. L.; MOLINERI, C.; NIETO, C. 2011. Checklist of South American species of Ephemeroptera. <http://www.ephemeroptera-galactica.com/sacatdecember2012.pdf>
- DOMÍNGUEZ, E.; DOS SANTOS, D.A. In prep. Funding, author network interaction and publications: a case of study with South American Ephemeroptera (Insecta).
- DOS SANTOS, D.A. 2012. SyNet 2.0: An R package for analysis and inference of sympatry networks.
- DOS SANTOS, D. A.; FERNÁNDEZ, H. R.; CUEZZO, M. G., E. DOMÍNGUEZ. 2008. Sympatry Inference and Network Analysis in Biogeography. *Systematic Biology* 57: 432-448.
- DOS SANTOS, D. A.; CUEZZO, M. G.; REYNAGA, C.; DOMÍNGUEZ, E. 2012. Towards a Dynamic Analysis of Weighted Networks in Biogeography. *Systematic Biology* 61(2): 240-252.
- MOLINERI, C.; NIETO, C.; DOMÍNGUEZ E.; DOS SANTOS D.A. 2010. Biogeography of South American Ephemeroptera. Austral insect patterns: phylogenetics and biogeography of austral insects. VI Southern Connection Congress, San Carlos de Bariloche, Río Negro (Argentina): Universidad Nacional del Comahue.
- NEWMAN, M.E.J. 2010. Networks: An introduction. Oxford (UK). Oxford University Press. 772 p.
- SMITH, M.; MILIC-FRAYLING, N.; SHNEIDERMAN, B.; MENDES RODRIGUES, E.; LESKOVEC, J.; DUNNE, C. 2010. NodeXL: a free and open network overview, discovery and exploration add-in for Excel 2007/2010, <http://nodexl.codeplex.com/> from the Social Media Research Foundation, <http://www.smrfoundation.org>

Systematics and Biogeography of New World Pentatomoidea (Hemiptera: Heteroptera)

Joseph E. Eger¹

¹Address correspondence to: Joseph E. Eger, Jr. Field Biologist Dow AgroSciences, LLC 2606 S. Dundee St. Tampa, Florida United States of America, jeeeger@dow.com, 1-813-294-9467

Abstract. This paper provides an overview of the systematics and zoogeography of the superfamily Pentatomoidea in the New World. Characters are given to help distinguish the major groups.

Introduction

The superfamily **Pentatomoidea** is worldwide in distribution and contains a number of pest and beneficial species. These bugs are significant pests of many crops including cotton, *Gossypium hirsutum* L., soybean, *Glycine max* Merrill, rice, *Oryza sativa* L., wheat, *Triticum aestivum* L., etc. (Schaefer y Panizzi 2000) and some are predaceous on pest insects. Recently there have been several introductions of Old World species into the New World. *Halyomorpha halys* (Stål), an Asian species, was introduced into the northeastern United States probably around 1996 (Hoebeke & Carter 2003). Since then it has spread considerably and is a serious crop and home invading pest. *Bagrada hilaris* (Burmeister), also from Asia, was first found in California in 2008 and has become an important pest of crucifers in the southwestern United States (Palumbo y Natwick 2010). In 2009, another Asian species from a family not previously known in the Western Hemisphere (Plataspidae) was found in the southeastern United States and has become a pest of soybean as well as a significant home invader (Eger *et al.* 2010; Gardner *et al.* 2013). An understanding of the systematics of this important group is needed to recognize future invasive bugs so that we can research known control methods and access potential natural enemies for classical biological control efforts.

The purpose of this paper is to review the higher classification of Pentatomoidea known from the Americas and discuss their zoogeography.

Systematics and zoogeography

Schuh and Slater (1995) provided an overview of the classification of world Heteroptera with keys to superfamilies and families. The Pentatomoidea of the New World consists of 12 families, one of which (Plataspidae) has been introduced from the Old World. Kirkaldy (1909) provided a catalog to many of the families of Pentatomoidea and Rolston and McDonald (1979) provided a

key to families, subfamilies of Pentatomidae, and tribes of Pentatominae. Four of the families, Canopidae, Cyrtocoridae, Megarididae, and Phloeidae, are found only in the New World and all of these four represent endemic taxa to the Neotropical Region. I'll discuss these endemic families first.

The **Phloeidae** are large flat bugs with 3-segmented antennae and 3-segmented tarsi. The outer margins of the juga, pronotum, abdomen and base of the hemelytra are broadly foliate. The eyes are divided into dorsal and ventral parts. They are found on the trunks of trees where they are well camouflaged. The distribution of phloeids is primarily in the Amazon basin and the Atlantic forests of Brazil and French Guiana. Leston (1953) provides a review of the family with keys to genera and species.

Cyrtocoridae can be recognized by the 2-segmented tarsi, 5-segmented antennae, and an elevated spine or hump in the middle of the scutellum. The body is rough and setose and provided with waxy granules. Cyrtocorids are found from Mexico to Argentina and are considered by some authors to be a subfamily of the Pentatomidae. The family was revised by Packauskas and Schaefer (1998).

The families **Canopidae** and **Megarididae** are small black bugs rarely with colored markings. Their bodies are almost round with an enlarged scutellum that covers most of the forewings and reaches the end of the abdomen. In both families the forewings fold up under the scutellum and the intersegmental sutures on the abdominal venter become obsolete before reaching the edge of the abdomen. Megaridids differ from canopids in having 2-segmented tarsi and 4-segmented antennae which possess elongate setae which may be as long as the antennal segments. Canopids have 3-segmented tarsi and 5-segmented antennae which are provided with short setae, not as long as the diameter of the antennal segments. McAtee and Malloch (1928) revised the two families and McDonald (1979) added a new species of Megaris and reviewed the genitalia. These two families are found in the Neotropical Region.

The **Thyreocoridae** are small black bugs, frequently with some pale markings. They have an enlarged or U-shaped scutellum, tibiae are provided with stout spines, antennae are 5-segmented, and tarsi are 3-segmented. They resemble the Cydnidae and have been considered to be a subfamily of the Cydnidae by some authors, but their fore tibiae are cylindrical whereas the fore tibiae of cydnids are flattened or cultrate with tibiae inserted mesially. There are two subfamilies, Thyreocorinae and Corimelaeninae. The former is Old World in distribution and includes only 3 genera and 8 species. The Corimelaeninae are distributed throughout North and South America and the subfamily contains about 9 genera and 200 species. The family was revised by McAtee and Malloch (1933).

Acanthosomatidae have 2-segmented tarsi and usually have 5-segmented antennae. They are distinctive in having one or two pairs of Pendergrast's organs (depressed oval to elongate structures on segments 5-7 of females) and the 8th sternite in males is large and exposed. There are three subfamilies, all of which occur in the New World. The Acanthosomatinae are distributed in most major zoogeographic regions, but are limited to North America in the New World and

show affinities with Holarctic genera. The other subfamilies, Blaudusinae and Ditomotarsinae demonstrate Gondwana distribution patterns with taxa found in southern South America, Southern Africa and Australia. In the New World, Chile has the largest number of acanthosomatids, many of them endemic and they extend northward, mainly at higher altitudes in the Andes. Kumar (1974) revised the world genera and Rolston and Kumar (1974) provided a key to American genera, two of them new. Thomas (1991) revised the North American taxa.

Dinidoridae are primarily Old World bugs with those of the New World belonging to a single genus, *Dinidor* Latrielle. There are two subfamilies, Dinidorinae and Megymeninae. New World dinidorids are relatively large, have 3-segmented tarsi, 4-segmented antennae, and can be distinguished by having both trichobothria on abdominal segments 3-7 located in pale calli which are located mesad and posterior to the spiracles. Dinidorids are primarily distributed in the Oriental and Ethiopian regions with *Dinidor* spp. found in the Neotropical Region. Durai (1987) revised the family.

Tessaratomidae are similar to dinidorids in being primarily an Old World family with a single genus, *Piezosternum* Amyot & Serville, in the New World. American species can be recognized by large size, 3-segmented tarsi, 5-segmented antennae, and the pronotum expanded over the anterior portion of the scutellum. There are three subfamilies of Tessaratomidae. Naticolinae are found primarily in the Ethiopian Region, Tessaratominae are widely distributed in the Old World, and Oncomerinae contains taxa in the Oriental and African Regions and includes *Piezosternum* in the Neotropical Region. There are three species of *Piezosternum* in the Neotropical Region and several congeners in Africa. Leston (1955) provided a key to genera of Oncomerini.

The family **Cydnidae** are unusual pentatomoids in that they are typically burrowing bugs and have legs that are adapted for digging. They can be recognized by having a series of stout spines on the anterior tibiae and the tibiae modified for digging, either expanded or cultrate with the tarsi inserted halfway down the tibiae. These are also usually black or brown bugs without other markings. Antennae are usually 5-segmented and tarsi 3-segmented. Dolling (1981) revised the higher level classification of this family and included as subfamilies of Cydnidae a number of groups previously considered to be distinct families. I have chosen not to follow Dolling in considering Thyreocoridae and Corimelaenidae as subfamilies of Cydnidae. With these families removed, Cydnidae consists of 6 subfamilies, 4 of which occur in the New World. Amnestinae are endemic to the Americas although one species has been introduced into the Middle East. Scaptocorinae consists of a single genus found in the Neotropical Region and two genera found in the Oriental and Palearctic Regions. Sehirinae are most diverse in the Palearctic Region with some taxa in the Oriental and Ethiopian Regions. It is represented in the New World by a single North American species of the predominately Palearctic genus *Sehirus* Amyot & Serville. The nominate subfamily, Cydninae, are the most diverse, being present in all of the major zoogeographical regions. Froeschner (1960) revised the American fauna. Mayorga (2002) reviewed the Mexican fauna.

Scutelleridae are characterized by an enlarged scutellum which covers most of the abdomen and wings, strongly biconcave body, intersegmental sutures on the abdominal venter reaching the lateral margin of the abdomen, and frenum reduced or absent. They usually have 5 antennal segments and 3 tarsal segments. Scutellerids are found in all major zoogeographical regions. There is considerable disagreement about the number of subfamilies which range from four to eight or more. The Pachycorinae are exclusively American and are the most diverse group in the New World. They are characterized by stridulatory patches on the abdomen and the subfamily previously contained two genera from Africa and one from Australia which possessed similar stridulatory patches. McDonald and Cassis (1984) erected the subfamily Tectocorinae for the Australian genus *Tectocoris* Hahn while the African pachycorines were placed into a new subfamily, Hoteinae, by Carapezza (2009). Pachycorinae are most diverse in the Neotropical Region but are well represented in the Nearctic. The nominate subfamily Scutellerinae is represented by single genus in the New World, *Augocoris* Burmeister. These bugs are large, colorful and easily recognized by having 3-segmented antennae. They appear to be closely related to the African genus *Cryptacrus* Mayr. The Eurygasterinae have a somewhat reduced and parallel-sided scutellum that leaves the hemelytra exposed for much of their length. This Holarctic subfamily contains major pests in the Palearctic and Ethiopian regions. Four non-pest species are present in North America. Finally, the Odontotarsinae are small dull colored bugs which are Holarctic but most diverse in the Palearctic Region. They occur in the Americas only in North America where they are chiefly western in distribution. There are a few representatives in the Australian region. Schouteden (1904) provided the most recent keys for Neotropical American taxa. Lattin (1964) revised the species occurring north of Mexico in an unpublished dissertation.

The **Pentatomidae** are, by far, the largest family in the Pentatomoidea and occur in all zoogeographical areas. They can be characterized as having a relatively flat and usually not enlarged scutellum, metathoracic scent gland ostiole not opening near lateral margin of the segment, abdominal trichobothria not on large pale callus, pronotum not extending over base of scutellum, spines on tibiae confined to apex if present, sternite 8 in males not exposed, Pendergrast's organs not present in females, and tarsi usually 3-segmented, antennae usually 5-segmented. Rolston and McDonald (1979) provided keys and diagnoses for the five New World subfamilies. The Asopinae are predaceous bugs characterized by a thickened rostrum which does not lie between the bucculae. Thomas (1992) revised the New World genera and species providing keys to all taxa. Podopinae are also global in distribution and are recognized by the enlarged scutellum, dull coloration and the presence of only a single trichobothrium on each side of abdominal segments. Barber and Sailer (1953) revised the North American taxa and Kormilev and Piran (1952) added one species from Argentina. The nominate subfamily, Pentatominae, has paired trichobothria, rostrum not thickened and usually lying between bucculae, labium arising behind the level of the anterior margin of the eyes, and metasternum not produced anteriorly onto mesosternum. Rolston and McDonald (1979) provided keys and diagnoses for recognition of the tribes of Pentatominae, but tribal relationships have been greatly modified since their work.

Rolston *et al.* (1980) and Rolston and McDonald (1981, 1984) provided keys to many of the genera. Pentatominae is a very large subfamily and there are good revisions of many of the included genera but these are too numerous to list here. The three subfamilies treated above are found in all zoogeographic regions, while the remaining two are unique to the New World. The Edessinae are generally large bugs and can be recognized by the enlarged metasternum which is produced anteriorly over the mesosternum and sometimes onto the prosternum. These are primarily Neotropical bugs with only two species reaching the southern United States. Most species are placed in a single genus, *Edessa* Fabricius, which is in need of revision. There have been a few recent papers that deal with species groups of *Edessa* or smaller genera, but no comprehensive treatment of the subfamily. The final American subfamily, Discocephalinae, is characterized as having paired trichobothria, the one closest to the spiracle on abdominal segment 7 positioned laterad of a line connecting spiracles by the width of a spiracle or the labium arising behind a line connecting the anterior margins of the eyes. There are two tribes, Discocephalini and Ochlerini. Rolston (1990, 1992) provided keys to the 'broad-headed' Discocephalini and to the Ochlerini.

The last family that I'll address briefly is the **Plataspidae**. These are Old World bugs not present in the New World until recently. In 2009, *Megacopta cribraria* (Fabricius) was found in the United States in Georgia, and has spread to an area ranging from Virginia to Florida and west to Mississippi (Eger *et al.* 2010; Gardner *et al.* 2013). These bugs can be recognized by the presence of 2-segmented tarsi, enlarged scutellum, flat venter, and 5-segmented antennae.

Literature cited

- BARBER, H. G.; R. I. SAILER. 1953. A revision of the turtle bugs of North America. *Journal of the Washington Academy of Science* 43 (5): 150-162.
- CARAPEZZA, A. 2008 (2009). On some Old World Scutelleridae (Heteroptera). *Nouvelle Revue d'Entomologie* (n.s.) 25 (3): 197-212.
- DOLLING, W. R. 1981. A rationalized classification of the burrower bugs (Cydnidae). *Systematic Entomology* 6: 61-76.
- DURAI, P. S. S. 1987. A revision of the Dinidoridae of the world (Heteroptera: Pentatomidae). *Oriental Insects* 21: 163-360.
- EGER, J. E., JR.; L. M. AMES; D. R. SUITER; T. M. JENKINS; D. A. RIDER; S. E. HALBERT. 2010. Occurrence of the Old World bug *Megacopta cribraria* (Fabricius) (Heteroptera: Plataspidae) in Georgia: a serious home invader and potential legume pest. *Insecta Mundi* 0121 :1-11.
- FROESCHNER, R. C. 1960. Cydnidae of the Western Hemisphere. *Proceedings of the United States National Museum* 111 (3430): 337-680, pls. 1-13.
- GARDNER, W. A.; H. B. PEELER; J. LAFOREST; P. M. ROBERTS; A. N. SPARKS, JR.; J. K. GREENE; D. REISIG; D. R. SUITER; J. S. BACHELER; K. KIDD; C. H. RAY; X. P. HU; R. KEMERAIT; E. A. SCOCCO; J. E. EGER, JR.; R. R. RUBERSON; E. J. SIKORA; D. A. HERBERT, JR.; C. CAMPANA; S. HALBERT; S. D. STEWART; G. D. BUNTIN; M. D. TOEWS; C. T. BARGERON. 2013. Confirmed distribution and occurrence of *Megacopta cribraria* (F.) (Hemiptera: Heteroptera:

- Plataspidae) in the southeastern United States. *Journal of Entomological Science* 48 (2): 118-127.
- HOEBEKE, E. R.; M. E. CARTER. 2003. *Halyomorpha halys* (Stål) (Heteroptera: Pentatomidae): A polyphagous plant pest from Asia newly detected in North America. *Proceedings of the Entomological Society of Washington* 105 (1): 225-237.
- KIRKALDY, G. W. 1909. Catalogue of the Hemiptera (Heteroptera) with biological and anatomical references, lists of foodplants and parasites, etc. Vol. I. Cimicidae. Berlin. xl and 392 p.
- KORMILEV, N. A.; A. A. PIRÁN. 1952. La subfamilia Graphosomatinae (Jokow) en la Argentina, con la descripción de un género y una especie nuevos. *Anales de la Sociedad Científica Argentina* 63: 212-218.
- KUMAR, R. 1974. A revision of world Acanthosomatidae (Heteroptera: Pentatomidae): Keys to and descriptions of subfamilies, tribes and genera, with designation of types. *Australian Journal of Zoology, Suppl. Ser. no. 34*: 1-60, 103 figs.
- LATTIN, J. D. 1964. The Scutellerinae of America north of Mexico (Hemiptera: Heteroptera: Pentatomidae). Ph.D. Dissertation, University of California, Berkeley, 350 p.
- LESTON, D. 1953. Phloeidae Dallas: systematics and morphology, with remarks on the phylogeny of Pentatomidae Leach and upon the position of *Serbana* Distant (Hemiptera). *Revista Brasileira de Biologia* 13: 121-140.
- LESTON, D. 1955. A key to the genera of Oncomerini Stål (Heteroptera: Pentatomidae, Tessaratominae), with the description of a new genus and species from Australia and new synonymy. *Proceedings of the Royal Entomological Society of London (B)* 24 (3-4): 62-68.
- MAYORGA, M., C. 2002. Revisión de la familia Cydnidae (Hemiptera-Heteroptera) en México, con un listado de las especies conocidas. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología* 73 (2): 157-192.
- MCATEE, W. L.; J. R. MALLOCH. 1928. Synopsis of pentatomid bugs of the subfamilies Megaridinae and Canopinae. *Proceedings of the United States National Museum* 72 (25): 1-21, 2 pls.
- MCATEE, W. L.; J. R. MALLOCH. 1933. Revision of the subfamily Thyreocorinae of the Pentatomidae (Hemiptera-Heteroptera). *Annals of the Carnegie Museum* 21: 191-411, pls. 4-17.
- MCDONALD, F. J. D. 1979. A new species of *Megaridius* and the status of the Megarididae McAtee & Malloch and Canopidae Amyot & Serville (Hemiptera: Pentatomidae). *Journal of the New York Entomological Society* 87 (1): 42-54.
- MCDONALD, F. J. D.; G. CASSIS. 1984. Revision of the Australian Scutelleridae Leach (Hemiptera). *Australian Journal of Zoology* 32: 537-572.
- PACKAUSKAS, R. J.; C. W. SCHAEFER. 1998. Revision of the Cyrtocoridae (Hemiptera: Pentatomidae). *Annals of the Entomological Society of America* 91 (4): 363-386.
- PALUMBO, J. C.; E. T. NATWICK. 2010. The bagrada bug (Hemiptera: Pentatomidae): a new invasive pest of cole crops in Arizona and California. *Plant Health Progress*. <http://www.plantmanagementnetwork.org/sub/php/brief/2010/bagrada/>. [Accessed 30 August, 2010].
- ROLSTON, L. H. 1990. Key and diagnoses for the genera of 'broadheaded' discocephalines (Hemiptera: Pentatomidae). *Journal of the New York Entomological Society* 98 (1): 14-31.
- ROLSTON, L. H. 1992. Key and diagnoses for the genera of Ochlerini (Hemiptera: Pentatomidae: Discocephalinae). *Journal of the New York Entomological Society* 100: 1-41.

- ROLSTON, L. H.; R. KUMAR. 1974. Two new genera and two new species of Acanthosomatidae (Hemiptera) from South America, with a key to the genera of the Western Hemisphere. *Journal of the New York Entomological Society* 82 (4): 271-278.
- ROLSTON, L. H.; F. J. D. MCDONALD. 1979. Keys and diagnoses for the families of Western Hemisphere Pentatomoidea, subfamilies of Pentatomidae and tribes of Pentatominae (Hemiptera). *Journal of the New York Entomological Society* 87 (3): 189-207.
- ROLSTON, L. H.; F. J. D. MCDONALD. [1980] 1981. Conspectus of Pentatomini genera of the Western Hemisphere - Part 2 (Hemiptera: Pentatomidae). *Journal of the New York Entomological Society* 88(4):257-272.
- ROLSTON, L. H.; F. J. D. MCDONALD. 1984. A conspectus of Pentatomini of the Western Hemisphere. Part 3 (Hemiptera: Pentatomidae). *Journal of the New York Entomological Society* 92 (1): 69-86.
- ROLSTON, L. H., F. J. D. MCDONALD; D. B. THOMAS, JR. 1980. A conspectus of Pentatomini genera of the Western Hemisphere. Part I (Hemiptera: Pentatomidae). *Journal of the New York Entomological Society* 88(2):120-132.
- SCHAEFER, C. W.; A. R. PANIZZI. 2000. Heteroptera of economic importance. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, 20 + 828 p.
- SCHOUTEDEN, H. 1904. Heteroptera. Fam. Pentatomidae. Subfam. Scutellerinae. Wytsman Genera Insectorum, fasc. 24: 98 p, 5 pls.
- SCHUH, R. T.; J. A. SLATER. 1995. True bugs of the world (Hemiptera: Heteroptera). Classification and natural history. Cornell University Press, Ithaca, N. Y. xii & 337 pp.
- THOMAS, D. B. 1991. The Acanthosomatidae (Heteroptera) of North America. *Pan-Pacific Entomologist* 67 (3): 159-170.
- THOMAS, D. B. 1992. Taxonomic synopsis of the asopine Pentatomidae (Heteroptera) of the Western Hemisphere. Thomas Say Monographs, Entomological Society of America, Lanham, Maryland. iv + 156 p.

Microcoleópteros micetobiontes: Estado actual del conocimiento de la familia Ciidae

Vivian Eliana Sandoval Gómez^{1*} y Cristiano Lopes Andrade^{2*}

* Laboratório de Sistemática e Biologia de Coleoptera, Departamento de Biologia Animal, Universidade Federal de Viçosa, Av. P.H. Rolfs s/n, Centro, 36570-000, Viçosa, MG, Brasil.¹ vivian.sandoval@gmail.com. ² ciidae@gmail.com

Introducción

Los insectos micetobiontes son aquellos que presentan una asociación obligatoria con hongos, ya que tanto sus larvas como adultos dependen exclusivamente de este recurso como alimento (Scheerpeltz y Höfler 1948). Recientemente ha crecido el interés por este grupo de insectos debido a su alta diversidad, comportamiento, ecología, fisiología, uso potencial como bioindicadores y como modelos para estudios en ecología y evolución. Pocos grupos de insectos son predominantemente micetobiontes, valiendo citar algunos miembros del orden Coleoptera: Biphyllidae, Ciidae, Diaperini (Tenebrionidae), Dorcatominae (Anobiidae) y Pterogeniidae. Los microcoleópteros de la familia Ciidae son los micetobiontes más abundantes y diversos, consumiendo basidiomas de hongos macroscópicos poroides, conocidos vulgarmente como “hongos orejas de palo” (Lawrence 1973; Navarrete-Heredia 1991).

Familia Ciidae (Coleoptera: Tenebrionoidea)

Biología y Ecología. Los cídeos (Coleoptera: Ciidae) son pequeños cucarrones micetobiontes, con un tamaño que varía entre 0,5 mm y 7 mm, que utilizan los basidiomas de hongos macroscópicos poroides (Hymenochaetales y Polyporales, vulgarmente conocidos como “orejas de palo”) como hábitat, alimento y lugar de reproducción (Lopes-Andrade 2002a; Graf-Peters *et al.* 2011). Los registros de cídeos adultos en ambientes diferentes al de los hongos son muy escasos, valiendo citar algunos en trampas de luz o de interceptación de vuelo, en hojarasca o debajo de troncos de árboles (Lawrence 1971; Lopes-Andrade 2007a). Casi todas las especies de este tipo de hongos son aprovechadas por los cídeos, los cuales las colonizan después de la fase de esporulación, siendo así los consumidores más importantes y esenciales en el proceso de degradación de estos hongos (Orledge & Reynolds, 2005). Los cídeos solamente dejan los hongos para dispersarse, pudiendo permanecer muchos años en el mismo lugar, siempre y cuando haya abundancia de alimento.

Por estar profundamente relacionados en los procesos de la base de la cadena alimenticia, la diversidad y abundancia de cídeos interfiere directamente en la disponibilidad de nutrientes para los siguientes niveles tróficos. Cuando los basidiomas no son consumidos por los cídeos, pueden permanecer en la naturaleza por años o décadas sin sufrir ningún tipo de degradación. En estos casos, debido a la ausencia del servicio ambiental prestado por los cídeos, las “orejas de

palo” pasan a constituir una reserva inaccesible de nutrientes importantes, con altas concentraciones de nitrógeno, cadmio, zinc y otros elementos (Graf-Peters *et al.* 2011).

Los cídeos pueden tener hábitos generalistas o especialistas, clasificándose según Graf-Peters y colaboradores (2011) en: (i) monófagos, que se alimentan de una sola especie de hongo; (ii) oligófagos, alimentándose de varias especies de hongos del mismo género; (iii) polífagos, que se alimentan de varias especies pertenecientes a diferentes géneros y familias de hongos. Por su dependencia a los hongos, los cídeos son afectados por cualquier modificación ambiental que interfiera en la disponibilidad de estos recursos (Thunes *et al.* 2000). Esto ocurre cuando hay alteraciones en las condiciones necesarias para el desarrollo de los hongos, o cuando disminuye la cualidad y/o cantidad de sustrato donde los hongos podrían desarrollarse (Jonsell y Nordlander 1995; Fossli y Andersen 1998; Rukke 2000). Muchos cídeos están restringidos a bosques o fragmentos de bosques bien preservados y no ocurren en bosques secundarios, aún cuando estos se encuentren cerca a áreas bien preservadas (Gumier-Costa 2004). Hay indicios de que por lo menos una especie de cídeo, *Falsocis brasiliensis* Lopes-Andrade, que ocurre en el Estado de Minas Gerais (Brasil), está seriamente amenazado de extinción (Lopes-Andrade 2007b). Otras especies pueden haberse extinguido o estar en vía de extinción como consecuencia de la fragmentación y pérdida de su hábitat.

Algunos cídeos son especies plagas, de importancia económica o especies invasoras. *Cis chinensis* Lawrence es una plaga de *Ganoderma lucidum*, hongo cultivado para fines comerciales y medicinales en Asia y vulgarmente llamado “Ling-Zhi” o “Reishi” (Lopes-Andrade, 2008a; Rose, 2009). Este cídeo fue encontrado recientemente en el municipio de Itapinga (Minas Gerais, Brasil) y su ocurrencia apunta para un alto riesgo de infestación en cultivos de hongos comerciales y durante su almacenamiento (Lopes-Andrade 2008a). Los cídeos también pueden causar daños a las colecciones científicas de hongos, como es el caso de *Hadreule blaisdelli* (Casey), que puede desarrollarse sin problemas y tener decenas de generaciones en un mismo hongo, sin adición de agua o de ningún otro nutriente (Klopfenstein y Graves 1992). Algunas especies de cídeos son invasoras: *Cis chinensis*, especie asiática que fue introducida en Alemania, Brasil, Francia, Italia, Malta y en la Isla Reunión (Lopes-Andrade 2008a; Rose, 2009); *Cis bilamellatus* Wood, introducida en Inglaterra, Escocia, Irlanda y Francia (Orledge *et al.* 2010); *Cis fuscipes* Mellié, introducida en Cuba, Hawaii, isla de Madera y México (Lawrence 1967a); *Ceracis cucullatus* (Mellié), especie continental de Centro y Suramérica, introducida en Galápagos y *Ceracis tabellifer*, especie introducida en el África subsahariana, islas del Océano Índico, sur y suroeste asiático (Mellié 1849; Lawrence 1967b; Lopes-Andrade *et al.* 2009; Antunes-Carvalho y Lopes-Andrade 2013). El impacto que estas especies han causado en la fauna autóctona todavía se desconoce.

Sistemática de Ciidae. Ciidae cuenta actualmente con 43 géneros y cerca de 650 especies descritas, distribuidas por casi todas las regiones biogeográficas, tierras continentales e insulares del planeta, excepto en la Región Antártica (Lawrence y Lopes-Andrade 2008; Antunes-Carvalho *et al.* 2012). La clasificación supragenérica de la familia se considera insatisfactoria y ha sido poco

trabajada por los taxónomos a lo largo de la historia (Thayer y Lawrence 2002; Lawrence y Lopes-Andrade 2010). En este momento se reconocen dos subfamilias de Ciidae: Sphindociinae Lawrence, con una especie californiana (Lawrence 1974); Ciinae, con todas las especies restantes, agrupadas en las tribus Ciini, Orophini y Xylographellini. Solamente la última tribu se considera como bien delimitada (Lopes-Andrade 2008b; Lawrence y Lopes-Andrade, 2010) y es posiblemente el único taxón supragenérico de Ciinae que corresponde a un clado. Xylographellini incluye 27 especies de cuatro géneros, en su mayoría de las regiones tropicales y subtropicales, las cuales fueron agrupadas con base en el estudio de caracteres de estructuras diversas, como la genitalia, segmentos pre-genitales, antenas, aparato bucal y topología de los élitros y pronoto (Lopes-Andrade 2008b). Ciini y Orophini no son grupos naturales (Buder *et al.*, 2008). La delimitación de Orophini está basada en caracteres de las tibias anteriores, coxas y prosterno que pueden haber evolucionado más de una vez en la familia, en linajes de especies que habitan partes más duras de los basidiomas de los hongos (Lawrence y Lopes-Andrade 2010). Ciini es un popurrí de géneros con pocas o ninguna característica en común. Por lo tanto, las dos últimas tribus difícilmente constituyen clados. También hay dudas sobre el límite de algunos géneros, como por ejemplo *Ceracis* Mellié, *Cis* Latreille y *Ennearthron* Mellié, entre otros (Lopes-Andrade y Zacaro 2003a; Buder *et al.* 2008).

Hasta una década atrás, los estudios taxonómicos sobre Ciidae se restringieron a descripciones cortas y escasas, hechas por algunos pocos autores europeos, entre mediados del siglo XIX y comienzos del siglo XX. Por ejemplo, casi todas las especies neotropicales y andinas (*sensu* Morrone, 2002) fueron descritas por unos pocos autores como Bréthes (1922, 1923, 1924), Friedenreich (1881), Germain (1855), Gorham (1883, 1886, 1898), Lawrence (1987), Lesne (1924), Mellié (1849) y Pic (1916a, b, 1922, 1923, 1930, 1940). Desde el 2002, Lopes-Andrade y colaboradores, han redescrito y descrito muchos taxones de Ciidae de las regiones tropicales, subtropicales y templadas australes (de Almeida & Lopes-Andrade 2004; Lopes-Andrade y Lawrence 2005, 2011; Lopes-Andrade 2002a,b, 2007a,b, 2008b, 2010a,b, 2011; Lopes-Andrade *et al.* 2002, 2003b, 2009; Lopes-Andrade y Zacaro 2003a,b; Sandoval-Gómez *et al.* 2011; Antunes-Carvalho y Lopes-Andrade 2011; Antunes-Carvalho *et al.* 2012). Sin embargo, esto representa una ínfima parte de los taxones comprobados como nuevos que están disponibles en las colecciones entomológicas.

La posición de la familia en Tenebrionoidea es controversial y todavía no fue comprobada por ningún análisis filogenético (Buder *et al.*, 2008; Hunt *et al.*, 2007). Sin embargo, algunas familias son citadas como cercanas evolutivamente a Ciidae, como Mycetophagidae, Tetratomidae, Archeocrypticidae y Pterogeniidae (Lawrence y Lopes-Andrade 2010; Lawrence *et al.* 2011). Sin embargo, esta observación es completamente empírica y necesita ser comprobada. (Lawrence *et al.* 2011)

Problemática

Cualquier estudio sobre cídeos, principalmente de las regiones tropicales y subtropicales, está limitado actualmente por el escaso conocimiento taxonómico disponible, consecuencia del poco número de especialistas que están en actividad en el mundo. Los principales problemas taxonómicos que deben ser resueltos en este grupo son: (i) clasificación supragenérica de la familia; (ii) clasificación genérica, con descripción y redesccripción de géneros; (iii) descripción de centenas de nuevas especies ya detectadas en diferentes colecciones entomológicas; (iv) confección de claves taxonómicas para las faunas de algunas regiones biogeográficas, principalmente tropicales y subtropicales, o para las especies de algunos géneros; (v) estudio de especies con amplia distribución geográfica y con distribución disyunta, detectando posibles introducciones de especies; (vi) resolución de diversas sinonimias. Resolviendo estos impedimentos taxonómicos y uniendo esfuerzos entre varios especialistas, será posible comprender la diversidad y relaciones filogenéticas de la familia y de esta forma fomentar trabajos en otras áreas de la biología, teniendo a la familia Ciidae como un grupo focal.

Literatura citada

- ANTUNES-CARVALHO, C.; LOPES-ANDRADE, C. 2013. Two invaders instead of one: the true identity of species under the name *Ceracis cucullatus* (Coleoptera: Ciidae). PLoS One, *in press*.
- ANTUNES-CARVALHO, C.; LOPES-ANDRADE, C. 2011. Two new Neotropical species of *Ceracis* Mellié (Coleoptera, Ciidae) and redefinition of the *cucullatus* group. ZooKeys 132: 51-64.
- ANTUNES-CARVALHO, C.; SANDOVAL-GÓMEZ, V. E.; LOPES-ANDRADE, C. 2012. *Grossicis*, a new genus of Neotropical minute tree-fungus beetles (Coleoptera: Ciidae), with a detailed discussion on its systematic position in the family. Comptes Rendus Biologies 335: 107-119.
- BRÈTHES, J. 1922. Descripción de varios Coleópteros de Buenos Aires. Anales de la Sociedad Científica Argentina 94: 263-305.
- BRÈTHES, J. 1923. Sur trois Coléoptères Chiliens. Revista Chilena de Historia Natural 25: 457-461, figs. 41-42.
- BRÈTHES, J. 1924. Description d'un nouveau Ciidae du Chile. Revista Chilena de Historia Natural 27: 29-30.
- BUDER, G.; GROSSMANN, C.; HUNSDOERFER, A.; KLASS, K.-D. 2008. A contribution to the phylogeny of the Ciidae and its relationships with other cucujoid and tenebrionoid beetles (Coleoptera: Cucujiformia). Arthropod Systematic and Phylogeny 66(2): 165-190.
- De Almeida, S.S.P.; Lopes-Andrade, C. 2004. Two new Brazilian species of *Cis* Latreille, 1796 (Coleoptera: Tenebrionoidea: Ciidae). Zootaxa 717: 1-10.
- FOSSLI, T.; ANDERSEN, J. 1998. Host preference of Cisidae (Coleoptera) on tree-inhabiting fungi in northern Norway. Entomologica Fennica 9: 65-78.
- FRIEDENREICH, C. W. 1881. Trimere Cioiden in Sudbrasilien. Stettiner Entomologische Zeitung 42: 328-330.

- GERMAIN, P. 1855. Descripción de coleópteros de diversas especies que no se hallan en la obra del señor Gay. *Anales de la Universidad de Chile* 12: 386-407.
- GORHAM, H. S. 1883. Cleridae, Ptinidae, Bostrychidae, Cioidae. En: Godman, F. D.; Salvin, O. (eds). *Biologia Centrali-Americana. Insecta. Coleoptera. Vol. 3, Part 2.* Porter, London, pp. 169-224, pr. 10, figs. 23-27.
- GORHAM, H. S. 1886. Supplement to Malacodermata. En: Godman, F. D.; Salvin, O. (Eds). *Biologia Centrali-Americana. Insecta. Coleoptera. Vol. 3, Part 2.* Porter, London, 313-360 p.
- GORHAM, H. S. 1898. On the serricorn Coleoptera of St. Vincent, Grenada, and the Grenadines (Malacodermata, Ptinidae, Bostrychidae), with descriptions of new species. *Proceedings of the Zoological Society of London*, 1898: 315-343, pl. 27.
- GRAF-PETERS, L. V.; LOPES-ANDRADE, C.; DA SILVEIRA, R. M. B.; MOURA, L. A.; RECK, M. A.; NOGUEIRA, F. 2011. Host fungi and feeding habits of Ciidae (Coleoptera) in a subtropical rainforest in southern Brazil, with an overview of host fungi of Neotropical ciids. *Florida Entomologist* 94 (3): 553-566.
- GUMIER-COSTA, F. 2004. Influência de alterações antrópicas em besouros ciídeos de floresta amazônica. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Entomologia, Universidade Federal de Viçosa.
- HUNT, T.; BERGSTEN, J.; LEVKANICOVA, Z.; PAPADOPOULOU, A.; ST. JOHN, O.; WILD, R.; HAMMOND, P.M.; AHRENS, D.; BALKE, M.; CATERINO, M.S.; GÓMEZ-ZURITA, J.; RIBERA, I.; BARRACLOUGH, T.G.; BOCAKOVA, M.; BOCAK, L.; VOGLER, A.P. 2007. A Comprehensive Phylogeny of Beetles Reveals the Evolutionary Origins of a Superradiation. *Science* 318: 1913-1916.
- JONSELL, M.; Norlander, G. 1995. Field attraction of Coleoptera to odours of the wood-decaying polypores *Fomitopsis pinicola* and *Fomes fomentarius*. *Annales Zoologici Fennici* 32: 391-402.
- KLOPFENSTEIN, W.G.; GRAVES, R.C. 1992. Morphology of the digestive and reproductive systems of adult *Hadraule blaisdelli* (Casey) (Coleoptera: Ciidae). *The Coleopterists Bulletin* 46 (4): 344-356.
- LAWRENCE, J. F. 1967a. Biology of the parthenogenetic fungus beetle *Cis fuscipes* Mellié (Coleoptera: Ciidae). *Breviora* 258: 1-14.
- LAWRENCE, J.F. 1967b. Delimitation of the genus *Ceracis* (Coleoptera: Ciidae) with a revision of the North American species. *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology* 136 (6): 91-143.
- LAWRENCE, J. F. 1971. Revision of the North American Ciidae (Coleoptera). *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology* 142: 419-522.
- LAWRENCE, J. F. 1973. Host preference in ciid beetles (Coleoptera: Ciidae) inhabiting the fruiting bodies of basidiomycetes in North America. *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology* 145: 163-212.
- LAWRENCE, J. F. 1974. The larva of *Sphindocis denticollis* Fall and a new subfamily of Ciidae (Coleoptera: Heteromera). *Breviora* 424: 1-14.
- LAWRENCE, J. F. 1987. A new genus of Ciidae (Coleoptera, Tenebrionoidea) from the Neotropical region. *Revista Brasileira de Entomologia* 31(1): 41-47.
- LAWRENCE, J. F.; Lopes-Andrade, C. 2008. Ciidae Species Listing. Joel Hallan's Biology Catalog. <http://insects.tamu.edu/research/collection/hallan/test/Arthropoda/Insects/Coleoptera/Family/Ciidae.txt>. Fecha último acceso: [1 Mayo 2013].

- LAWRENCE, J. F.; Lopes-Andrade, C. 2010. Ciidae Leach in Samouelle 1819. En: Beutel, R.G.; Leschen, R.A.B. (eds.). Handbook of Zoology. Vol. IV Arthropoda: Insecta. Part 39. Coleoptera, Vol. 2: Morphology and Systematics (Elateroidea, Bostrichiformia, Cucujiformia partim). 1 ed. Berlin; New York: Walter De Gruyter, 2010, (2): 504-514.
- LAWRENCE, J. F.; ŚLIPIŃSKI, A.; SEAGO, A. E.; THAYER, M. K.; NEWTON, A. F.; MARVALDI, A. E. 2011. Phylogeny of the Coleoptera based on morphological characters of adult and larvae. *Annales Zoologici* 61 (1): 1-217.
- LESNE, P. 1924. Coleoptera-Bostrychidae et Cioidae de Juan Fernandez. En: Skottsberg, C. (ed.). The Natural History of Juan Fernandez and Easter Island. Vol. 3. Zoology. Almqvist & Wiksells, Uppsala, pp. 373-374.
- LOPES-ANDRADE, C. 2002a. Recent Advances in the Study of the Brazilian Ciidae (Coleoptera: Tenebrionoidea). *Dugesiana* 9: 5-13.
- LOPES-ANDRADE, C. 2002b. Two cases of homonymy in the genus *Cis* Latreille (Coleoptera: Tenebrionoidea: Ciidae). *Dugesiana* 9: 54-55.
- LOPES-ANDRADE, C. 2007a. *Neoapterocis*, a new genus of apterous Ciidae (Coleoptera: Tenebrionoidea) from Chile and Mexico. *Zootaxa* 1481: 35-47.
- LOPES-ANDRADE, C. 2007b. Notes on *Falsocis* Pic (Coleoptera: Tenebrionoidea: Ciidae), with the description of an endangered Brazilian species. *Zootaxa* 1544: 41-58.
- LOPES-ANDRADE, C. 2008a. The first record of *Cis chinensis* Lawrence from Brazil, with the delimitation of the *Cis multidentatus* species-group (Coleoptera: Ciidae). *Zootaxa* 1755: 35-46.
- LOPES-ANDRADE, C. 2008b. An essay on the tribe Xylographellini (Coleoptera: Tenebrionoidea: Ciidae). *Zootaxa* 1832: 3-110.
- LOPES-ANDRADE, C. 2010a. Two new species of *Cis* Latreille (Coleoptera: Ciidae) from Chile. *Zootaxa* 2441: 53-62.
- LOPES-ANDRADE, C. 2010b. The first record of *Orthocis* Casey (Coleoptera: Ciidae) from the Andean Region, with the description of a distinctive new species. *Zoological Science* 27: 830-833.
- LOPES-ANDRADE, C. 2011. The first *Strigocis* Dury (Coleoptera, Ciidae) from the southern Neotropical region and a provisional key to world species. *Zookeys* 81: 27-37.
- LOPES-ANDRADE, C.; Lawrence, J.F. 2005. *Phellinocis*, a new genus of Neotropical Ciidae (Coleoptera: Tenebrionoidea). *Zootaxa* 1034: 43-60.
- LOPES-ANDRADE, C.; LAWRENCE, J. F. 2011. Synopsis of *Falsocis* Pic (Coleoptera, Ciidae), new species, new records and an identification key. *ZooKeys* 145: 59-78.
- LOPES-ANDRADE, C.; GUMIER-COSTA, F.; ZACARO, A.A. 2003b. *Cis leoi*, a new species of Ciidae (Coleoptera: Tenebrionoidea) from the Neotropical Region. *Zootaxa* 161: 1-7.
- LOPES-ANDRADE, C.; MADUREIRA, M.S.; ZACARO, A.A. 2002. Delimitation of the *Ceracis singularis* group (Coleoptera: Tenebrionoidea: Ciidae), with the description of a new Neotropical species. *Dugesiana* 9: 59-63.
- LOPES-ANDRADE, C.; MATUSHKINA, N.; BUDER, G.; KLASS, K.-D. 2009. *Cis pickeri* sp. nov. (Coleoptera: Ciidae) from Southern Africa. *Zootaxa* 2117: 56-64.
- LOPES-ANDRADE, C.; ZACARO, A. A. 2003a. The first record of *Ennearthron* Mellié, 1848 (Coleoptera: Tenebrionoidea: Ciidae) in the Southern Hemisphere, with the description of a distinctive new species. *Zootaxa* 395: 1-7.

- LOPES-ANDRADE, C.; ZACARO, A. A. 2003b. *Xylographus lucasi*, a new Brazilian species of Ciidae (Coleoptera: Tenebrionoidea). *Dugesiana* 10: 1-6.
- MELLIE, J. 1849. Monographie de l'ancien genre *Cis* des auteurs. *Annales de la Société Entomologique de France* 6(2): 205-274, 313-396.
- MORRONE, J. J. 2002. Biogeographical regions under track and cladistic scrutiny. *Journal of Biogeography* 29: 149-152.
- NAVARRETE-HEREDIA, J. L. 1991. Nuevos registros de algunas especies de ciideos (Insecta: Coleoptera) de Veracruz y el estado de México con notas sobre sus hospederos y fauna acompañante. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural* 41: 53-56.
- ORLEDGE, G. M.; REYNOLDS, S. E. 2005. Fungivore host-use groups from cluster analysis: patterns of utilization of fungal fruiting bodies by ciid beetles. *Ecological Entomology* 30: 620-641.
- ORLEDGE, G.M.; SMITH, P.A.; REYNOLDS, S.E. 2010. The non-pest Australasian fungivore *Cis bilamellatus* Wood (Coleoptera: Ciidae) in northern Europe: spread dynamics, invasion success and ecological impact. *Biological Invasions* 12 : 515-530.
- PIC, M. 1916a. Diagnoses generiques et specifiques. *Melanges Exotico-Entomologiques*, Moulins 18: 1-20.
- PIC, M. 1916b. Diagnoses specifiques. *Melanges Exotico-Entomologiques*, Moulins 17: 8-20.
- PIC, M. 1922. Nouveautés diverses. *Melanges Exotico-Entomologiques*, Moulins 36: 1-32.
- PIC, M. 1923. Coléoptères exotiques en partie nouveaux. *L'Échange*, *Revue Linnéenne*, Moulins 39: 4, 7-8, 11-12, 15-16.
- PIC, M. 1930. Coléoptères nouveaux de la Republique Argentine. *Bulletin de la Société Entomologique de France* 55: 175-179.
- PIC, M. 1940. Diagnoses de Coléoptères exotiques. *L'Échange*, *Revue Linnéenne*, Moulins 56: 10-12, 13-16.
- ROSE, O. 2009. *Cis chinensis* Lawrence 1991 nouveau pour la faune de France (Coleoptera: Tenebrionoidea, Ciidae) et pour l'île de La Réunion (France). *L'Entomologiste* 65 (5): 281-284.
- RUKKE, B.A. 2000. Effects of habitat fragmentation: increased isolation and reduced habitat size reduces the incidence of dead wood fungi beetles in a fragmented forest landscape. *Ecography* 23: 492-502.
- SANDOVAL-GÓMEZ, V.E.; LOPES-ANDRADE, C.; ZACARO, A.A. 2011. *Xylographus globipennis* Reitter, 1911 (Coleoptera: Ciidae): A barely studied species with broad distribution in the Afrotropical region. *Entomological Science* 14: 326-332.
- SCHEERPELTZ, O.; HÖFLER, K. 1948. Käfer und Pilze. Verlag für Jugend und Volk, Vienna, 351pp.
- THAYER, M. K.; LAWRENCE, J. F. 2002. Ciidae Leach in Samouelle 1819. En: Arnett, R. H., Jr.; Thomas, M. C.; Skelley, P. E.; Frank, J. H. (eds). *American Beetles*. Volume 2. Polyphaga: Scarabaeoidea through Curculionoidea. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 403-412.
- THUNES, K.H.; MIDTGAARD, F.; GJERDE, I. 2000. Diversity of Coleoptera of the bracket fungus *Fomitopsis pinicola* in a Norwegian spruce forest. *Biodiversity and Conservation* 9: 833-852.

Escarabajos Melolonthidae (Scarabaeoidea: Pleurosticti) de la montaña cafetera colombiana

Luis Fernando Vallejo Espinosa¹

¹Profesor Asociado-Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Caldas. luis.vallejo_e@ucaldas.edu.co

Introducción

La denominada Eco-región cafetera está esencialmente conformada por “bosques húmedos de montaña” o “bosques de niebla”. En estos ambientes, los artrópodos pueden ser uno de los elementos menos afectados por el establecimiento y explotación de los cafetales ya que poseen gran capacidad de adaptación que se ve favorecida por su altas tasas de reproducción, tamaño y requerimientos micro-ecológicos, situaciones que les permite encontrar con relativa rapidez sus espacios vitales para re-establecer las redes tróficas en las cuales participan (Morón, 1997)

Los cafetales son en términos generales estratos de vegetación similares a los silvestres, con ellos comparten:

- Humedad relativa alta
- Temperatura estable
- Poca iluminación
- Materia orgánica abundante en la superficie
- Suelos poco removidos durante largos períodos

Estos eventos han preparado el terreno para que los insectos se dispersen y proliferen conformando la más grande representación animal que se pueda estimar. (Hernández-Camacho et al., 1992; Morrone, 2001).

La amplia biodiversidad asociada a los cafetales, ha despertado un creciente interés por la implementación de metodologías confiables y eficientes para la evaluación del efecto y la magnitud de las actividades agrícolas sobre las comunidades biológicas.

En este contexto, los artrópodos han sido utilizados como herramienta para el diagnóstico de la calidad de los ecosistemas. Entre los grupos utilizados en este estudio están los Scarabaeoidea: Melolonthidae, considerados organismos clave, ya que poseen los siguientes atributos:

- a) Gran número de especies ecológicamente diversificadas.
- b) Buen grado de conocimiento sobre su sistemática y ecología.
- c) Facilidad para encontrarlos y evaluarlos en el campo en corto tiempo

(Brown, 1991; Halffter y Favila, 1993; Morón, 1997; Sutton y Collins, 1991)

Superfamilia Scarabaeoidea o Lamellicornia

Incluye cerca de 36.000 especies descritas (más de 50.000 estimadas) distribuidas en casi todas las regiones del planeta. Endrödi (1966, 1985), divide la superfamilia Scarabaeoidea en 5 familias: Lucanidae, Passalidae, Trogidae, Scarabaeidae, Melolonthidae*.

*El nivel familia Melolonthidae se compara con la “serie pleurosticti” (los estigmas respiratorios abdominales están localizados sobre la región lateral de los esternitos, visibles cuando los élitros están cerrados).

*Toma en cuenta los caracteres morfológicos de los adultos que se alimentan de hojas, flores y polen y de las larvas que se alimentan de raíces o humus orgánico.

Considerando la importancia y gran diversidad de este grupo de insectos, el presente trabajo tuvo como objetivo estudiar la diversidad de los escarabajos Melolonthidae de la Zona Cafetera Central de Colombia.

Métodos

Selección de las estaciones de muestreo

1. Cafetal despejado, Reserva Planalto. CENICEFE, 53 ha. Municipios de Manizales y Chinchiná. 1310-1460 msnm. Coordenadas 05°00'N, 75°36'W
2. Cafetal con sombrío, diferentes variedades. Finca El Diamante, 8 hectáreas. Municipio de Aguadas, Vereda El Diamante. 1650 msnm. Coordenadas 05°10'N, 75°31'W
3. Bosque de Niebla. Granja Tesorito 72 hectáreas. Universidad de Caldas, Municipio de Manizales, Valle de Maltería. 2200 msnm. Coordenadas 5°1'54"N, 75°26'12,9"W
4. Cafetal en parches de cultivos varios (cítricos, musáceas, maíz, maracuyá). Granja Experimental Montelindo 72 ha. Universidad de Caldas. Municipio de Palestina, Vereda Santágueda. 1150-1300 msnm. Coordenadas 5°04'N, 75°45'W
5. Cafetal con sombrío. Finca Últimas, 5 hectáreas. Municipio de Quinchía, Vereda el Morro, departamento de Risaralda, 1825 msnm. Coordenadas 5°17'N, 75°42'W

Recolección del material entomológico:

Durante los 22 meses del trabajo de campo se utilizaron:

- Trampas de luz negra
- Trampa de luz de mercurio
- Carpotrampas
- Transectos de 500 metros diurnos y nocturnos
- Red entomológica

Procesamiento e identificación del material entomológico. Recolección con los datos de campo y posterior transporte al Laboratorio de Entomología de la Universidad de Caldas-LEUC donde los ejemplares se limpiaron, disecaron, rotularon y montaron en alfileres entomológicos. Finalmente se guardaron en gabinetes tipo *Cornell*, para conformar una colección de referencia.

Análisis de los datos. Se calculó la riqueza específica, la abundancia, se construyó una matriz de datos con la cual se realizaron curvas de acumulación de especies.

Se evaluó la relación entre la precipitación y la abundancia de las poblaciones de Melolonthidae en cada estación: Análisis de Correlación de Pearson (paquete estadístico SAS/STAT® versión 9.2).

Resultados y discusión

En la charla se mencionarán los principales resultados obtenidos en esta investigación y se hará una breve discusión de los aspectos más relevantes en el estudio, los cuales son mencionados a continuación.

Diversidad de escarabajos Melolonthidae de la montaña cafetera colombiana. 53.000 ejemplares de Melolonthidae, pertenecientes a cuatro subfamilias, 16 tribus, 51 géneros y 128 especies.

- Diversidad en cada estación
- Abundancia en cada estación
- Distribución temporal, representatividad del estudio
- Fenología
- Distribución de las poblaciones
- Valor ecológico de las larvas
- Correlación entre las poblaciones y las lluvias
- Altura

Análisis referente a la metodología, curvas de acumulación de especies, nuevos registros, bioindicadores. Trampas de luz y Carpotrampas

- Curvas de acumulación de especies
- Nuevos Registros de Melolonthidae para la ciencia y para Colombia
- El potencial de los escarabajos Melolonthidae como bioindicadores.

Conclusiones

1. La riqueza específica de los Melolonthidae en la Zona Cafetera es mayor que en otras regiones de Colombia (Chocó biogeográfico, páramos en Valle y Tolima, agro-ecosistemas Oriente Antioqueño y Risaralda).
2. Dos épocas de distribución de las poblaciones: marzo y mayo; septiembre y octubre. Coincidencia con el régimen bimodal de lluvias.
3. Aunque las lluvias y las poblaciones de Melolonthidae se cruzan proporcionalmente, la correlación entre riqueza y abundancia para cada estación no concuerda con las dos temporadas de lluvias. Resultados no concluyentes.
4. Los métodos de campo (trampas de luz negra, luz de mercurio, carpotrapas, red entomológica, captura manual) fueron efectivos. Útiles no solo para la captura, funcionan como método de control, seguimiento y determinación de la densidad poblacional.
5. Tres nuevas especies para la ciencia, doce nuevos registros para el país, ratificación de la hipótesis
6. Escarabajos Melolonthidae como grupo bioindicador:
 - a) Amplio y rico gremio trófico; b) Conocimiento taxonómicos del grupo; c) Labor científica sin poner en peligro su conservación; d) Conocimiento biológico de las diferentes poblaciones; e) Especialización ecológica; f) Amplia distribución geográfica; g) Especies de importancia económica; h) Endemismo

Literatura citada

- BROWN Jr. K. S., 1991. Conservation of Neotropical environments: insects as indicators. En: Collins, N. M.; Thomas J. A. (Eds.). The Conservation of insects and their habitats. Academic Press, London: 350-404 p.
- ENDRÖDI, S. 1966. Monographie der Dynastinae (Coleoptera: Lamellicornia). 1. Teil. Entomologische Abhandlungen, Herausgegeben vom Staatlichen Museum für Tierkunde in Dresden 33: 1-457.
- ENDRÖDI, S. 1985. The Dynastinae of the World. S.e. Dordrecht: Dr. W. Junk Publishers. Netherlands. 800 p.
- HALFFTER, G.; FAVILA, M. E. 1993. The Scarabaeinea (Insecta: Coleoptera) an animal group for analysing, inventoring and monitoring biodiversity in tropical rainforest and modified landscapes. En: Biology International 27: 15-21.
- HERNÁNDEZ-CAMACHO, J.; WALSCHBURGER B., T.; ORTIZ Q. R.; HURTADO G., A.. 1992. Centros de endemismo en Colombia. En: La Diversidad Biológica de Iberoamérica, pp.3-24. Acta

- Zoológica Mexicana (n.s.). Volumen especial de 1992. G. Halffter compilador. CYTED-D, Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. México D. F. 389 p.
- MORÓN, M. A. 1997. Inventarios faunísticos de los Coleoptera Melolonthidae Neotropicales con potencial como bioindicadores. *Giornale Italiano di Entomologia* 8: 265-274.
- MORRONE, J. J. 2001. *Biogeografía de América Latina y el Caribe*. M&T-Manuales & Tesis SEA, vol. 3. Zaragoza, 148 p.
- SUTTON S. L.; COLLINS N. M. 1991. Insects and tropical forests conservation. En: Collins, N. M.; Thomas, J. A. (Eds.). *The conservation of insects and their habitats*. Academic Press, London: 405-424 p.

Simposio 6.

Plagas de las flores

Coordinador: Ferdy Alfonso Alvarado, M. Sc.
Centro de Innovación de la Floricultura Colombiana,
CENIFLORES, Bogotá, D.C.

Participantes:

Fabiola Valcárcel Calderón, Ph. D.

Vanda Helena Paes Bueno, Ph. D.

Ferdy Alfonso Alvarado, M. Sc.

El control biológico de plagas en la floricultura colombiana

Fabiola Valcárcel-Calderón¹

¹M.Sc. save consultores s.a.s. Gerente técnico, fvalcarcelc@gmail.com

Introducción

Colombia es el primer país proveedor de flores cortadas a EE.UU. y el segundo exportador de flores a nivel mundial, con una participación del 14% del mercado, después de Holanda con el 56%, alcanzando en 2009 un valor de U.S. \$ 1 billón (Solano, 2009). Existen en el país 6000 Has dedicadas a su producción, siendo las rosas y el clavel los de mayor ocupación en área representando el 32% y 14% del área respectivamente. Un componente central de la producción, productividad y calidad de ornamentales es el control fitosanitario.

Debido al ataque constante por parte de plagas que deterioran la calidad y productividad, y a las altas exigencias fitosanitarias de los mercados internacionales, es necesario implementar prácticas de control que la mayoría de las veces se enfocan en el control con pesticidas. Aunque su uso permite en un gran número de casos el logro del objetivo, para mejorar el desempeño y sostenibilidad del control se requieren un enfoque de integralidad con otros mecanismos que permitan reducir las posibilidades de resistencia, el impacto ambiental y los riesgos a la salud, así como preservar las características de calidad de los productos vegetales.

El manejo integrado de plagas y enfermedades MIPE, es una estrategia que responde a los requerimientos mencionados. Un programa de Manejo Integrado se basa en el conocimiento, experiencia, observación e integración armónica y simultánea de múltiples tácticas de control basadas en el conocimiento de la biología de las plagas, e incluye diferentes prácticas como el diagnóstico, el monitoreo en campo, el control biológico, la prevención, el control cultural, mecánico y físico, el uso de pesticidas y la resistencia de variedades.

En la industria de flores en Colombia el Manejo Integrado de plagas, MIPE, es una práctica cada vez más extendida y ha permitido a los floricultores acceder a sellos ambientales con reconocimiento internacional como GlobalGap, Florverde o Rainforest.

El control biológico dentro del esquema MIPE, en la industria de ornamentales en Colombia, es una práctica conocida de tiempo atrás aunque aún no extendida a niveles industriales. El uso de predadores de los géneros *Phytoseilus* spp. y *Amblyseius* spp. para el control del ácaro fitófago *Tetranychus urticae*, constituye un ejemplo, logrado por iniciativas particulares de algunos cultivadores.

El control biológico

El control biológico es un componente de la estrategia de manejo integrado que reduce el impacto ambiental de la agricultura sobre el agua y la salud. Las medidas de control biológico son específicas para una plaga en particular y pueden mantener controles que reducen pérdidas económicas (Orr *et al.* 2006). Se define como la reducción de poblaciones plaga por enemigos naturales que incluyen predadores, parasitoides y patógenos (micro-organismos). Los predadores pueden ser insectos u otros animales insectívoros, cada uno capaz de consumir muchos insectos durante su vida y generalmente son más activos que su presa (O'Neil *et al.* 2006).

El uso de control biológico en la floricultura colombiana continúa siendo una práctica poco extendida, hecho reportado desde 1998 por Nicholls y otros. Aunque a lo largo de la historia de la floricultura existen ejemplos de control biológico como el caso de *Dyglyphus begini* para el control de minador de hoja, el uso de entomopatógenos para el control de poblaciones de trips y mosca blanca y más recientemente , como respuesta a varias situaciones como deficiencia en control, resistencia a pesticidas, altos costos de control y necesidad de atender requerimientos ambientales, algunas empresas han implementado el procesos de control biológico partiendo de multiplicación y cría de predadores para el control de *T. urticae* en sus propias instalaciones o surtiéndose de los escasos distribuidores locales.

Plagas y enfermedades frecuentes en la floricultura colombiana

La mayor parte de los cultivos en la floricultura colombiana crece dentro en invernaderos plásticos que ofrecen las condiciones favorables para el establecimiento de insectos plaga y enfermedades (Parella y Nicholls 2006). La lista de plagas que afectan los cultivo de flores de corte en Colombia no es larga, pero si resultan altamente agresivas. En el siguiente cuadro hago un listado de las plagas más comunes y sus hospederos frecuentes, de acuerdo con mi experiencia personal.

Se puede concluir que la mayoría de plagas son polífagas, esto debido principalmente a su adaptación a las condiciones ambientales mejoradas que reinan dentro de los invernaderos, más que a los mismos hospederos, como lo señalan Parella y Nicholls (2006).

Alternativas para el control biológico en Colombia

De acuerdo con la literatura y experiencias de investigación a nivel global y local, existen alternativas comprobadas para el control biológico de las plagas mencionadas en la tabla 1. En la tabla 2 se resumen estas alternativas por objetivo biológico.

En conclusión, se puede decir que existen alternativas para casi todas las plagas, e incluso la lista de alternativas puede ser más larga, como es el caso de los trips *F. occidentalis* para el que se reportan otros depredadores y parasitoides que han sido estudiados en Canadá en cultivos de manzanas, dentro de los que se incluyen otros miembros de la familia Anthocoridae diferentes de

Orius (Hubscher 1983). Sin embargo, el éxito en la implementación, está en función de diferentes variables y el conocimiento profundo y manejo permanente de estas condiciones serán los responsables de los beneficios esperados.

Tabla 1. Plagas frecuentes en la floricultura colombiana

Cultivo/Plaga	Trips	Arañas	Minador	Mosca blanca	Afidos	Coleopteros (*)	Trozador
Rosa	X	x		x	x	x	x
Clavel	X	x			x		x
Crisantemo y pompón	X	x	x	x	x		x
Alstroemeria	X	x	algunas variedades	x	x	x	x
Gérbera	X	x	x	x	x		x

Nota: la escala de color indica el grado de susceptibilidad de las variedades para cada tipo de cultivo. Más intenso el color, mayor posibilidad de daño.

(*) Mayor posibilidad de daño por parte de estados inmaduros en cultivos permanentes cultivados en suelo.

Requerimientos para la implementación de control biológico

Comparado con el control químico, requiere una planeación y manejo más dedicado, mayor intensidad de monitoreo y registros, así como paciencia y más educación y entrenamiento. Para tener resultado exitoso es necesario conocer la biología de las plagas y sus enemigos naturales. Puede ser más costoso que el control químico al comienzo de su implementación, y su efecto nunca será de *knock down*, (Orr *et al.*, 2006).

En resumen las condiciones a verificar antes y durante el proceso se detallan a continuación. (basada en las publicaciones de Gilkeson, 1984 y Parella, 2006)

Aspectos de la biología y hábitos de los agentes involucrados

- Clara identificación de los insectos plaga y problemas potenciales para los cultivos de interés.
- Sincronización de los ciclos de vida de los agentes involucrados. Es necesario conocer cuál o cuáles estados de desarrollo serán los afectados, su ubicación en el cultivo y en qué momento dentro del ciclo productivo del cultivo estarán disponibles.

Aseguramiento de la eficacia

- Realizar pruebas de funcionalidad de los individuos en campo.
- Verificar la calidad de los controladores (predadores, parasitoides, entomopatógenos).
- Incrementar el monitoreo para asegurar su dispersión y sobrevivencia.

- Vigilancia y aseguramiento de las condiciones ambientales que permitan el óptimo desempeño del controlador.

Aspectos operativos

- Asegurar la fuente de suministro de los organismos benéficos y su óptima calidad.
- Desarrollar una rutina de monitoreo: frecuencia, método de revisión y registro.
- Definir los momentos de liberación, la cantidad y los sitios en dónde serán hechas.
- Establecer un programa de liberación según resultado de monitoreo de los insectos plaga y/o el estado de desarrollo del cultivo.

Tabla 2. Posibles controladores biológicos para las plagas de la floricultura colombiana.

Plaga	Agente controlador	Tipo de control	Fuente
Trips <i>F. occidentalis</i>	<i>Orius</i> spp.	Predador	Hoddle, M. 2013
	<i>Amblyseius</i> spp.	Predador	
	<i>Beauveria bassiana</i>	Entomopatógeno	Pundt, L. 2008
Mosca blanca <i>T. vaporariorum</i>	<i>Encarsia formosa</i>	Parasitoide	Siongers and Coserman, 2003
	<i>Beauveria bassiana</i>	Entomopatógeno	
Ácaros <i>T. urticae</i>	<i>Amblyseius</i> spp.	Predador	Arguelles, A y otros 2007; Bustos y otros 2009; Forero y otros 2008; Fraulo, AB, and O.E. Liburd, 2007
	<i>Pytoseius</i> spp.	Predador	
	<i>Paecylomyces fumosoroseus</i>	Entomopatógeno	Wei-Bing Shi and M.G. Feng, 2004; Castro, J. 2010
Áfidos	<i>Aphidoletes aphidimyza</i>	Parasitoide	Parella, M. and Nicholls, 20016
	<i>Aphidius colemani</i>	Parasitoide	
Coleópteros <i>A. escabaeoides</i>	<i>Steirnerema</i> sp.	Parásito Nemátoso entomopatógeno	Lucero, A.M., L.A. Peña y L.Cultid, 2006
	<i>Metharizum anisoplae</i>	Entomopatógeno	Marino, P y otros 2004
Minador <i>Liriomyza</i> spp.	<i>Dygluphus begini</i>	Parasitoide	Parella, M. and Nicholls, 20016
	<i>Dacnusa sibirica</i>	Parasitoide	
	<i>Steirnerema feltiae</i>	Parásito nematodo entomopatógeno	Tong-Xian, L. y otros 2009

Ajustes del programa MIPE

- Seleccionar pesticidas que sean seguros para los organismos benéficos y definir sus prácticas de uso.
- Incluir en el proceso de implementación y seguimiento a todas las personas vinculadas con la operación del cultivo.

- Revisar la compatibilidad de todas las prácticas de cultivo de manera que se garantice la funcionalidad de los controladores.

Limitaciones para la implementación de control biológico

Aunque la implementación de control biológico dentro de la estrategia MIPE es un proceso deseado y de gran aporte para la floricultura es importante considerar aspectos que pueden poner en riesgo su viabilidad parcial o total.

Barreras comerciales:

- Las flores a diferencia de las hortalizas (dónde existen ejemplos exitosos de control biológico) son un producto estético con altas exigencias de presentación, no hay tolerancia para evidencia de daños (Flood, 2013)
- Muchos de los productos de la floricultura se mercadean con tallos y hojas, que igualmente deberán lucir sin evidencia de daños.

Barreras fitosanitarias

- Exigencias fitosanitarias en países compradores. En los últimos años la tolerancia a la presencia de cualquier individuo vivo se ha reducido y la censura llega hasta plagas no declaradas cuarentenarias. Ante esta situación es posible que la presencia de un agente controlador sea motivo de rechazo.

Barreras culturales

- En el sector floricultor existe una alta dependencia del uso de pesticidas.
- Los efectos de choque con deseables en la mayoría de las situaciones.
- Los esquemas de monitoreo en campo son más generales que detallados.
- El control biológico se ha difundido como un reemplazo del control químico creando falsas expectativas en cuanto a su velocidad de acción.

Barreras económicas

- Los programas de control biológico pueden ser más costosos que los programas químicos. Esto se supera cuando se evalúan en el mediano y largo plazo gracias a su sostenibilidad.

Barreras de suministro

- Escasa o nula disponibilidad de agentes controladores. La proveeduría de controladores biológicos es nueva y no se cuenta con una amplia oferta. Esta situación es un poco mejor para el caso de entomo-patógenos, sin embargo todavía hace falta garantizar la calidad y eficacia

Necesidades para la implementación de control biológico

Además de superar las barreras mencionadas, se requiere que para la implementación de procesos de control biológico se fortalezca la investigación con miras a ampliar la posibilidad de inclusión de agentes de control biológico y que los proveedores de esta tecnología brinden acompañamiento durante la implementación en campo. Igualmente importante es contar con estándares verificables de calidad de los insumos bien sean insectos o microorganismos.

Conclusión

La implementación de control biológico dentro de la estrategia MIPE en la floricultura, es una necesidad para reducir la dependencia de los plaguicidas y así recibir importantes beneficios como preservar su eficacia en el tiempo, mejorar las condiciones ambientales del entorno y buscar soluciones de control verdaderamente sostenibles.

Aunque la literatura reporta soluciones biológicas para la gran mayoría de insectos plaga, su implementación aun tiene que superar diferentes limitaciones que van desde la generación de conocimiento en condiciones propias de los invernadero en nuestro país, el aseguramiento de la sobrevivencia, la eficacia en campo, la calidad, el acompañamiento en los procesos y la capacitación para el seguimiento en campo.

Literatura citada

- ARGUELLES, A.; PLAZAS, N.; TAUTIVA, L.; CANTOR, F.; BUSTOS, A.; RODRÍGUEZ, D. 2007 Evaluación de un método Campo Abierto para la producción de *T. urticae* (Koch) Acari: Tetranychidae como suministro de presas para *Phytoseiulus permilis* Athias. Revista Facultad de Ciencias Básicas UMNG 2 (1): 117-122.
- BUSTOS, A.; CANTOR, F.; CURE, J. R.; RODRIGUEZ, D. 2009. Padronização da Criação de *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) em Feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*): Idade da Planta e Tempo de Colheita. Neotropical Entomology 38 (5): 653-659.
- CASTRO, J. 2010. Evaluación del control biológico que ejerce la simbiosis del hongo *Paecilomyces fumoroseus* junto con el organismo quitinolítico aislado de cascarilla de camarón, sobre el ácaro *T. urticae* en cultivo de rosa bajo invernadero. Tesis de grado, Ingeniería en Biotecnología, Escuela Politécnica del Ejército, Sangolqui, Ecuador.
- FLOOD, D.. 2013. Can Biocontrol and IPM Work for Floriculture? Floriculture Development Officer . British Columbia Ministry of Agriculture and Lands. Consultado en www.agf.gov.bc.ca en mayo 3 de 2013.
- FORERO, G.; RODRÍGUEZ, M., CANTOR, F.; RODRÍGUEZ, D.; CURE, J. R. 2008. Criterios para el manejo de *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) con el ácaro depredador *Amblyseius* (*Neoseiulus*) sp. (Acari: Phytoseiidae) en cultivos de rosas. Agronomía Colombiana 26 (1): 78-86.

- FRAULO, A. B.; LIBURD, O. E. 2007. Biological control of twospotted spider mite, *Tetranychus urticae*, with predatory mite, *Neoseiulus californicus*, in strawberries. Exp. Appl. Acarology 43 (2): 109-119.
- GILKESON, L. A., 1984, Biological Control methods for pest in commercial greenhouses. Ecological Agricultural Projects, Publication-52. Department of Entomology.
- HODDLE, M., 2013. Western Flower Trips in Greenhouses: A Review of its Biological Control and Other Methods. Biological control of Western Flower Trips, University of California Riverside. Consultado en <http://biocontrol.ucr.edu/wft.html> en abril 20 de 2013.
- HUBSCHER, T., 1983. An investigation into the relationship between Western Flower Trips damage and orchard floor managment in British Columbia apples orchards. Thesis for degree as a Master of Pest Management, Simon Fraser University, Bristish Columbia, Canada.
- LUCERO MAFLA, A. M.; PEÑA, L. A. V.; CULTID, L. 2006. Efecto de *Steinernema* sp. sobre larvas de *Ancognatha scarabaeoides* (Coleoptera: Scarabaeidae) en condiciones de laboratorio e Invernadero. Revista Corpoica – Ciencia y Tecnología Agropecuaria 7 (1): 66-69.
- MACDONALD COLLEGE OF MCGILL UNIVERSITY STE.-Anne-de-Bellevue, Quebec Canada H9X 3V9. Recuperado de <http://eap.mcgill.ca/>
- MARINO, P.; VILLAMIZAR, L.; ESPINEL, C.; COTES, A.M. 2004, Caracterización de prototipos de bioplaguicidas granulados a base de *Metarhizium anisopliae* para el control de *Ancognatha scarabaeoides* (Coleoptera: Melolonthidae) Rev. Colomb. Entomol. v.30 n.1 Bogotá ene./jun. 2004
- NICHOLLS, C.; PARELLA, M.; ALTERI, M. 1998 Advances and perspectives in the biological control of greenhouse pest with special reference to Colombia. Integrated Pest Management Reviews 3, 99-109 (1988).
- O'NEIL, R., HO JUNG YOO; BUTLER, C.; HEIDEL, T, 2006. Soybean aphid research NCERA-125
- ORR, D.; BABARA, S.; BAKER, J. 2006. Biological Pest Control: An Introduction. Dpt. of Entomology, North Carolina State University. Recuperado de <http://cipm.ncsu.edu/ent/biocontrol/intro.htm>, en Octubre de 2010.
- PARELLA, M.; NICHOLLS, C. 2006, El Control biológico de plagas de invernadero en Colombia: avances y perspectivas. Capítulo XI del libro Control Biológico de plagas de invernadero, consultado en agroeco.org/wp-content/uploads/2010/10/CapituloXIclara1.pdf en abril 30 de 2013. publications/eap52.htm en Enero de 2011.
- PUNDT, L. 2008. Biological control of Western Flower Trips, University of Connecticut. Consultado en http://www.hort.uconn.edu/ipm/greenhs/htms/biocontrol_wftrips.htm en abril 28 de 2013.
- SIONGERS, C.; COOSEMANS, J. 2003. Biological control of greenhouse whitefly (*Trialeurodes vaporariorum*) with fungal insecticides. Common. Agric. Applied Biological Science 2003; 68 (4-Pt A) 239-47.
- SOLANO, A. 2009. Floricultura colombiana: un caso de colaboración exitosa en protección de cultivos. Presentación en power point. Recuperada en www.asocolflores.org en mayo 9 de 2013.
- STATE Report Department of Entomology, Purdue University West Lafayette, IN 47097-1185. Recuperado de <http://www.ncera125.ent.msu.edu/PDFS/NCERR125-Indiana.pdf> en Agosto de 2010

- TÉLLEZ, M. M; TAPIA, G.M.; LARA, L. 2006 *Diglyphus isaea*, un parasitoide eficaz en el control de minadores de hoja. Consultado en <http://www.horticom.com/pd/article.php?sid=63843>, abril 25 de 2013.
- TONG-XIAN, LIU; KANG, LE; HEINZ, K. M.: TRUMBLE, J. 2009. Biological control of Liriomyza leafminers: progress and perspective. CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources 2009 4, No. 004
- WEI-BING SHI; MING WANG FENG. 2004 Lethal effect of *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, and *Paecilomyces fumosoro-seus* on the eggs of *Tetranychus cinnabarinus* (Acari: Tetranychidae) with a description of a mite egg bioassay system. Biological Control 30 (2): 165-173.

Panorama mundial do controle biológico de pragas na floricultura em sistemas protegidos

Vanda Helena Paes Bueno¹

¹ Departamento de Entomologia, Universidade Federal de Lavras, Caixa Postal 3037, 37200-000 Lavras, MG, Brasil.
vhpbueno@den.ufla.br

A floricultura é uma atividade que movimenta US\$ 48 bilhões por ano no mundo. No Brasil, a atividade começou a ganhar importância econômica há pouco mais de três décadas, e tem registrado desde 2006, crescimento de 15% e 17%, segundo o Instituto Brasileiro de Floricultura (IBRAFLO). Entretanto, a participação brasileira no fluxo internacional de flores e plantas ornamentais ainda é pequena, sendo que somente 4% da produção nacional são exportadas, e em 2012, atingiram 20,6 milhões de dólares. Brasil é o sexto maior exportador de flores do planeta, atrás de Holanda, Colômbia, Itália, Israel e Estados Unidos.

A garantia de exportação, entre os países produtores, depende dos padrões de qualidades internacionais, o que inclui dentre outros fatores, o correto controle de pragas, as quais podem ser limitantes para a produção e mercado. Os pulgões, moscas brancas, tripses, moscas minadoras, ácaros, cochonilhas, fungus gnatus estão entre essas pragas que além da grande capacidade reprodutiva, tem adquirido resistência a muitos produtos fitossanitários aplicados contra elas (Bueno y van Lenteren 2011).

Assim, nestes sistemas o controle biológico tem sido o mais utilizado, uma vez que cultivos em casas de vegetação oferecem uma possibilidade única para criar as comunidades desejadas de inimigos naturais por meio da escolha e liberação dos mesmos dentre as diversas espécies que estão disponíveis comercialmente em nossos dias (Enkegaard y Brodsgaard 2006, van Lenteren 2012, Bueno y van Lenteren 2012). Em outras palavras, a biodiversidade pode ser criada e manipulada para maximizar o controle sustentável de pragas. Ao mesmo tempo, tais sistemas podem ser usados para estudo da manipulação da biodiversidade na dinâmica de comunidades de artrópodes habitantes da planta em condições relativamente controladas e em uma escala espacial mais ampla do que aquela realizada com comunidades em condições de campo (Messelink 2012).

O controle biológico de pragas é usado em larga escala nos principais cultivos de flores, sua ação se estende em 5% de toda a área com casas de vegetação ao redor do mundo e existem potencial para aumento deste uso em cerca de 20% desta área nos próximos 10 anos (van Lenteren 2012).

O controle biológico de pragas em casa de vegetação pode envolver o controle natural, a conservação e o controle aumentativo, sendo que os dois últimos são os mais utilizados em nossos dias. No controle biológico conservativo, a manutenção de refúgios e ou de presa/hospedeiros

alternativos no interior das casas de vegetação pode ser importante para o controle de muitas pragas nestes sistemas. Também inimigos naturais podem ser mantidos no interior das casas de vegetação com a provisão de hospedeiro alternativo por meio da utilização de criações abertas ou plantas banqueiras. Neste sistema é utilizada uma planta, diferente da planta cultivada, que tenha um inseto que se alimenta dela, mas que não ataque a planta da cultura principal e que seja hospedeiro/presa para um inimigo natural que também ataque a praga na cultura principal. O objetivo deste sistema é sustentar uma população reprodutiva de inimigos naturais em um cultivo promovendo a supressão das pragas em longo prazo (Frank 2010). O controle biológico aumentativo envolve a comercialização de inimigos naturais e, particularmente, em casas de vegetação o mais utilizado é o controle biológico inoculativo sazonal, onde inimigos naturais são criados em larga escala (criação massal) em biofábricas e liberados em números e frequência próprios, com propósitos de obtenção de um imediato controle de pragas. É estimado de que 80% do retorno do comércio global gerado pelos agentes de controle biológico advêm do seu uso em casas de vegetação (van Lenteren 2007). Dados mais recentes mostram que o número de inimigos naturais invertebrados comercializados para controle biológico é ao redor de 230 espécies (van Lenteren 2012).

Pragas e inimigos naturais em cultivos protegidos

As pragas comuns em cultivos em casas de vegetação, são frequentemente não específicas a qualquer nível de tecnologia ou estrutura presente nestes ambientes, são tipicamente polípagas, infestam diferentes plantas hospedeiras e são geralmente mais problemáticas em cultivos protegidos do que no campo. Isto porque encontram, normalmente, nas casas de vegetação um ambiente abiótico bastante favorável, quanto à temperatura e umidade, falta de inimigos naturais, e pela tendência favorecida a desenvolver resistência aos inseticidas convencionais, por causa do modelo típico usado na agricultura protegida (Bielza 2008).

Devido à globalização dos produtos presentes em casas de vegetação, as pragas, em sua grande maioria, são as mesmas que ocorrem em qualquer parte do mundo. Segundo van der Blom *et al.* (2009), a baixa tolerância pelos agricultores a algumas dessas pragas tem levado a intensivos programas de controle químico, e como resultado as populações de várias pragas tem desenvolvido resistência contra os ingredientes ativos aplicados.

Assim, muitos produtores de flores tem o controle biológico como uma meta importante em seus sistemas de cultivo. Embora o uso do controle biológico em ornamentais é mais recente do que aquele usado para hortaliças cultivadas em casas de vegetação, ele está em franco crescimento (Bueno y van Lenteren 2011) em flores de corte, como gérbera, orquídeas, rosas e crisântemo e em plantas em vasos, como antúrio e poinsetia. Programas de MIP em uso em cultivos de ornamentais em casa de vegetação comercial são apresentados por Parrella *et al.* (1999) para crisântemo, e em van Lenteren (1995) para gérbera. Estima-se que mundialmente o

uso corrente de programas de MIP, envolvendo o controle biológico em ornamentais é em cerca de 3.000 ha (Bueno y van Lenteren 2011).

Mosca branca. As moscas brancas estão entre as mais severas pragas em cultivos de ornamentais e hortaliças em casas de vegetação. São insetos de tamanho pequeno (1-3 mm), cujos adultos voam e as ninfas permanecessem fixas na parte inferior das folhas. Duas espécies se destacam como as de maior importância econômica, a mosca branca da casa de vegetação, *Trialeurodes vaporariorum* e a mosca branca do fumo ou da batata doce, *Bemisia tabaci*. Esta última espécie apresenta um complexo de biótipos, sendo o mais conhecido o biótipo B.

Adultos da mosca branca se localizam prioritariamente nas partes mais jovens das plantas, e depositam seus ovos preferencialmente na parte inferior das folhas. A ninfa de primeiro instar é móvel e escolhe o melhor lugar para alimentar-se e fixar-se na folha, sendo que os três seguintes instares é sésil. O estágio de desenvolvimento subsequente é a pupa, correspondente a última parte de o quarto instar, o qual não se alimenta e é quando é formado os tecidos do adulto. Adultos de *B. tabaci* quando em repouso tem as asas posicionadas perpendicularmente enquanto que os adultos de *T. vaporariorum* têm as asas dispostas horizontalmente.

Apresentam distribuição agregada nos cultivos, com concentração nas áreas com temperaturas mais amenas ou naquelas em que o crescimento das plantas é maior. As moscas brancas causam danos diretos nos cultivos, devido a sucção de grande quantidade de seiva provocando a debilidade da planta. Excretam o excesso de açúcares, formando uma mela, no qual se desenvolvem fungos (fumagina). Esta, além de reduzir a superfície fotossintética da planta, mancha a planta, deteriorando a sua qualidade. Devido a sua alimentação no floema, estas espécies são vetor de viroses. Os danos cosméticos devido à presença da fumagina são muito importantes quando esta mancha de negro as partes que serão comercializadas, como por exemplo, em poinsetia.

Existe uma grande diversidade de inimigos naturais, que podem atacar as moscas brancas. Os parasitóides mais comuns, comercializados e utilizados como agentes de controle biológico são *Encarsia formosa*, *Eretmocerus mundus* e *E. eremicus*. O parasitoide *E. formosa* tem sido o mais utilizado para o controle de mosca branca nos últimos 30 anos, e embora possa parasitar muitas espécies de mosca branca, na prática é mais indicado para controle de *T. vaporariorum*. Já *E. mundus* está indicado para *B. tabaci*, biótipo B.

Dentre os predadores que estão disponíveis comercialmente são os percevejos mirídeos *Macrolophus caliginosus* e *Nesidiocoris tenuis*, e também o ácaro predador *Amblyseius swirskii* (veja maiores detalhes em Bueno y van Lenteren, 2011). Plantas de berinjela podem ser usadas como plantas armadilhas para o controle de mosca branca em cultivos de antúrio (Frank 2010).

Trips. As espécies mais prejudiciais em casas de vegetação ao redor do mundo são *Frankliniella occidentalis*, *Thrips tabaci* e *Thrips palmi*.

Caracterizam-se por serem altamente polípagos e atacam tanto as flores como o tecido foliar, além de várias espécies serem importantes vetores de vírus. Os danos em cultivos de ornamentais podem tomar várias formas, sendo o mais sério os danos às flores. Os botões florais infestados podem não abrir, e em rosas em particular isto pode ser um problema bastante sério. Também em ornamentais é inaceitável a distorção das folhas. Em crisântemo e gerbera, a alimentação resulta em pétalas distorcidas, descoloração e estrias extensivas. Em gerânio ocorre deformação nas folhas jovens, enrolamento e áreas esbranquiçadas sobre a superfície superior da folha. Em plantas jovens de poinsetia, causam distorção no desenvolvimento das folhas (Bueno 2008, Bueno y van Lenteren 2011).

Como para a maioria das pragas em cultivos protegidos, a lista de inimigos naturais de tripses é bastante longa, no entanto, os predadores, são os melhores candidatos para o controle de tripses. Dentre as principais espécies, inclusive em uso comercial, destacam-se os percevejos antocorídeos (*Orius insidiosus* e *Orius laevigatus*) e os ácaros predadores, como *A. swirskii*. Espécies de *Orius* são predadores vorazes; eles podem aumentar seus números rapidamente em resposta ao pico populacional da presa favorita, ou seja, os tripses (Bueno 2009)

Nos últimos 3 a 4 anos, agricultores principalmente no Canadá, estão usando plantas banqueiras junto aos cultivos de ornamentais, como plantas de pimenta ornamental (variedade *Black Pearls*) as quais são atrativas a *Orius* e produzem pólen. Essas plantas são colocadas na casa de vegetação junto ao cultivo de ciclâmen e *Orius* é introduzido juntamente com as plantas de pimenta onde eles se alimentam de pólen e se reproduzem. Dessa maneira, *Orius* se estabelece na casa de vegetação mais cedo do que quando são introduzidos e ou liberados (Murphy, 2012). Também pode ser usado com cultivos de violeta africana, crisântemo de vaso e gerbera. Crisântemo da variedade *Vyron* é mais atrativa para o tripses *F. occidentalis* e é usada por produtores como planta indicadora ou armadilha em cultivo de folhagens. A planta banqueira *Tagetes erecta* é atrativa para *O. insidiosus* e mantém o predador no interior da casa de vegetação com cultivos de rosa para o controle de tripses (Bueno y Poletti 2009, Bueno 2011).

Pulgões. Dentre as espécies de pulgões praga em cultivos de ornamentais em casas de vegetação destacam-se *Macrosiphum euphorbiae* e *Aphis gossypii*.

Além do dano direto, devido à sucção de seiva, também podem vetores de viroses em plantas. Em adição, causa indiretamente o aparecimento de fumagina, o que reduz a fotossíntese e deprecia o valor estético das plantas ornamentais.

Dentro das condições de casas de vegetação, isto é, com uma temperatura mais ou menos constante e na ausência de inimigos naturais, as populações de pulgões são capazes de crescer exponencialmente por um período considerável.

Pulgões são, portanto, problema persistente em cultivos em casas de vegetação, assim inimigos naturais é a primeira chance para o seu controle biológico, mas importante é encontrar o inimigo certo para o pulgão certo. Como inimigos naturais de pulgões destacam-se, dentre os parasitóides *Aphidius colemani*, *Aphidius ervi*, *Lysiphlebus testaceipes*, *Praon volucre*. Entre os

predadores, destaque para o díptero *Aphidoletes aphidimyza*. Muitos inimigos naturais de pulgões vêm sendo utilizados comercialmente em cultivos protegidos ao redor do mundo para o controle biológico de pulgões, levando-se em consideração a preferência por afídeo hospedeiro (van Lenteren 2012). Algumas vezes também é necessário o uso isolado de um predador ou em conjunto com um parasitoide, e *A. aphidimyza* é um predador voraz e eficiente, atacando todas as espécies de pulgões.

Também pode ser utilizadas plantas banqueiras, como de trigo ou cevada. Plantas de cevada infestada com o pulgão *Rhopalosiphum maidis* é o sistema de planta banqueira mais comumente usado para o controle de pulgões, principalmente em cultivos de gérbera de corte (Bueno 2011).

Mosca minadora. Espécies pertencentes ao gênero *Liriomyza* são as mais polífagas, e algumas delas têm uma forte propensão para uma rápida adaptação e exploração da planta hospedeira. Entre elas destaca-se *Liriomyza huidobrensis*, *Liriomyza sativae*, *Liriomyza trifolii* e *Liriomyza bryoniae*.

Problemas causados por moscas minadoras em casas de vegetação têm se expandido em muitas regiões e tanto em cultivos de hortaliças como de ornamentais, como consequência do grande volume de inseticidas aplicados nos cultivos, o que além de levar a problemas de resistência na praga, também provoca a morte do complexo de inimigos naturais que podem invadir as casas de vegetação e inclusive contribuir para o controle natural das moscas minadoras.

Quando uma fêmea adulta da mosca minadora, se alimenta ou coloca ovos, ela faz um orifício com a ponta de seu ovipositor, usualmente na superfície superior da folha. Nestes casos, os orifícios ficam conhecidos como “pontos de alimentação” e ou “pontos de oviposição”, sendo que os de alimentação são arredondados e visíveis a olho nu, e os de oviposição, são ovais e raramente vistos ou detectados. Quando a larva sai do ovo ela penetra no mesófilo foliar e inicia a sua alimentação causando extensos danos devido à formação das minas. Uma alta quantidade de folhas minadas causa um significativo decréscimo na atividade fotossintética que pode levar a dessecação e queda prematura das folhas, e dano cosmético, como no caso de gérbera e crisântemo.

A ausência de inseticidas no interior das casas de vegetação e um ambiente diversificado ao redor das mesmas podem promover um eficiente controle natural das populações das moscas minadoras, principalmente por parasitóides (Murphy e La Salle 1999). Também parasitóides de moscas minadoras, em suas áreas de distribuição original, são ativos na maior parte do ano e capazes de intervir naturalmente e no início das estações de plantio em cultivos infestados por várias espécies de *Liriomyza* (Onillon 1999). Entre os mais importantes parasitóides das moscas minadoras em casas de vegetação estão *Dacnusa sibirica*, *Diglyphus isaea* e *Opius pallipes*. No Brasil, tem sido encontrados também *Diglyphus begini*, *Diglyphus intermedius* e espécies de *Chrysocharis* (Carvalho *et al.* 2011), sendo a primeira espécie parasitando *Liriomyza* spp. em cultivos de crisântemo.

As espécies *D. sibirica* e *D. isaea* são comercializadas em grande escala como agentes de controle biológico de moscas minadoras em casas de vegetação (van Lenteren, 2012, Bueno y van Lenteren 2011).

Ácaros. Os ácaros são pragas em muitos cultivos ao redor do mundo. Sua grande capacidade reprodutiva capacita-os a causar perdas econômicas muito rapidamente, sendo que a espécie mais comum e mais importante em casas de vegetação é o ácaro rajado *Tetranychus urticae*, também pode ser encontrado o acaro branco *Polyphagotarsonemus latus*.

São encontrados principalmente na parte superior das folhas, inserem os estiletes e sugam o conteúdo das células da epiderme e do mesofilo. As células danificadas têm um número reduzido de cloroplastos e apresentam puncturas amareladas, que mais tarde se tornam grandes áreas amareladas; as folhas caem prematuramente. Esse dano citológico é acompanhado por alterações fisiológicas e químicas na planta levando a um retardo no crescimento e perdas na colheita. O ácaro branco ataca preferencialmente as folhas mais tenras das brotações, que acabam por apresentar deformações e rasgaduras, como no caso de gérbera.

O controle biológico de ácaros filófagos é feito, principalmente, por meio do uso de ácaros predadores da família Phytoseiidae, a qual reúne a maioria dos ácaros predadores; várias espécies estão disponíveis comercialmente nos dias atuais e empregados com sucesso em muitos cultivos em casas de vegetação, entre eles, *Amblyseius swirskii*, *Neoseiulus californicus*, *N. cucumeris*, *Phytoseiulus persimilis*, *P. macropilis*.

A espécie mais comercializada nos dias de hoje, tanto na Europa como na América do Norte, é *A. swirskii*, um predador generalista, que além de preda ácaros pode também consumir outras espécies de insetos como mosca branca e tripes. Sua ampla faixa de presas é vantajosa porque pode ser usado para o controle de múltiplas espécies de pragas na casa de vegetação.

Fungus gnats. Somente recentemente moscas denominadas de *fungus gnats* têm sido reconhecidas como importantes pragas em casas de vegetação. O termo *fungus gnats* é utilizado porque esse inseto se alimenta de material vegetal presente no substrato de produção. A maioria pertence ao gênero *Bradysia* e são conhecidas como “sciara”, sendo encontradas em ambientes úmidos e são as mais comuns em casas de vegetação ao redor do mundo. Em cultivos conduzidos no solo, e também em mudas ou plantas jovens, os problemas com *fungus gnats* são maiores.

Os adultos de *fungus gnats* causam pouco dano direto nas plantas, mas se as populações são muito altas, causa incômodos aos trabalhadores na casa de vegetação, como a inalação de moscas e ou a entrada das mesmas nos olhos. Adultos podem depositar fezes sobre as plantas e também podem ficar presas na superfície molhada das folhas, reduzindo assim o valor estético, principalmente em ornamentais.

As larvas se constituem em verdadeiras pragas porque se alimentam das raízes, principalmente em mudas e plantas jovens, causando severos danos as plantas. Quando as populações são altas além do ataque as raízes, também promovem a formação de túneis ou galerias nas raízes e caules das plantas. Raízes danificadas tornam as plantas mais susceptíveis ao ataque de fungos, incluindo *Pytium*, *Fusarium* e *Botrytis*. Esse dano direto ocasionado pelo ataque das larvas nas raízes é facilmente confundido com a ocorrência de doenças como as fusarioses. Os danos se tornam aparentes quando as plantas ficam amareladas, aparecem atrofiadas ou murchas durante o dia. Entre as ornamentais, são atacadas por *fungus gnats*, cravos, lírio, gerânios, azaléia, poinsetia, dentre outras (Bueno y van Lenteren 2011).

Vários inimigos naturais estão associados a essas moscas, como ácaros predadores, *Hypoaspis miles*, *H. aculeifer* e *Stratiolaelaps scimitus*; e nematóides entomopatogênicos, *Steinernema feltiae*. O ácaro predador *S. scimitus* é um agente de controle biológico que apresenta uma excelente eficiência no consumo de larvas dessa praga. É recomendado que a liberação inundativa desse ácaro predador seja realizada logo após o plantio das mudas, quando a infestação de *fungus gnats* ainda é baixa, o que garantirá o sucesso do uso do controle biológico em vários cultivos na casa de vegetação (Bueno y Poletti 2009).

Cochonilhas. As cochonilhas são um grupo de insetos que possuem tamanho pequeno e formas variadas. São insetos sugadores de seiva que se destacam por seu ataque tanto direto como indireto, podendo causar danos bastante expressivos e comprometendo a produção.

Embora mais de quinze espécies de cochonilhas possam ocorrer em cultivos protegidos, as mais prejudiciais pertencem aos gêneros *Planococcus* e *Pseudococcus* (Pseudococcidae). Aparecem com frequência em cultivos de ornamentais, com cactos, orquídeas, lírios.

Além da sucção contínua da seiva, as cochonilhas depauperam toda a planta, prejudicando seu metabolismo. Atrai formigas devido à secreção de *honeydew* ou mela o que também favorece a formação de fumagina, fungo de coloração negra que acaba recobrendo toda a superfície atacada e influenciando diretamente na fotossíntese da planta. As cochonilhas também pode ser inseto vetor de doenças viróticas. Em termos econômicos pertencem a um grupo de insetos bastante nocivos, podendo ocorrer nas partes aéreas e nas raízes das plantas. Frequentemente se observa descoloração das folhas acompanhada de necrose nas bordas, manchando frutos e flores e reduzindo a qualidade e o valor comercial do produto final.

A ocorrência da cochonilha pode ser constante durante todo o ciclo do cultivo, variando, entretanto a intensidade de infestação, sendo que a fase reprodutiva do cultivo é considerada a mais crítica. Em cultivos de ornamentais, a mera presença de *mealy bugs* é suficiente para tornar o produto não comercializável, assim uma população muito pequena pode causar dano econômico considerável.

O controle biológico tem um papel importante contra esses insetos. É relatado como agentes de controle biológico, o parasitóide *Leptomastix dactylopii* e o predador *Cryptolaemus*

montrouzieri, os quais são comercializados para o controle de pseudococcídeos e coccídeos em casas de vegetação.

Considerações finais

Em vários trabalhos e programas para controle de pragas em sistemas de cultivos protegidos tem se observado que o controle biológico vem ganhando espaço dentro do cenário da agricultura moderna, com custos mais baixos e benefícios cada vez mais altos e satisfatórios do que o uso do tradicional controle químico. Estratégias integradas em cultivos em casas de vegetação onde o controle biológico é atuante indicam ser este método de controle de pragas mais sustentável, levando ao melhor manejo da resistência dos insetos-praga nesses ambientes, a redução de resíduos de pesticidas, sendo mais aceitável pelos agricultores, além de maior credibilidade e aceitabilidade quanto a exportação de flores para o mercado consumidor ao redor do mundo.

Literatura citada

- BILEZA, P. Insecticide resistance management strategies against the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis*. 2008. Pest Management Science 64: 1131-1138.
- BUENO, V.H.P. 2008. Controle de pragas em ornamentais sob sistema protegido. In: Venzon, M.; Paula Jr.; Pallini, A. (eds.). Avanços no controle alternativo de pragas e doenças. Viçosa: Suprema Gráfica e Editora Ltda, 71-94 p.
- BUENO, V. H. P. 2009. Moscas minadoras: pragas importantes em cultivos protegidos. Revista Plasticultura 9: 32-33.
- BUENO, V. H. P. 2009. Controle biológico de pragas: um método de sucesso no controle de pragas em cultivos protegidos. Revista Plasticultura 10: 28-31.
- BUENO, V.H.P.; SILVA, A.R.; CARVALHO, L.M.; MOURA, N. 2009. Control of thrips with *Orius insidiosus* in greenhouse cut roses: use of a banker plant improves the performance of the predator. IOBC/WPRS Bulletin 49: 183-187.
- BUENO, V. H. P.; POLETTI, M. 2009. Progress with biological control and IPM strategies in protected cultivation in Brazil. IOBC/WPRS Bulletin 49: 31-36.
- BUENO, V. H. P. 2009. Desenvolvimento e criação massal de percevejos predadores *Orius* Wolff. P. 33-76. In: Bueno, V. H. P. (Ed.). Controle biológico de pragas: produção massal e controle de qualidade. Editora UFLA, Lavras, 429 p.
- BUENO, V. H. P. 2010. Ácaros: pragas importantes em cultivos protegidos. Revista Plasticultura 11: 31-33.
- BUENO, V. H. P. 2010. Cochonilhas. Revista Plasticultura 13: 28-30.
- BUENO, V. H. P. 2011. Mosca branca: inseto sugador de seiva e praga seria em vários cultivos. Revista Plasticultura 8-9 p.
- BUENO, V. H. P. 2011. Plantas banqueiras: como funcionam em cultivos protegidos? Revista Plasticultura 21: 8-10.

- BUENO, V. H. P., VAN LENTEREN, J. C. 2011. Controle biológico de pragas em cultivos protegidos. *Ciência & Ambiente* 43: 211-230.
- BUENO, V. H. P. 2012. Plantas armadilhas e indicadoras: como funcionam em cultivos protegidos. *Revista Plasticultura* 23: 8-9.
- BUENO, V. H. P., VAN LENTEREN, J. C. 2012. Predatory bugs (Heteroptera). p. 539-569. In: Panizzi, A. R.; Parra, J. R. P. (eds.), *Insect bioecology and nutrition for integrated pest management*. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, 732 p.
- CARVALHO, A.R.; BUENO, V.H.P.; SILVA, D.B.; COSTA, V.A. 2011. Record of *Diglyphus* Walker (Hymenoptera: Eulophidae) species in Brazil. *Neotropical Entomology* 40: 290-291.
- ENKEGAARD, A., BRODSGAARD, H. F. 2006. Biocontrol in protected crops: is lack of biodiversity a limiting factor? pp. 91-122. In: Eilenberg, J. & Hokkanen H. M. T. (eds.). *Ecological Societal Approach to Biological Control*, Springer, Dordrecht, the Netherlands.
- FRANK, S. D. 2010. Biological control of arthropods pests using banker plant systems: past progress and future directions. *Biological Control* 52: 8-16.
- MESSELINK, G. 2012. Generalist predators, food webs complexities and biological pest control in greenhouse crops. Ph.D. Thesis, University of Amsterdam, The Netherlands.
- MURPHY, G. 2012. E em Ontário no Canadá? Como é feito o controle biológico de tripés em cultivos de ornamentais em casas de vegetação? *Revista Plasticultura* 27: 8-11
- PARRELLA, M.P., LSTENGARD HANSEN; J. C. VAN LENTEREN, 1999. Glasshouse environments. In: *Handbook of Biological Control*. T. S. Bellows & T. W. Fisher, eds. Academic Press, San Diego: 819-839.
- VAN DER BLOM, J. ; ROBLEDÓ, A. ; TORRES, S. ; SÁNCHEZ, J. A. 2009. Consequences of the wide scale implementation of biological control in greenhouse horticulture in Almeria, Spain. *IOBC/WPRS Bulletin* 49: 9-13.
- VAN LENTEREN, J.C. 1995. Integrated Pest Management in Protected Crops. In: *Integrated Pest Management*, D. Dent, ed. Chapman and Hall, London: 311-343 p.
- VAN LENTEREN, J. C. 2007. A greenhouse without pesticides: fact or fantasy? *Crop Protection* 19: 375-384.
- VAN LENTEREN, J. C. 2012. The state of commercial augmentative biological control: plenty of natural enemies but a frustrating lack of uptake. *Biocontrol* 57: 1-20.

Simposio 7.

Principios y avances sobre polinización como servicio ambiental para la agricultura sostenible en países de Latinoamérica y el Caribe

Coordinador: Alberto Pantoja, Ph. D.,

Oficina Regional FAO, Santiago, Chile

Adriana Sáenz Aponte, M.Sc., Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia

Participantes:

Fancy Rojas, M. Sc. y Juan Diego Santa Cruz Lindquist

Allan Smith, Ph. D.

Alberto Pantoja, Ph. D., Rehanon Pampell, M.Sc. y Derek Sikes, Ph. D.

Adriana Sáenz Aponte, M. Sc.

Presentación simposio

Principios y avances sobre polinización como servicio ambiental para la agricultura sostenible en países de Latinoamérica y el Caribe.

Organizado por:

Alberto Pantoja, Oficina Regional FAO, Santiago, Chile

Adriana Sáenz Aponte, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia

Como parte del 40 Congreso SOCOLEN

Resumen

La polinización es la transferencia de polen desde los estambres hasta el estigma y hace posible la fecundación y por lo tanto la producción de frutos y semillas. Aunque la polinización puede ser hecha por varios vectores bióticos y abióticos, la gran mayoría de plantas dependen principalmente de la polinización hecha por insectos, entre los cuales se caracterizan las abejas por su importancia económica y ecológica. En Estados Unidos se estima que las abejas son responsables por la polinización de casi 3 billones de dólares en frutas y vegetales producidas cada año. Aunque para la mayoría de nosotros abeja es sinónimo de *Apis mellifera* o la abeja del apicultor, la cual fue introducida a América durante la colonización europea, en realidad existen más de 20.000 especies en todo el mundo. A pesar de ser ampliamente usada en la producción de miel y en programas de polinización dirigida, *A. mellifera* no siempre es la mejor abeja para realizar la polinización en algunos cultivos. En los últimos años y en todos los continentes excepto Antártica, se ha notado la disminución de poblaciones y especies de abejas (incluyendo *A. mellifera*) generando gran preocupación ambiental y económica. En los últimos 20 años la abundancia relativa de cuatro especies de *Bombus* en Norteamérica ha disminuido hasta en un 96% y los rangos de distribución original se han reducido hasta en un 87%. La comunidad internacional unio esfuerzos para monitorear estos cambios a través del establecimiento de la Iniciativa Internacional de Polinizadores, facilitada y coordinada por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. Uno de los puntos clave de esta iniciativa es buscar un mejor conocimiento de la identidad de las abejas nativas y lograr una mayor socialización de esta información con el fin de evaluar el estatus, promover el uso y conservación de los polinizadores.

A pesar de la importancia económica y ecológica de las abejas, todavía se conoce muy poco sobre ellas, dificultando su conservación y aprovechamiento. Además, muchas especies de abejas nativas proporcionan miel, cera y otros productos, sirviendo como una fuente alternativa de ingresos a comunidades indígenas y campesinas, siendo un grupo de organismos que pueden servir para varios propósitos además de la polinización. Como ocurre en otras disciplinas, la mayoría de estudios sobre abejas y su papel como polinizadores están sesgados hacia las áreas templadas, llevadas a cabo en países desarrollados o del primer mundo. Todavía existe un gran vacío en Latinoamérica y el Caribe. El objetivo de este simposio es evaluar la situación actual de los avances sobre polinización como servicio ambiental para la agricultura sostenible en países de Latinoamérica y el Caribe.

Causas e impactos de la declinación de polinizadores en el mundo

Fancy Rojas González¹ y Juan Diego Santa Cruz Lindquist²

¹ Ingeniero Agrónomo M.Cs. en Economía agraria. Directora Centro para el Emprendimiento Apícola de la Universidad Mayor. Camino La Pirámide 5750, Huechuraba, Santiago de Chile, Código Postal 7501336. fancy.rojas@mayor.cl

² Perito apícola. Asesor Centro para el Emprendimiento Apícola de la Universidad Mayor. Camino La Pirámide 5750, Huechuraba, Santiago de Chile, Código Postal 7501336. dsantacruz@gmail.com

Resumen. La declinación de los polinizadores ha generado gran atención en Estados Unidos y la Unión Europea, especialmente lo que respecta a la disminución de la población de abejas - *Apis mellifera* – fenómeno ampliamente conocido como CCD por sus siglas en inglés: Síndrome de Colapso de las Colmenas. En otras partes del mundo, también se han observado pérdidas pero el análisis de los registros históricos ha demostrado que estas pérdidas no son inusuales, siendo esta la situación actual de Chile y otros países de América Latina.

Dentro de los factores causales de mayor probabilidad se enumeran los problemas sanitarios de las abejas, el cambio climático, la contaminación, el efecto de los agroquímicos y la pérdida de biodiversidad en las zonas agrícolas.

Los principales impactos percibidos y/o esperados son la disminución de la biodiversidad, la caída en la producción agrícola, el aumento de los costos de producción y el consiguiente aumento de precio, además de una mayor vulnerabilidad de la seguridad alimentaria.

Por lo anteriormente expuesto, el objetivo del presente trabajo es analizar la relación entre el estado de los polinizadores en distintas zonas geográficas del mundo con la situación de los factores causales de la declinación de dichos polinizadores, y con la evaluación del estado de los impactos esperados. Además, se entregarán antecedentes de la estrategia que se ha adoptado en Chile para prevenir los impactos de la disminución de la población de polinizadores.

Palabras claves: Polinizadores. Polinización. Agroquímicos. Producción limpia. *Apis mellifera*.

Introducción

Ha sido llamado como Síndrome de Colapso de las Colmenas, CCD, al conjunto de síntomas que se presentan de forma simultánea en un evento que implica un brusco despoblamiento de la colmena, situación que conlleva a la muerte de la colmena:

- Presencia de cría de abejas obreras en la colonia abandonada.
- Presencia de miel y/o polen almacenados
- Presencia de un pequeño núcleo de abejas, entre las cuales está presente la abeja reina.

Para investigar el CCD se ha formado una red mundial de investigadores, profesionales del sector público y privado que trabajan en el rubro apícola. Esta red es conocida como COLOSS (Prevention

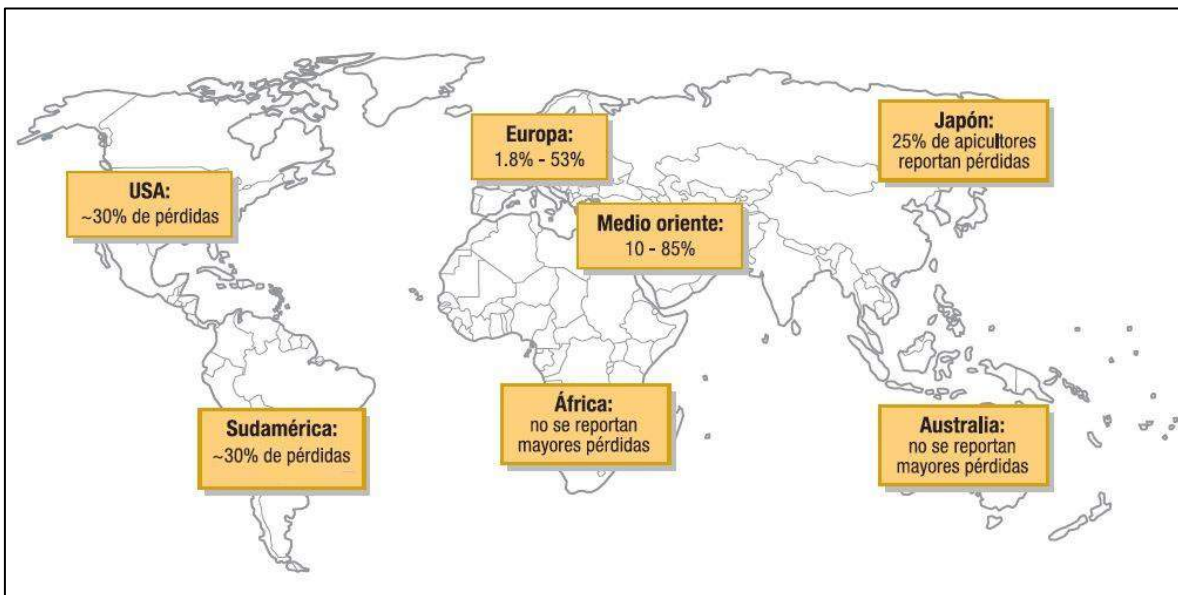


Figura 2. Pérdidas anuales de colmenas registradas en promedio en el período 2007-2011 en las distintas zonas del mundo.

Agentes causales

A continuación se describen algunos de los agentes causales más frecuentes en los eventos de mortalidad o declinación de polinizadores:

1. Pérdida de biodiversidad relacionada a la explotación de zonas agrícolas: Se explica por la explosiva conversión del hábitat natural de los polinizadores para su uso agrícola y ganadero. Como ejemplo se puede citar el caso de las 162 millones de hectáreas que componían las Grandes Llanuras de Estados Unidos (que se extendían por el centro del país, desde su frontera con México hasta la de Canadá), que han sido convertidas en terreno agrícola en un 99,99% de su superficie. En el caso de Chile, entre los años 1975 y 2008, desapareció el 38% del bosque nativo existente en la zona central, cifra que no incluye los procesos de deforestación, degradación y fragmentación que se están produciendo en los bosques existentes actualmente. Por otra parte, los cultivos agrícolas aumentaron en un 44% en el mismo período, mientras que las áreas urbanas lo hicieron en un 138% y las plantaciones forestales, en un 165%.
2. Cambio climático: Los esfuerzos más sobresalientes para estimar su efecto en los polinizadores, han sido realizados en el marco del proyecto ALARM de la Unión Europea. En el Reino Unido, las universidades de Reading y Leeds han desarrollado una metodología para explicar los cambios observados en la distribución de polinizadores, y mediante modelación, proyectar sus futuros desplazamientos. Las conclusiones se han generado en torno a dos desplazamientos, espacial y temporal. En el desplazamiento espacial, se concluye que (i) todas las especies polinizadores perderán acceso a territorios, (ii) la declinación de las abejas tendrá efectos negativos en la biodiversidad de flora y cultivos; (iii) para el año 2050, entre el 45 y el 61% de las especies de abejas muestran un rango de

contracción, mientras que el 14 y el 27% se extinguen; (iv) en la actualidad hay menos especies de abejas en el 80% del territorio, mientras que el 45% de las abejas están en peligro. En el desplazamiento temporal, se concluye que la actividad se ha adelantado en 6 a 10 días por década.

En Estados Unidos, la NASA realizó un proyecto entre los años 1992 y 2009 para la aplicación de los resultados de la Investigación Satelital y Científica de la NASA a las necesidades nacionales, de forma conjunta con el USDA, la Universidad de Arizona, Consorcio de Investigación y Extensión Apícola, y representantes de los apicultores. Los resultados evidenciaron variaciones en los tiempos de producción apícola de 3 semanas debido a eventos climáticos y se aprecia que esta situación es una tendencia general, coincidiendo con los tiempos estimados por la investigación realizadas en el Reino Unido. En Chile, se ha observado la irrupción más temprana de plagas y enfermedades, por el aumento de las temperaturas.

3. Agroquímicos: En Francia, la AASQA es la responsable de monitorear a lo largo del año, la presencia de pesticidas como un nuevo componente de la contaminación atmosférica. Las mediciones realizadas desde el año 2001, muestran que en las zonas agrícolas, los pesticidas están presentes en el aire durante todo el año, presentando mayor concentración en los meses de la primavera y verano. Además se observa la persistencia de los contaminantes aún años después de su aplicación, siendo los casos de la atrazina y del lindano, ambos productos prohibidos a partir del año 2001. En el caso del primero, se observa una declinación en el número de detecciones al cabo de 5 años mientras que en el caso del segundo, se mantiene en el tiempo.

En el caso de los polinizadores se observan situaciones de mortalidad por la aplicación de insecticidas, sin embargo todas las aplicación de agroquímicos conlleva el riesgo de intoxicación a través de sus distintas formas: fumigación, tratamientos de suelo, semillas y aplicación foliar, y adicionalmente se presenta el riesgo proveniente de descargas, escurrimientos y precipitaciones provenientes de fuentes lejanas y cercanas. Los efectos negativos que se observan en todas las especies son la disminución de fertilidad, el compromiso del sistema inmunitario, alteraciones conductuales, cáncer, tumores y otras discapacidades, todas razones que explican prohibiciones y restricciones en su uso. Se observan situaciones distintas en diferentes países, como resultado de los parámetros de evaluación que se emplean: efectos agudos, mortalidad, efectos subletales y efectos de largo plazo.

En el caso de los polinizadores, los efectos subletales percibidos son alteración en comportamiento, pecoreo/alimentación, comunicación, termoregulación, aprendizaje y memoria, y los de largo plazo son intoxicación crónica, inmunidad, debilitamiento y resistencia.

Uno de los casos más preocupantes, es el incremento a nivel mundial del uso de los neonicotinoides, insecticida que causa daño al sistema nervioso en las abejas y que ha sido identificado como uno de los posibles causantes del CCD.

En Europa, Francia y Alemania han prohibido los agroquímicos más tóxicos para las abejas, pero estos siguen ampliamente utilizados en el resto del mundo.

Estrategia en Chile

Chile se ha posicionado como un importante exportador de frutas a nivel internacional, estimándose que un 40% de la exportación de frutas depende de servicios de polinización. Conociendo este hecho, desde el año 2010 el sector apícola ha establecido una agenda de trabajo con el sector frutícola, con el objetivo de introducir en los sistemas de producción frutícola prácticas que favorezcan la sustentabilidad de los agentes polinizadores.

Utilizando las herramientas que ofrece la Política de Producción Limpia promovida en el país, en el año 2012, la Federación Gremial de Productores de Frutas de Chile firmó un Acuerdo de Producción Limpia en el cual se compromete a reducir el uso de agroquímicos y mejorar las prácticas de aplicación, que son reconocidas como las medidas más atendibles para evitar la pérdida de los polinizadores.

Discusión y conclusiones

Entre los impactos de la declinación de los polinizadores se distinguen la pérdida de la biodiversidad, la irrupción de la cadena alimentaria, afectando la disponibilidad de alimentos y generando nuevos patrones en la producción y comercialización.

En lo que respecta a las abejas, en Estados Unidos y en la Unión Europea se han reportado problemas en suplir la demanda por servicios de polinización, lo que ha tenido un impacto en el precio de los servicios, el cual se ha triplicado en algunos países.

La declinación en la población de polinizadores tiene un origen multifactorial, y su impacto es ampliamente mayor a aquellas pérdidas atribuidas al CCD. Las evidencias muestran que las principales causas son derivadas de la acción del ser humano, y los esfuerzos en identificar los factores que se relacionan directamente con las pérdidas se fundamentan en el reconocimiento de la importancia de los servicios de polinización y de los servicios ecosistémicos que realizan los polinizadores.

Ventajas y desventajas de la introducción de polinizadores no nativos: el caso de las abejas (Hymenoptera: Apoidea: Anthophila)

Allan H. Smith Pardo¹

¹Ph.D., Especialista en Apoidea, USDA-APHIS-PPQ, Consultor en polinización FAO-RLC, e-mail: allan.h.smith-pardo@aphis.usda.gov

La polinización es un paso fundamental en la reproducción (por semillas) de las más de 300.000 especies de plantas con flores; estas a su vez juegan un papel fundamental en ecosistemas naturales y agrícolas (NRC 2007, Calderone 2012).

La mayoría de las plantas utilizadas en agricultura son polinizadas de manera abiótica (viento, como en el caso de la mayoría de gramíneas) o biótica (por animales: principalmente insectos de los cuales las abejas son los más importantes, este tipo de polinización es común en frutales, vegetales y algunos forrajes).

Las abejas antófilas (Hymenoptera: Apoidea) comprenden cerca de 20.000 especies descritas (aproximadamente 25.000 a 30.000 especies en total si se incluyen las que están por describirse) distribuidas en siete o nueve familias según el autor (Michener 2007, Danforth *et al.* 2006). En términos de su biología, la mayoría de las abejas son fitófagas, alimentándose de néctar, polen y algunos aceites; dichos hábitos alimenticios son el resultado de una coevolución de estas con las plantas con flores y la cual es evidente por la presencia de síndromes que en el caso de las plantas incluyen la presencia de flores con colores vistosos, olores y guías de polen en pétalos, además de granos de polen con esculturas intrincadas todos los cuales favorecen la visita y consecuente dispersión de los granos de polen por las abejas. En el caso de las abejas algunas características morfológicas y comportamentales evidencian la estrecha relación con las plantas que visitan incluyen características morfológicas como la presencia de setas modificadas y escopas para el transporte de los granos de polen o comportamientos como la constancia y fidelidad floral.

En las últimas décadas el interés por los polinizadores y su función en ecosistemas naturales y agroecosistemas se ha incrementado (algunos trabajos representativos de dicho interés incluyen Allen *et al.* 1998, Buchmann y Nabhan 1996, Calderone 2012, FAO 2008, Gallai *et al.* 2009, Kearns e Inouye 1997, Kevan y Viana 2003 y Kremen y Ricketts 2000).

El papel de los polinizadores en la agricultura o en áreas naturales es difícil de cuantificar por la cantidad de variables envueltas, aun así existen algunos estimados generales sobre su importancia. Por ejemplo Künast *et al.* (2010) estimaron que cerca de 264 cultivos dependen a nivel mundial en algún grado de la polinización, según Klein *et al.* (2006) y FAO (2008) cerca del 68-87% de los cultivos más utilizados a nivel mundial dependen de la polinización biótica y cerca del 15-30% de los alimentos consumidos por la población en países en desarrollo dependen

directamente de este tipo de polinización (Kremen y Chaplin 2007). Según la FAO (2008) la polinización biótica afecta cerca del 35% de la producción mundial de alimentos y su valor puede calculado puede estar entre los 50 billones (FAO 2008) y los 195 billones de dólares anuales (TEEB 2010).

El grado de dependencia de cultivos a la polinización biótica también se ve expresado en los resultados del trabajo de Klein *et al.* (2007) quienes estudiaron 115 cultivos y encontraron que el 75% de estos dependía en algún grado de la polinización biótica (la mayoría de ellos muestran incrementos en producción entre el 5% y el 50% como resultado de la polinización biótica, principalmente por abejas), este mismo porcentaje fue encontrado por Potts *et al.* (2010) para la polinización de cultivos por insectos.

A nivel local, algunos países cuentan con datos históricos y medidas estandarizadas que permiten estimar el valor de la polinización por año, aun así la variación en rangos es enorme: por ejemplo para el caso de los EEUU estimativos para el valor de la polinización por insectos y abejas para USA van desde 170,36 millones (Burgett *et al.* 2004) hasta 49,21 billones (Levin 1983). Otros valores reportados en la literatura para este país incluyen: Metcalf y Flint (1962) con 34,36 billones, Ware (1973) con 40,55 billones, Robinson *et al.* (1989) con 18.64 billones, Southwick y Southwick (1992) con 3,13-11,16 billones, Morse y Calderone (2000) con 19,22 billones, Losey y Vaughan (2006) con 3,7 billones y el mas reciente estimado por Calderone (2012) en 15,12 billones anuales.

Para el caso de Europa Gallai *et al.* (2009) estimaron el valor de la polinización por insectos en cerca de € 22 billones por año (para mas información ver las paginas de STEP: status and trends of European Pollinators y ECPA: European Crop Protection Association).

Además de la importancia en términos económicos de la polinización en cultivos otra de las razones por las cuales se ha incrementado el interés en los polinizadores tiene que ver con la generalmente conocida como la crisis de la polinización y que se refiere básicamente a la marcada reducción en la riqueza y abundancia de polinizadores nativos e “introducidos” (como se ha mostrado por Biemeijer *et al.* 2006, FAO 2008, Kluser y Peduzzi 2007, NRC 2007, Potts 2010) y la disminución en el numero necesario para la adecuada polinización de plantas en agroecosistemas y ecosistemas naturales (Aizen *et al.* 2008, Aizen y Harder 2009, Aizen *et al.* 2009). Sin embargo, uno de los mayores inconvenientes es que la información es limitada y cuando esta disponible solo lo es para aquellos grupos de abejas utilizadas comercialmente y en regiones específicas (Potts 2010, FAO 2008): en el caso de las abejas de miel (*Apis mellifera*) que es quizás uno de los insectos mas estudiados a nivel mundial, existen numerosos reportes sobre la disminución de colonias bajo manejo y silvestres en Europa y Norte América por ejemplo Lewinsohn (2005) estimo que el número de colmenas en EEUU paso de 5,9 millones en los cuarentas a tan solo 1,9 millones en 1996; Calderone (2012) por su parte, estableció recientemente que el número de colonias de abejas melíferas en EEUU disminuyó de 3,53 millones en 1989 (5 años después de la introducción de *Acarapis woodi* y dos años después de la detección de *Varroa destructor*) a solo 2,3 millones en el 2008 (es decir, que el número de colmenas se

redujo en un 34,81 %), similares patrones de reducción fueron presentados por el USDA (annual bee surveys 2006- 2011), Van Elgelsdorp *et al.* (2008) y finalmente NRC (2006) que estima que cerca de un 59% de las colonias se perdió en el periodo entre 1947 y 2006. En el caso de Europa los datos tampoco son halagadores, por ejemplo las FAO (2008) estima que numero de colmenas en Italia, Francia, Alemania, Holanda, Suecia y Hungría ha disminuido entre el 15 y el 30% en las ultimas décadas y mas recientemente Künast (2010) escribió que pese a que en la actualidad existen alrededor de 14 millones de colmenas en el continente, desde 1965 se ha observado una disminución del número de colmenas.

Desafortunadamente datos como los anteriores no están disponibles para otros grupos de abejas (Potts *et al.* 2010), aun así algunos datos aislados existen para grupos como los abejorros del genero *Bombus* en buena medida porque algunas especies son explotadas comercialmente para la polinización de cultivos bajo condiciones de invernadero: algunos trabajos incluyen los de Haizen y Harden (2009) quienes mostraron marcadas en Gran Bretaña, Bélgica y Alemania según ellos como consecuencia de la perdida de hábitats naturales por el incremento en la intensificación agrícola de la región; por su parte Rasmont y Mersch (1988) y Goulson *et al.* (2008) demostraron datos evidenciales de la disminución de estos abejorros en Bélgica y el Reino Unido (U.K.) respectivamente. Según Williams y Osborne (2009) solo en el reino unido de las 16 especies nativas no parasíticas una especie desapareció (*B. subterraneus*), cinco mas han mostrado disminuciones marcadas en sus poblaciones y cuatro especies mas (menos estudiadas) posiblemente han disminuido en los últimos años.

Pese a que existen varias razones a las cuales se les atribuye la disminución en la diversidad y abundancia de abejas polinizadoras incluyen (Potts *et al.* 2010) la alteración de hábitats naturales e intensificación agrícola (incluyendo el uso de insecticidas (Alston *et al.* 2007; Brittain *et al.* 2010, Holszchuh *et al.* 2008), la fragmentación del paisaje (Brosi *et al.* 2008; Steffan-Dewenter 2006; Winfree 2009), la introducción de plantas invasivas (que cambian la composición florística y balance de recursos) (Stout y Morales 2009, Traveset y Richardson 2006), la introducción de polinizadores no nativos (sea por competencia por recursos con los polinizadores nativos (Matsumura *et al.* 2004; Stout y Morales 2009; Thomson 2006) o por la introducción de patógenos y parásitos nuevos (Anderson y East 2008; Eyer 2009; Genersch *et al.* 2006; Goulson 2003; Ongus *et al.* 2008; Potts *et al.* 2010; Ribiere *et al.* 2008; Stout y Morales 2009; Watanabe 2008; Woolhouse *et al.* 2005) y el cambio climático (principalmente estudiado en mariposas y que trae como consecuencia el cambio en la fenología floral y cambios en distribución de los polinizadores como consecuencia) (Hickling *et al.* 2006; Settele *et al.* 2010).

La introducción de especies no nativas para polinización (dirigida) o por accidente se considera uno de los factores más determinantes en la disminución de poblaciones nativas de polinizadores. De hecho, pese a que el uso de especies introducidas para la polinización ha mostrado beneficios como incrementos en producción agrícola (*p.e.* con la introducción de *Megachile rotundata* en Norte América la producción de alfalfa aumento a niveles nunca vistos antes), la

suplementación de la polinización de cultivos con floraciones masivas (como en el caso de almendra en el norte de California, EEUU con abejas melíferas), polinizando plantas nativas (especialmente en condiciones depauperadas de polinizadores nativos por la alteración del hábitat), la disponibilidad de otros productos (como la miel, cera, propoleo, etc.), las facilidades de manejo y la alta tecnificación (útil para el movimiento de los polinizadores hacia lugares que lo necesiten como cultivos). La introducción de polinizadores presenta una gran cantidad de desventajas y consecuencias a veces catastróficas en la diversidad de polinizadores de una región determinada; las razones son múltiples e incluyen la competencia por recursos alimenticios y de nidificación, la introducción y dispersión rápida de patógenos y parásitos nuevos y de alta incidencia, y la alteración de las relaciones abeja-planta producto de miles de años de evolución compartida.

La competencia por recursos (dada principalmente por el traslape de nichos) como resultado de la introducción de especies de polinizadores afecta los patrones de forrajeo y disminuye el éxito reproductivo de las especies nativas de polinizadores.

La introducción de especies de polinizadores no nativos ha resultado además en la introducción de patógenos y enfermedades y su grado de prevalencia (Stout y Morales 2009) a todo nivel dentro de poblaciones de una misma especie (intraespecífica, p.e. ver Anderson y East 2008, Watanabe 2008) o entre especies diferentes pero relacionadas evolutivamente (Eyer *et al.* 2009; Genersch *et al.* 2006; Goulson 2003; Woolhouse 2005).

Otra de las consecuencias de la introducción de especies, en particular de especies filogenéticamente muy relacionadas es la dilución genética y la extinción de subespecies locales resultantes (Franck *et al.* 1998; Goulson y Sparrow 2009; Matsumura *et al.* 2004; Thomson 2006).

Uno de los casos mas documentados de los efectos de especies de polinizadores introducidos sobre las poblaciones de polinizadores silvestres lo ofrece la especie de abejorro, *Bombus terrestris*, que ha sido introducida en varios países y regiones para su uso en polinización de cultivos, principalmente tomate.

Bombus terrestris es una especie de abejorro nativa de Europa, el norte de África y Asia central. Existen cerca de 10 subespecies en su rango de distribución algunas más restringidas que otras. Esta especie es favorecida entre otras razones por su adaptabilidad, su facilidad de manejo, su eficiencia en la polinización de cultivos bajo condiciones extremas (No. Flores/ visita, horas de visita, temperaturas de vuelo, etc.) y el tamaño de colonias (Velthuis y van Doorn 2006). Pese a todas estas ventajas su importación esta regulada (prohibida) actualmente en varios países (incluso se da el caso de algunas subespecies prohibidas aun en países dentro del rango de distribución natural de la especie). Una de las mayores causas de preocupación tiene que ver con la introducción de nuevas enfermedades, parásitos (como *Nosema bombi*, *Crithidia bombi* y *Locustacarus buchneri*) y parasitoides (como *Melittobia acasta* y *M. chalybii* Hymenoptera: Eulophidae) que son particularmente virulentos en especies nativas. De hecho según la NAPCC (2006) una de las consecuencias de la re-importación de colonias nativas de *Bombus* criadas en

Europa hacia Norte América ha sido posiblemente la introducción de estas enfermedades por contaminación (contacto con *B. terrestris*) y la cual es seguramente la principal causa de la desaparición de por lo menos cinco especies nativas del mismo subgénero.

De hecho varios estudios han demostrado que las especies nativas de abejorros de Norte América son mas susceptibles a parásitos “nuevos”; un estudio en Canadá realizado por Colla *et al.* (2006) encontró que el nivel de incidencia de *N. bombi* se incremento tres veces y que la infestación por *C. bombi* aumento un 26% en poblaciones de abejas nativas cercanas a invernaderos.

La mayoría de las subespecies utilizadas en áreas por fuera de distribución original tienen la capacidad de hibridar con otras subespecies (Duchateau 1996; Ornosá 1995; van den Eijnde y de Ruijter 2000; Velthuis y Van Doorn 2006) o con otras especies de *Bombus* (p.e. *B. hypocrita* en Japón según Dafni *et al.* 2010; Goka 2000).

El caso de *B. terrestris* ejemplifica el que seguramente es el patrón para muchas de las especies de abejas introducidas que pese ofrecer algunos beneficios en la polinización de cultivos tienen a largo plazo consecuencias negativas para la conservación de la diversidad de abejas nativas sino que además pueden llevar a nuevas crisis en la polinización como consecuencia de la poca diversidad de alternativas para polinización o por la mayor incidencia de enfermedades y parásitos que son comunes cuando una especie (no nativa) es manejada intensivamente bajo condiciones cada vez mas artificiales.

Finalmente, se presentan otros casos menos documentados de abejas no nativas introducidas en los EEUU de manera planificada, accidentalmente o que han sido interceptadas en cargamentos provenientes de diferentes partes del mundo y que son de alto riesgo por su capacidad invasiva. Se discuten además las consecuencias que un posible establecimiento de dichas especies puede tener en los ecosistemas naturales y en las especies de abejas silvestres que los habitan.

Literatura citada

- AGUILAR, R. *et al.* 2006. Plant reproductive susceptibility to habitat fragmentation: review and synthesis through a meta-analysis. *Ecological Letters* 9: 968–980.
- AIZEN, M. A. GARIBALDI L.A., CUNNINGHAM S. A., KLEIN A.M. 2008. Long-term global trends in crop yield and production reveal no current pollination shortage but increased pollinator dependency. *Current Biology* 18: 1572–1575.
- AIZEN, M. A. y HARDER L. D. 2009. The global stock of domesticated honey bees is growing slower than agricultural demand for pollination. *Current Biology* 19: 915–918.
- AIZEN, M. A., GARIBALDI L.A., CUNNINGHAM S.A., KLEIN A.M. 2009. How much does agriculture depend on pollinators? Lessons from long-term trends in crop production. *Annals of Botany* 103: 1579-1588.
- ALLEN, W. G., *et al.* 1998. The potential consequences of pollinator declines on the conservation of biodiversity and stability of food crop yields. *Conservation Biology* 12 (1): 8–17.
- ALSTON, D. G. *et al.* 2007. Effects of the insecticide Phosmet on solitary bee foraging and nesting in orchids in Capitol Reef National Park, Utah. *Environmental Entomology* 36: 811–816.

- BIESMEIJER, J.C., *et al.* 2006. Parallel declines in pollinators and insect-pollinated plants in Britain and the Netherlands. *Science* 313: 351-354.
- BRITTAİN, C. A. *et al.* 2010. Impacts of a pesticide on pollinator species richness at different spatial scales. *Basic Applied Ecology* 11:106–115.
- BROSI, B. J.; DAILY, G. C.; SHIH T.M.; OVIEDO F.; DURAN, G. 2008. The effects of forest fragmentation on bee communities in tropical countryside. *Journal of Applied Ecology* 45: 773–783.
- BUCHMANN, S. I.; NABBAN, G. P. 1996. *The forgotten pollinators*. Island Press, Washington D.C. 292 pp.
- BURGETT, M.; RUCKER R.; THURMAN, W. 2004. Economics and honey bee pollination markets. *American Bee Journal* 144: 269–271.
- CALDERONE, N. W. 2012. Insect pollinated crops, insect pollinators and US agriculture: trend analysis of aggregate data for the period 1992-2009.
- CANE, J.H.; TEPEDINO. V. J. 2001. Causes and extent of declines among native North American invertebrate pollinators: Detection, evidence, and consequences. *Conservation Ecology* 5: 1–10.
- CARVALHEIRO, L.G.; SEYMOUR, C.L.; VELDTMAN, R.; NICOLSON, S. W. 2010. Pollination services decline with distance from natural habitat even in biodiversity-rich areas. *Journal of Applied Ecology* 47: 810–820.
- COLLA, S. R. *et al.* 2006. Plight of the bumble bee: pathogen spillover from commercial to wild populations. *Biological Conservation* 129: 461–467.
- DAFNI, A. *et al.* 2010. *Bombus terrestris*, pollinator, invasive and pest: An assessment of problems associated with its widespread introductions for commercial purposes. *Applied Entomology and Zoology* 45(1): 101–113.
- DANFORTH, B. N.; SIPES, S.; FANG, J., BRADY, S. G. 2006. The history of early bee diversification based on five genes plus morphology. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*: 103 (41): 15118–15123.
- DESNEUX, N.; DECOURTYE, A.; DELPUECH, J. M. 2007. The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. *Annual Review of Entomology* 52: 81–106.
- DORMANN, C. F. *et al.* 2008. Prediction uncertainty of environmental change effects on temperate European biodiversity. *Ecological Letters* 11: 235–244.
- DUCHATEAU, M. J. 1996. Is kin conflict expressed in the colony cycle of the bumble bee *Bombus terrestris*? P. 404 En: *Proceedings of the XX International Congress of Entomology*. Firenze, Italy.
- FAO. 2008. *Rapid Assessment of Pollinator's Status*. FAO - Global Action on Pollination Services for Sustainable Agriculture. 111pp.
- FRANCK, P. *et al.* 1998. The origin of west European subspecies of honeybees (*Apis mellifera* L.): new insights from microsatellite and mitochondrial data. *Evolution* 52: 1119–1134.
- GALLAI, N.; SALLES, J. M.; SETTELE, J.; VAISSIERE, B. E. 2009. Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological Economics* 68: 810–821.
- GOKA, K. 2000. Influences of invasive European bumble bees on Japanese native species: Genetic disturbance and parasitic invasion. National Institute for Environmental Studies, Global Environment Division. Tsukuba, Japan. Disponible en: http://www003.upp.so-net.ne.jp/consecol/english/goka_report/goka_report.html.

- GOULSON, D. *et al.* 2008. Decline and conservation of bumble bees. *Annual Review of Entomology* 53: 191–208.
- GOULSON, D.; SPARROW, K. 2009. Evidence for competition between honeybees and bumblebees; effects on bumblebee worker size. *Journal of Insect Conservation* 13: 177–181.
- HEGLAND, S. J. *et al.* 2009. How does climate warming affect plant– pollinator interactions? *Ecological Letters* 12: 184–195.
- HICKLING, R. *et al.* 2006. The distributions of a wide range of taxonomic groups are expanding polewards. *Global Change Biology* 12: 450–455.
- HOLZSCHUH, A. *et al.* 2008. Agricultural landscapes with organic crops support higher pollinator diversity. *Oikos* 117: 354–361.
- INGRAM, M.; NABHAN, G. P.; BUCHMANN, S. 1996. Impending pollination crisis threatens biodiversity and agriculture. *Tropinet* 7:1.
- KEARNS, C. A.; INOUE, D. W. 1997. Pollinators, flowering plants, and conservation biology. *Bioscience* 47: 297–307.
- KLEIN, A.M. *et al.* 2006. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society* 3721: 1–11.
- KLUSER, S.P.; PEDUZZI, P. 2007. Global pollinator decline: A literature review. UNEP/GRID Europe. 12 pp.
- KREMER, C.; CHAPLIN-KRAMER, R. 2007. Insects as providers of ecosystem services: crop pollination on pest control. *The Royal Entomological Society- Insect Conservation Biology*: 349–382.
- KREMEN, G.; RICKETTS, T. 2000. Global perspectives on pollination disruptions. *Conservation biology* 14: 1226–1228.
- KREMEN, G.; WILLIAMS, N. M.; BUGG, R. L.; FAY, J. P.; THORP R. W. 2004. The area requirements of an ecosystem service: Crop pollination by native bee communities in California. *Ecological Letters* 7: 1109–1119.
- KREMEN, G.; WILLIAMS, N. M.; THORP, R. W. 2002. Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 99: 16812–16816.
- KŸNAST, C.; RIFFEL, M.; WHITMORE, G. *et al.* 2010. Pollinators and Agriculture (Biodiversity Series). ELO-ECPA-Rif-Con and E-Sycon. 47pp.
- LEVIN, M. D. 1983. Value of bee pollination to U.S. Agriculture [*Apis mellifera*]. *Bulletin of the Entomological Society of America* 29(4): 50–51.
- LOSEY, J.; VAUGHAN, M. 2006. The economic value of ecological services provided by insects. *Bioscience* 56: 311–323.
- MATSUMURA, C. *et al.* 2004. Invasion status and potential ecological impacts of an invasive alien bumblebee, *Bombus terrestris* L. (Hymenoptera: Apidae) naturalized in Southern Hokkaido, Japan. *Global Environmental Research* 8: 51–66.
- METCALF, C.; FLINT, W. 1962. The value of insects to man. En: Metcalf C, Flint W, Metcalf R, eds. *Destructive and useful insects*. 4th ed. NY: MacGraw-Hill.
- MICHENER, C.D. 2007. *The Bees of the World*. 2nd Ed. Johns Hopkins University Press, Baltimore. 953 p.
- MORSE, R. A.; CALDERONE, N. W. 2000. The value of honey bees as pollinators of U.S. Crops in 2000. *Bee Culture* 128: 15p insert.

- National Research Council (NRC). 2006. Status of pollinators in North América. National Academies Press, Washington D.C. 307 p.
- NAUG, D. 2009. Nutritional stress due to habitat loss may explain recent honeybee colony collapses. *Biological Conservation* 142: 2369–2372
- NAPPC (NORTH AMERICAN POLLINATOR PROTECTION CAMPAIGN). 2006. Importation of non-native bumble bees into North America: potential consequences of using *Bombus terrestris* and other non-native bumble bees for greenhouse crop pollination in Canada, Mexico, and the United States. NAPPC with funding from CS Fund. 33 p.
- NRC (NATIONAL RESEARCH COUNCIL OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE U.S.), COMMITTEE ON THE STATUS OF POLLINATORS IN NORTH AMERICA. 2007. Status of Pollinators in North America. National Academies Press. D.C. 322 p.
- ORNOSA, C. 1995. Una nota de atención sobre la introducción artificial de subespecies foráneas de abejorros polinizadores en la Península Ibérica (Hymenoptera: Apidae, Bombinae). *Boletín de la Asociación Española de Entomología* 20: 259–260.
- POTTS, S. G.; BIESMEIJER, J. C.; KREMEN, C.; NEUMANN, P.; SCHWEIGER, O., *et al.* 2010. Global pollinator declines: Trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology and Evolution* 25: 345–353.
- RASMONT, P.; MERSCH, P.. 1988. Premiere estimation de la derive faunique chez les bourdones de la Belgique (Hymenoptera: Apoidea). *Annales de la Société Royale Zoologique de Belgique* 118: 141–147.
- ROBINSON, W. S.; NOWOGRODZKI, R.; MORSE, R. A. 1989. The value of honey bees as pollinators of USA crops. Part II of a two-part series. *American Bee Journal* 129: 477–487.
- ROBINSON, W.S; NOWOGRODZKI, R.; MORSE, R. A. 1989. The value of honey bees as pollinators of USA crops. Part I of a two-part series. *American Bee Journal* 129: 411–423.
- SCHMID-HEMPEL, P. *et al.* 2007. Invasion success of the bumblebee, *Bombus terrestris*, despite a drastic genetic bottleneck. *Heredity* 99: 414–422.
- SETTELE, J. *et al.* 2008. Climatic risk atlas of European butterflies. *BioRisk* 1: 1–710.
- SOUTHWICK, E.E.; SOUTHWICK, L.. 1992. Estimating the economic value of honey bees (Hymenoptera: Apidae) as agricultural pollinators in the United States. *Journal of Economic Entomology* 85(3): 621–633.
- STONE, G.N.; WILLMER, P. G. 1989. Warm-up rates and body temperatures in bees - the importance of body size, thermal regime and phylogeny. *Journal of Experimental Biology* 147: 303–328.
- STEFFAN-DEWENTER, I. *et al.* 2006. Bee diversity and plant-pollinator interactions in fragmented landscapes. In *Specialization and Generalization in Plant-Pollinator Interactions* (Waser, N.M. and Ollerton, J., eds), pp. 387–410, University of Chicago Press.
- STOUT, J. C.; MORALES, C. L. 2009. Ecological impacts of invasive alien species on bees. *Apidologie* 40: 388–409.
- TEEB (The Economics of Ecosystems and Biodiversity group). 2010. Mainstreaming the economics of nature. UNEP-EU Commission. 37pp.
- TRAVERSE, A.; RICHARDSON, D. M.. 2006. Biological invasions as disruptors of plant reproductive mutualisms. *Trends in Ecology and Evolution* 21: 208–216.
- TUELL, J. K; ISAACS, R.. 2010. Community and species-specific responses of wild bees to insect pest control programs applied to a pollinator-dependent crop. *Journal of Economic Entomology* 103: 668–675.

- VAN DEN EIJNDE, J.; DE RUIJTER, A.. 2000. Bumble bees from the Canary Islands: mating experiments with *Bombus terrestris* L. from Netherlands. Proceedings of the Section on Experimental and Applied Entomology of the Netherlands Entomological Society 11: 159–162.
- VANELGELSDORP, D. *et al.* 2008. A survey of the honey bee colony losses in the U.S., Fall 2007 to Spring 2008. PLoS ONE 3, e407. DOI: 10.1371/journal.pone.0004071.
- VELTHUIS, H.H.; VAN DOORN, A.. 2006. A century of advances in bumblebee domestication and the economic and environmental aspects of its commercialization for pollination. Apidologie 37: 421–451.
- WARE, G. 1973. Bees in agriculture: Their problems and importance. Beltsville, MD. Conference paper, pp: 28–38.
- WILLIAMS, P. H.; OSBORNE, J. L. 2009. Bumblebee vulnerability and conservation world-wide. Apidology 40: 367–387.
- WILLIAMS, P. H. *et al.* 2007. Can vulnerability among British bumblebee (*Bombus*) species be explained by niche position and breadth? Biological Conservation 138: 493–505.
- WINFREE, R. *et al.* 2009. A meta-analysis of bees responses to anthropogenic disturbance. Ecology 90, 2068–2076.

Especies del género *Bombus* (Hymenoptera: Apidae) en zonas agrícolas de Alaska, USA

Alberto Pantoja¹, Rehanon Pampell² y Derek Sikes³

¹ Ph.D., United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Subarctic Agricultural Research Unit, Fairbanks, AK 99775 USA. Corresponding author current address: United Nations Food and Agriculture Organization, Regional Office for Latin America and the Caribbean, Av. Dag Hammarskjöld 3241, Vitacura, Santiago, Chile, alberto.pantoja@fao.org. ² M.Sc., United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Subarctic Agricultural Research Unit, Fairbanks, AK 99775 USA. ³ Ph.D., University of Alaska Museum, 907 Yukon Drive, Fairbanks, AK 99775-6960

Los abejorros del género *Bombus* son considerados importantes polinizadores en climas sub-árticos como en Alaska (Washburn 1963; Kevan 1972). Los abejorros son capaces de forrajear durante tiempo lluvioso, frío y con viento durante el cual la actividad de abejas puede ser limitada (Buchmann 1983). Los abejorros incluso se han observado alimentándose durante nevadas, de noche (Kearns y Thomson 2001) y en temperaturas tan frías como - 3,6 °C (Heinrich 1979). A pesar de la importancia ecológica de este grupo en la polinización de cultivos en zonas sub-árticas existen pocos estudios de las especies presentes en cultivos agrícolas del sub-ártico de Alaska, USA. A nivel mundial las abejas están experimentando muerte por causas desconocidas; fenómeno llamado colapso de las colonias (Colony Collapse Disorder o CCD) (Bromenshenk *et al.* 2010). Algunos predicen que las abejas nativas amortiguar la posible disminución en la producción agrícola debido a la CCD (Kremen 2005; Kremen y Ostfeld 2005; Winfree *et al.* 2007), pero en muchos casos, como en Alaska, la fauna de abejas nativas es poco conocida. Comunidades de abejorros nativos empobrecidos a menudo se asocian con la intensificación de la agricultura y pueden ser insuficientes para reemplazar los servicios de polinización que proporcionan actualmente las abejas (Goulson *et al.* 2008). Las granjas agrícolas en Alaska tienden a estar rodeadas de vegetación nativa y hábitat que beneficiarían la proliferación de abejas nativas, pero hay poca información sobre la composición de especies de abejorros, la distribución geográfica, biología y los factores que afectan la riqueza y abundancia de especies de abejas asociadas a las zonas agrícolas del estado. Los objetivos de este estudio fueron estudiar la composición de especies, distribución y biología estacional del género *Bombus* en tres localidades agrícolas del estado de Alaska: Fairbanks, Delta Junction y Palmer.

Un total de 8.482 abejorros que representan 17 especies y 6 subgéneros fueron colectados de entornos agrícolas cerca de Delta Junction, Fairbanks y Palmer, Alaska 2009-2010. De los 8.482 ejemplares, el 51% eran reinas, el 32,7% eran obreras y el 16,2% machos (zánganos). La composición y abundancia relativa de especies fue diferente entre localidades y años. El 50,5% de los especímenes colectados fueron recuperados de Delta Junction. Las otras dos localidades,

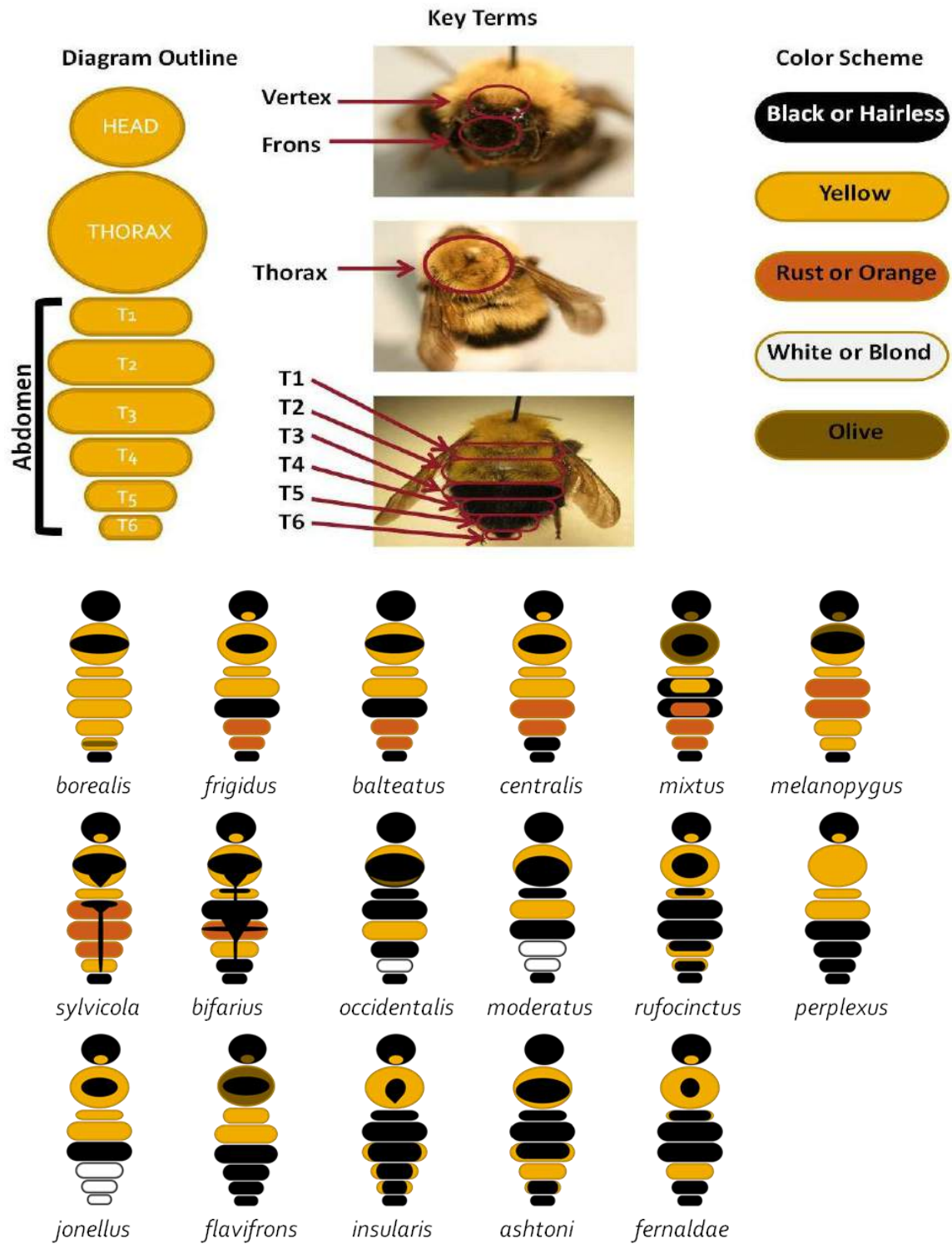


Figura 1. Clave pictórica de especies.

Fairbanks y Palmer representan el 25,8% y el 23,5% de la captura de insectos en general, respectivamente. La densidad poblacional relativa de las especies y la diversidad local, fueron variables entre años. Se encontró que los abejorros eran afectados por nematodos patogénicos y una enfermedad conocida como Nosema que afectó el 16,7% y 2,1% respectivamente. El trabajo elaborará sobre las especies encontradas, los factores que pueden afectar la densidad relativa de especies y el posible aporte de los abejorros como servicio ambiental. Además se construyó una clave pictórica para las especies de Alaska encontradas en zonas agrícolas.

Literatura citada

- BUCHMANN, S.E. 1983. Buzz pollination in angiosperms. In: C.E. Jones and R.J. Little. Handbook of Experimental Pollination Biology. Scientific and Academic Editions. Princeton, New York, USA.
- BROMENSHENK, J.J., C.B. HENDERSON, C.H. WICK, M.F. STANFORD, A.W. ZULICH, R.E. JABBOUR, S.V. DESHPANDE, P.E. MCCUBBIN, R.A. SECCOMB, P.M. WELCH, T. WILLIAMS, D.R. FIRTH, E. SKOWRONSKI, M.M.
- LEHMAN, S.L. BILIMORIA, J. GRESS, K.W. WANNER, R.A. CRAMER JR. 2010. Iridovirus and microsporidian linked to honey bee colony decline. PLoS ONE 5(10):e13181. Doi:10.1371/journal.pone.0013181
- GOULSON, D., G.C. LYE, B. DARVIL. 2008. Decline and Conservation of Bumble Bees. Annual Review of Entomology. 53: 191-208.
- HEINRICH, B. 1979. Bumble bee economics. Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts, USA.
- HENRICH, B. AND F.D. VOGT. 1993. Abdominal temperature regulation by arctic bumblebees. Physiological Zoology. 66(2): 257-269.
- KEARNS, C. A. AND J. D. THOMSON. 2001. The natural history of bumblebees, a sourcebook for investigations. University Press of Colorado. Boulder, Colorado, USA.
- KEVAN, P. 1972. Insect pollination of high arctic flowers. Journal of Ecology. 60: 831-847.
- KREMEN, C. AND R.S. OSTFELD. 2005. A call to ecologists: measuring, analyzing, and managing ecosystem services. Frontiers in Ecology and Evolution. 3: 540-548.
- WASHBURN, R.H. 1963. Distribution of Bumblebees (*Bombus*) and their social parasites (*Psithyrus*) in Alaska. Proceedings of the 14th Alaska Science Conference. Anchorage, Alaska.
- WASHBURN, R.N. 1974. Beekeeping in Alaska. Agroborealis 6(1): 23-24.
- WINFREE, R., N.M. WILLIAMS, J. DUSHOFF, AND C. KREMEN. 2007. Native bees provide insurance against ongoing honey bee losses. Ecology Letters. 10: 1105-1113.

Alternativas sostenibles para el manejo de plagas

Adriana Sáenz Aponte¹

M.Sc. Laboratorio de Control Biológico, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Pontificia Universidad Javeriana. Cra 7ª No 43-82 Oficina 414B Edificio Jesús Emilio Ramírez. adriana.saenz@javeriana.edu.co

La agricultura y la lucha contra las plagas se ha desarrollado como un proceso continuo y paralelo, que ha marchado acorde a las tendencias tecnológicas, económicas y sociales de las diferentes épocas, con un vertiginoso auge con posterioridad a la II Guerra Mundial, en que surgió el paradigma de la Revolución Verde, sobre la base de incrementos productivos sostenidos mediante tecnologías de producción intensivas, mecanizadas y con grandes volúmenes de insumos, principalmente agroquímicos. Este modelo de agricultura favoreció el desarrollo de los plaguicidas y su tecnología de aplicación, que ha sido la tendencia predominante de la sanidad vegetal en el ámbito mundial, la cual se ha arraigado con tanta fuerza que aun en la actualidad, a pesar de que se conocen y se han practicado diversas alternativas, muchos agricultores y profesionales agrarios tienen la percepción de que para la lucha contra las plagas es necesario el empleo de un producto (plaguicida) como única opción.

En los últimos años el uso de plaguicidas por parte de los productores ha ido en un constante incremento por considerarlos la única alternativa para el control de plagas, sin tomar en cuenta que su uso, además de ser intensivo e irracional, puede traer consigo problemas quizás irreversibles tanto para la salud de las personas (productores y consumidores) como para el medio ambiente. Frente a esto se hace necesario, rescatar, buscar y probar nuevas alternativas de control para la protección de los cultivos. Alternativas que sean seguras, efectivas y económicas y que además protejan y cuiden la salud de la población y el ecosistema.

Desde luego, en la mayoría de los debates sobre agricultura y ruralidad se arriba a la conclusión de que a nivel mundial la agricultura se encuentra en una crisis, motivada principalmente por los impactos negativos y la alta dependencia de los plaguicidas sintéticos, entre otras causas (Brewer y Goodell 2012); sin embargo, en muchos lugares se observan experiencias que demuestran que resulta posible obtener producciones agrícolas mediante alternativas sostenibles para el manejo de los problemas de plagas, siempre que se otorgue participación a los agricultores y técnicos o extensionistas (Carey *et al.* 2009) y este ha sido el gran reto para los centros científicos y las universidades de la región en los últimos años (Castle *et al.*, 2009).

El Manejo Integrado de Plagas (MIP) se presenta como una primera alternativa que permite pasar de una agricultura convencional (dependiente de agroquímicos) a una agricultura sostenible sin dependencia de plaguicidas. No se debe olvidar que uno de los objetivos del Manejo Integrado de Plagas es justamente reducir el uso de plaguicidas convirtiéndolos en el último recurso disponible para la protección de los cultivos. El MIP ofrece a los productores los medios

para tomar decisiones informadas y consientes, que además de sanear su economía, no ponen en riesgo su salud, ni dañan sus cultivos, el medio ambiente, benéficos entre otros (Brewer y Goodell 2012).

Dentro de las estrategias del MIP, se encuentra el control biológico, como una alternativa sostenible para el manejo de los insectos plaga, usando depredadores, parasitoides, hongos, bacterias, virus y nematodos entomopatógenos. Destacándose en los últimos 20 años el uso de nematodos para controlar plagas asociadas a suelo y recientemente plagas de follaje (Sáenz *et al.*, 2011). Sin embargo, es poco lo que se conoce sobre la relación de polinizadores como las abejas y los nematodos entomopatógenos. Es por ello, que el objetivo de este simposio es examinar y revisar el impacto, o potencial impacto de los nematodos entomopatógenos (NEP) en estos insectos de interés para los productores.

Las abejas y los nematodos entomopatógenos

Las especies de las familias Steinernematidae y Heterorhabditidae, son los candidatos con el mayor potencial en el control de plagas, no solamente porque además de ser altamente virulentas sobre más de 200 especies de insectos considerados plaga (Tanada y Kaya, 1993; Stock y Hunt, 2005), y guardar una asociación simbiótica con varias especies de bacterias de los géneros *Xenorhabdus* spp. y *Photorhabdus* spp., respectivamente, que son las directamente responsables de la muerte del hospedante durante las primeras 24 a 48 horas después de infección (Grewal *et al.* 20004; Tailliez *et al.* 2006), sino porque buscan a su hospedero activamente lo que los hace altamente eficientes y letales, a diferencia de otros entomopatógenos (Campbell y Kaya 1999).

Adicionalmente, los novedosos avances, durante los últimos 15 años, en los sistemas de producción masiva aseguran el suministro de estos agentes de control (Capinera y Epsky 1992, Ehlers y Shapiro-Ilan, 2005). Además, especies representantes de estas familias, son las que actualmente han sido evaluadas en campo e invernadero con resultados positivos para el control de las plagas, destacándose *Heterorhabditis bacteriophora*, *H. zealandica* *H. megidis*, *Steinernema feltiae*, *S. carpocapsae*, *S. riobrave* *S. kraussei*, *S. scarabaei* en el control de *Cyclocephala borealis*, *Popillia japonica*, *Phyllophaga* spp. (Grewal *et al.* 2004), *Otiorhynchus sulcatus* (Lola-Luz *et al.*, 2005), *Bradysia* spp. (Jagdale *et al.* 2004), *Liriomyza* spp. (Williams y MacDonald 1995), *Frankliniella occidentalis* (Ebbsa *et al.* 2004), *Diaprepes abbreviatus* (McCoy *et al.* 2002), *Cosmopolites sordidus* (Treverow *et al.* 1991), *Delia platura* (Sáenz *et al.* 2011), *Conatrchellus psidii* (Delgado y Sáenz 2012), *Collaria scenica* (Naranjo *et al.* 2013), *Plutella xylostella* (Sáenz 2011).

En cuanto a la relación de las abejas y los nematodos entomopatógenos, la información original por Dutky y Hough (1955) y Cantwell *et al.* (1972) indican que abejas adultas fueron resistentes a *Steinernema carpocapsae*. Sin embargo, Hackett y Poinar (1973) demostraron que las obreras pueden ser parasitadas por *S. carpocapsae*, cuando los juveniles infectivos (JI), fueron ofrecidos a las abejas en azúcar, miel o soluciones de frutas. Kaya *et al.* (1982) atribuyó la baja

susceptibilidad de los diferentes estados de desarrollo de las abejas a altas temperaturas en las colmenas (33-38 °C) y Humedad baja (40-78%). Durante los días después de la aplicación de nematodos, fue notable el incremento de la mortalidad de las obreras en las colonias que habían recibido la concentración más alta de nematodos, pero la actividad de la colonia no se vio afectada. La aplicación directa de nematodos en jaulas a las obreras causaron 4 a 10% de mortalidad. Por ende, *S. carpocapsae* puede ser utilizado con seguridad en contra de plagas de insectos en zonas donde son abundantes las abejas.

Stock (1996) evaluó la patogenicidad de *Heterorhabditis argentinensis* en insectos asociados a los cultivos de alfalfa, concluyendo que *H. argentinensis* podría ser utilizado contra los insectos dañinos de los cultivos sin causar daños graves a los insectos benéficos incluyendo *A. mellifera*. Sin embargo, para reducir la exposición de abejas, los nematodos se pueden aplicar mientras las abejas no están activamente en forrajeo en el cultivo.

Baur *et al.* (1995) y Shamseldean *et al.* (2004) establecieron que las abejas son resistentes al exponer las obreras y estados inmaduros a cuatro especies de NEPs, asperjando los JIs en la colmena. La mortalidad de las abejas adultas a cualquiera de las especies fue menor del 10% y no se evidenció infección al disectar los cadáveres. Por ende, se concluye que los NEPs no son una amenaza para colonias comerciales o abejas naturales y no es una opción de control de plagas presentes en las colonias, si se busca realizar un control con estos biológicos. Por ello, es importante evaluar las especies de nematodos antes de ser aplicadas en campo, especialmente cuando se desea controlar plagas en estructuras áreas de la planta y determinar el impacto sobre benéficos existentes en cada una de las zonas productoras donde se vinculará los NEPs como alternativa de manejo.

Literatura citada

- BAUR, M.E., KAYA, H.K., PENG, Y.S. AND JIANG, J. 1995. Non susceptibility of the honeybee, *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) to steinernematid and heterorhabditid nematodes. *Journal of Nematology* 27: 378–381.
- BREWER, M., GOODELL, P. 2012. Approaches and Incentives to Implement Integrated Pest Management that Addresses Regional and Environmental Issues. *Annu. Rev. Entomol.* 57:41–59.
- CAREY PD, SHORT C, MORRIS C, HUNT J, PRISCOTT A. 2009. The multidisciplinary evaluation of a national agrienvironment scheme. *J. Environ. Manage.* 69: 71–91.
- CASTLE SJ, GOODELL PB, PALUMBO JC. 2009. Implementing principles of the integrated control concept 50 years later—current challenges in IPM for arthropod pests. *Pest Manage. Sci.* 65:1263–64.
- 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 Caribbean basin using entomopathogenic nematodes. *Florida Entomologist* 75 (4): 525-532.

- CANTWELL, G. E., LEHNERT, T. AND FOWLER, J. 1972. Are biological insecticides harmful to the honey bee? *American Bee Journal* 112: 255–258.
- DELGADO OCHICA, Y.; SÁENZ, A. A. 2012. Virulencia, producción y desplazamiento de nematodos entomopatógenos sobre larvas del picudo de la guayaba *Conotrachelus psidii* Marshall (Coleoptera: Curculionidae) en laboratorio. *Universitas Scientiarum* 17 (3): 283-290.
- DUTKY, S.R. AND HOUGH, W.S. (1955) Note on a parasitic nematode from codling moth larvae, *Carpocapsa pomonella*. *Proceedings of the Entomological Society of Washington* 57, 244.
- EBSA, L.; BORGEMEISTER, C.; POEHLING, H. M. 2004. Effectiveness of different species strains of entomopathogenic nematodes for control of western flower thrips (*Frankliniella occioccidentalis*), at various concentrations, host densities and temperatures. *Biological Control* 29: 145-154.
- 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., 65-78 p.
- 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.
- HACKETT, K. J. AND POINAR, G. O. JR. 1973. The ability of *Neoaplectana carpocapsae* Weiser (Steinernematidae: Rhabditida) to infect adult honeybees (*Apis mellifera*, Apidae: Hymenoptera). *American Bee Journal* 113, 100.
- 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.
- KAYA, H. K., MARSTON, J. M., LINDEGREN, J. E.; PENG, Y. S. 1982. Low susceptibility of the honey bee, *Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae), to the entomogenous nematode, *Neoaplectana carpocapsae* Weiser. *Environmental Entomology* 11: 920–924.
- 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.
- MCCOY, C. W.; STUART, R. J.; DUNCAN, L. W.; NGUYEN, K. 2002. Field efficacy of two commercial preparations of entomopathogenic nematodes against larvae of *Diaprepes abbreviatus* (Coleoptera: Curculionidae) in alfisol type soil. *Florida Entomologist* 85: 537-544.
- NARANJO, N.; MONTERO, D.; SÁENZ, A. 2013. Control de la chinche de los pastos *Collaria scenica* (Hemiptera: Miridae) con nematodos entomopatógenos en invernadero. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias* 8 (1): 90-94.
- SÁENZ, A. 2012. Susceptibilidad de *Plutella xylostella* a *Heterorhabditis* sp. SL0708 (Rhabditida: Heterorhabditidae). *Revista Colombiana de Entomología* 38 (1): 94-96.
- SÁENZ, A. A.; LÓPEZ, J. C.; GALINDO, L. 2011. Experiencias con nematodos entomopatógenos: retos y oportunidades de su uso en Latinoamérica. *COBIHO*. 214 p.
- SHAMSELDEAN, M. M.; EL-SADAWY, H.; ALLAM, S. F. M. 2004. Comparative safety of entomopathogenic nematodes on honeybee workers. *Egyptian Journal of Biological Pest Control* 14 (1): 147-153.
- STOCK, S. P.; HUNT, D. J. 2005. Nematode morphology and systematics. In: *Nematodes as biological control agents*. Wallingford, UK, CABI Publishing, p. 3-43.

- STOCK, S. P. 1996. Pathogenicity of the entomopathogenic nematode *Heterorhabditis argentinensis* (Nematoda: Heterorhabditidae) on insects associated with alfalfa crops. *Revista de la Sociedad Entomologica Argentina* 55: 175–177.
- 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.
- 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.
- WILLIAMS, E. C.; MACDONALD, O. C. 1995. Critical factors required by the nematode *Steinernema feltiae* for the control of the leafminers *Liriomyza huidobrensis*, *Liriomyza bryoniae* and *Chromatomyia syngenesiae*. *Annals of Applied Biology* 127: 329-341.

Simposio 8.

Aracnología

Coordinador: Carlos Perafán, cand. Ph. D.
Universidad de la República, Facultad de Ciencias – UDELAR –
PEDECIBA – Uruguay

Participantes:

Anita Aisenberg, Ph. D., Gilbert Barrantes, Ph. D., William G. Eberhard, Ph. D.

Jaime Pinzón, Ph.D. y John R. Spence, Ph. D.

Pedro Ismael Da Silva Junior, Ph. D.

Carlos Perafán, cand. Ph. D., Alexander Sabogal, M.Sc., Jairo A. Moreno-González,
Andrés García-Rincón, David Luna-Sarmiento, Catalina Romero-Ortíz y
Eduardo Flórez, M. Sc.

Elección femenina y tapones copulatorios en *Leucauge* (Araneae, Tetragnathidae)

Female choice and mating plugs in *Leucauge* (Araneae, Tetragnathidae)

Anita Aisenberg¹, Gilbert Barrantes² y William G. Eberhard^{2,3}

Laboratorio de Etología, Ecología y Evolución, Instituto de Investigaciones Biológicas Clemente Estable, Avenida Italia 3318, Código Postal 11600, Montevideo, Uruguay; ²Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria, Costa Rica; ³Smithsonian Tropical Research Institute.

Resumen. El género *Leucauge* comprende más de 100 especies de arañas que construyen telas orbiculares, y presenta una distribución geográfica muy amplia. El comportamiento reproductivo ha sido escasamente estudiado en este género. Los tapones copulatorios han sido observados en *L. mariana*, *L. venusta* y *L. argyra*. Analizamos el comportamiento sexual y formación de tapón en *L. mariana* y *L. argyra*. Para la formación de un tapón efectivo en *L. mariana*, que minimice las posibilidades de nuevos apareamientos, es necesario el aporte de sustancias por parte del macho y de la hembra. A mayor número ($\chi^2=20.3$, $p<0.0001$) y duración ($\chi^2=12.5$, $p<0.0001$) de empujones de las patas masculinas sobre las femeninas durante la cópula, mayores las posibilidades de que la hembra colabore en la formación de tapón en esta especie. En *L. argyra*, el tapón copulatorio estaría formado por sustancias transferidas mayoritariamente o exclusivamente por la hembra. En 10 casos en esta especie ($n=17$), uno de los palpos masculinos quedó pegado a la sustancia que emergía desde los ductos femeninos durante la cópula y el macho debió liberar su palpo mediante movimientos frenéticos y bruscos (dos casos finalizaron en canibalismo sexual por parte de la hembra). Se exponen los estudios más recientes de comportamiento sexual y morfología genital realizados en estas especies, que representan los primeros casos descritos de elección críptica femenina por formación de tapón copulatorio. Se proponen estudios futuros para este género que se muestra como promisorio para estudios de selección sexual.

Abstract . *Leucauge* genus includes more than 100 species of orb weaving spiders that show a widespread distribution. Reproductive behavior has been scarcely studied in this genus. Mating plugs have been observed in *L. mariana*, *L. venusta* and *L. argyra*. We analyzed sexual behavior and plug formation in *L. mariana* and *L. argyra*. In *L. mariana*, for the formation of an effective plug that reduces the chances of re-mating, females need to add substances to those substances transferred by males. A higher number ($\chi^2=20.3$, $p<0.0001$) and duration ($\chi^2=12.5$, $p<0.0001$) of male leg pushes on female legs during copulation, determined a higher probability that females collaborated in plug formation in this species. In *L. argyra*, copulatory plugs would be composed by substances produced in the majority or exclusively by females. In 10 cases in

this species (n=17), one of male palps got stuck into the substance that emerged from female ducts during copulation and the male had to struggle to free himself (two of these cases ended in sexual cannibalism by the female). We expose the most recent findings on sexual behavior and genital morphology of these two *Leucauge* species that represent the first descriptions of cases of cryptic female choice through plug formation. We propose future studies for this promising genus for sexual selection studies.

Tetragnathidae, el género *Leucauge* y los tapones copulatorios

La familia Tetragnathidae incluye alrededor de 1000 especies distribuidas en 51 géneros (Platnick 2013). Son arañas que construyen telas orbiculares, generalmente horizontales o inclinadas. Presentan quelíceros largos y conspicuos, que en muchas especies de esta familia son entrelazados por hembra y macho previo y durante el apareamiento (Eberhard y Huber 1998; Álvarez-Padilla *et al.* 2009). Se ha discutido que este acople de quelíceros podría permitir un mejor y más seguro anclaje de los machos a las hembras durante la cópula (Levi 1981; Kraus 1984). Sin embargo, los quelíceros y el acople entre ambos sexos es muy variable de una especie a otra y presenta marcadas diferencias morfológicas y comportamentales. En algunas especies es el macho quien rodea con sus quelíceros a la hembra hacia el inicio de la cópula, y en otras es la hembra quien encierra con sus quelíceros a los correspondientes del macho (Eberhard y Huber 1998). A su vez, algunas especies presentan dimorfismo sexual en los quelíceros, y un sexo, en general los machos, presenta setas u otras estructuras modificadas que sugieren que estos caracteres podrían estar moldeados por selección sexual. Las marcadas diferencias intra e inter-específicas podrían estar vinculadas con el grado de conflicto sexual, elección femenina y/ o posibilidades de canibalismo sexual en cada especie.

El género *Leucauge* White 1841 pertenece a la familia Tetragnathidae y a pesar de presentar más de un centenar de especies, ha sido escasamente estudiado en lo que respecta a su comportamiento sexual (Eberhard y Huber 1998). El cortejo copulatorio es frecuente en el género (Castro 1995; Eberhard y Huber 1998). Se ha observado la existencia de tapones copulatorios en al menos tres especies de *Leucauge*: *L. mariana* (Keyserling 1881), *L. venusta* (Walckenaer 1841) y *L. argyra* (Walckenaer 1841) (Castro 1995; Eberhard y Huber 1998). El acople de quelíceros entre hembra y macho ocurre previo al apareamiento y tanto en *L. mariana* como en *L. argyra*, es la hembra quien rodea con sus quelíceros a los correspondientes del macho (Aisenberg 2009; Aisenberg y Eberhard 2009; Aisenberg y Barrantes 2011).

Los tapones copulatorios han sido descritos tanto en vertebrados, como mamíferos, aves y reptiles, e invertebrados (insectos y arácnidos) (Leonard y Córdoba-Aguilar 2010; Uhl *et al.* 2010). En general los tapones copulatorios están compuestos por esperma, espermatóforos, productos glandulares, y/ o partes de genitalia masculina (Uhl *et al.* 2010). Se considera que los tapones copulatorios funcionarían para prevenir o reducir las posibilidades de apareamiento futuras de la hembra. A su vez, podrían tener otras funciones como prevenir el desecamiento de

esperma dentro del tracto femenino, minimizar la pérdida de esperma, o prevenir infecciones genitales (Boorman y Parker 1976; Huber 1995, 2005; Simmons 2001; Uhl *et al.* 2010). En general, los tapones consisten de productos o partes de genitalia depositados por los machos, por ambos sexos, o en algunos casos exclusivamente por las hembras (Uhl *et al.* 2010). Estudios previos realizados en *L. mariana* sugerían que los tapones copulatorios en esta especie estaban formados por una sustancia transferida por los machos a la cual se adicionaba una sustancia producida por las hembras (Méndez 2004). El comportamiento sexual y la formación de tapones copulatorios en *L. argyra* nunca había sido analizado en detalle. Así, nuestros objetivos fueron realizar observaciones en detalle del comportamiento de cortejo y cópula en *L. mariana* y *L. argyra*, y poner a prueba si el comportamiento de cortejo copulatorio masculino se vincula con la formación de tapón en estas especies.

Elección críptica femenina mediante formación de tapón en *Leucauge mariana*

Las hembras son capaces de afectar el éxito de paternidad masculino mediante diversos procesos comportamentales, morfológicos y fisiológicos que se dan luego de iniciada la cópula (Eberhard 1996). La elección de las hembras sobre determinados caracteres masculinos realizada durante y luego del apareamiento se conoce como elección críptica femenina (Eberhard 1996). El cortejo copulatorio, o cortejo realizado por el macho durante la cópula, resultaría de la acción de la selección sexual por elección críptica femenina y podría tener la función de inducir una baja en la receptividad sexual femenina luego del apareamiento (Eberhard 1985, 1996). Existe un listado con más de 20 mecanismos posibles por los cuales las hembras pueden optar por favorecer la paternidad de un macho determinado sobre otro (Eberhard 1996), pero muy pocos de estos mecanismos han sido demostrados como vías de elección críptica femenina.

Leucauge mariana es una araña constructora de telas orbiculares muy frecuente en los bosques tropicales de altitud moderada en Costa Rica (Méndez 2004). En esta especie, los machos penúltimos realizan guardia de las hembras cercanas a su muda de adultez. Existe competencia macho-macho por el acceso a las hembras y se han observado tapones copulatorios cubriendo total o parcialmente la genitalia de las hembras (Eberhard *et al.* 1993; Eberhard y Huber 1998). La cópula en *L. mariana* incluye dos tipos de inserciones palpaes: largas y cortas. Las inserciones largas implican una única inserción con muchas infladas de la hematodocha, a diferencia de las inserciones cortas que implican una única inflada por inserción palpar. Las fallas en las inserciones palpaes (flubs) son frecuentes en esta especie (Aisenberg y Eberhard 2009). Los tapones copulatorios en esta especie estarían formados por una sustancia transferida por el macho durante las inserciones palpaes cortas, a la cual la hembra adicionaría (o no) una sustancia propia, que es necesaria para la producción de un tapón genital efectivo (Eberhard y Huber 1998; Méndez 2004).

Se realizaron experimentos en condiciones de laboratorio en los que se expusieron cada una de cuarenta y tres hembras vírgenes de *L. mariana* ante un macho (Aisenberg 2009; Aisenberg

y Eberhard 2009). Las hembras fueron capturadas en el campo como subadultas cercanas a su muda adulta, reconocidas porque presentaban machos en su tela realizando guardia (Eberhard *et al.* 1993). En los días 0-5 se expuso cada hembra con un macho y se registró en detalle el cortejo, la cópula y la formación de tapón copulatorio inmediatamente luego de la cópula y 24 horas después. Se encontró que a mayor número ($\chi^2=20.3$, $p<0.0001$) y duración ($\chi^2=12.5$, $p<0.0001$) de empujones de las patas masculinas sobre las femeninas durante la cópula, mayores las posibilidades de que la hembra colaborara en la formación de tapón. Por lo tanto, se encontró que el comportamiento de cortejo copulatorio masculino de empujones en las patas afectó positivamente la decisión femenina de segregar la sustancia para la formación del tapón (Aisenberg 2009; Aisenberg y Eberhard 2009).

Los tapones como trampas mortales en *Leucauge argyra*

Leucauge argyra es una araña constructora de tela orbiculares que es frecuente en zonas bajas y húmedas de Costa Rica (Eberhard 2001). Con *L. argyra* se procedió de manera similar a la anteriormente descrita para *L. mariana* (Aisenberg y Barrantes 2011). Se expuso cada una de 14 hembras vírgenes y 12 hembras encontradas en el campo con tapón copulatorio ante un macho, y se registraron las características de cortejo, cópula y la existencia de tapón inmediatamente y 24 hs luego de la cópula. De las 14 hembras vírgenes, doce aceptaron la cópula y nueve produjeron tapón copulatorio; en cambio, de las doce hembras con tapón copulatorio, solamente cinco se aparearon y todas éstas formaron tapón inmediatamente luego de finalizado el apareamiento (Aisenberg y Barrantes 2011). En los casos en los cuales ocurrió la cópula, los tapones no fueron removidos sino perforados por área distal del conductor del palpo del macho. La formación de tapón mostró correlación positiva con un comportamiento masculino realizado durante el cortejo (male twanging) de tensión y afloje con la pata III de los hilos de la tela que conectan al macho con la hembra (Aisenberg y Barrantes 2011).

La cópula en esta especie, a diferencia de *L. mariana*, incluye exclusivamente inserciones palpaes largas, con múltiples infladas de la hematodocha, y las fallas en la inserción son infrecuentes (Aisenberg y Barrantes 2011). No se detectó la transferencia de ninguna sustancia por parte del macho durante la cópula pero sí se observó la aparición de una sustancia emergiendo desde los ductos femeninos. Esta sustancia estaba formada mayoritariamente por una matriz y, en cantidades muy pequeñas, esperma encapsulado o descapsulado (Barrantes *et al.* 2013). Con respecto al momento de la aparición de la sustancia femenina emergiendo desde la apertura de los ductos en el epigino, en 10 casos ($n=17$), uno de los palpos masculinos quedó pegado a la sustancia que emergía desde los ductos femeninos durante la cópula y el macho debió liberar su palpo mediante movimientos frenéticos y bruscos. Dos de estos casos finalizaron con canibalismo sexual por parte de la hembra (Aisenberg y Barrantes 2011).

El presente caso se trata del primero sobre uso del tapón copulatorio como una trampa pegajosa para machos. Las hembras de *L. argyra* podrían estar modulando la duración de la cópula

mediante la producción de una sustancia pegajosa, posiblemente precursora del tapón copulatorio en esta especie.

Direcciones para estudios futuros

En un estudio reciente (Barrantes *et al.* 2013) comparamos la genitalia de ambos sexos en *L. mariana* y *L. argyra*, a la luz de sus diferencias en el comportamiento sexual y de formación de tapón. En *L. argyra*, a diferencia de *L. mariana*, tanto el macho como la hembra poseen estructuras genitales especializadas que difieren marcadamente de lo descrito para este género (Levi 2008; Álvarez-Padilla y Hormiga 2011). El palpo masculino posee una estructura en forma de gancho dirigido dorsalmente en el margen anterior-dorsal del cymbium. Esta estructura parece ser una macro-seta modificada (Álvarez-Padilla y Hormiga 2011). Mientras se introduce el émbolo y se transfiere esperma en uno de los dos orificios de inseminación del epigino, esta macro-seta se introduce simultáneamente en la apertura del otro orificio de inseminación (Barrantes *et al.* 2013). Por tanto, esta estructura masculina modificada podría estar involucrada en estimulación femenina y en brindar un anclaje más eficiente para el macho durante el apareamiento. Estas hipótesis serán puestas a prueba en futuros estudios.

Por otra parte, las hembras adultas de *L. argyra* poseen un proceso ventral a modo de cono o promontorio en la zona central posterior del epigino. Dicho proceso ventral está cubierto por largas setas en su cara anterior y hasta su extremo. Estas setas podrían estar involucradas en procesos de elección críptica femenina (Caballero *et al.*, en preparación).

Finalmente, considerando la gran cantidad de especies y todo lo que se desconoce en lo que respecta a comportamiento sexual en este género, *Leucauge* surge como un género muy auspicioso para estudios de elección críptica y tapones copulatorios.

Literatura citada

- AISENBERG, A. 2009. Male performance and body size affect female re-mating occurrence in the orb web spider *Leucauge mariana* (Araneae, Tetragnathidae). *Ethology* 115: 1127-1136.
- AISENBERG, A.; BARRANTES, G. 2011. Sexual behavior, cannibalism and mating plugs as sticky traps in the orb weaver spider *Leucauge argyra* (Tetragnathidae). *Naturwissenschaften* 98: 605-613.
- AISENBERG, A.; EBERHARD, W. G. 2009. Possible cryptic female choice in a spider: female cooperation in making a copulatory plug depends on male copulatory courtship. *Behavioral Ecology* 20: 1236-1241.
- ÁLVAREZ-PADILLA, F.; DIMITROV, D.; GIRIBET, G.; HORMIGA, G. 2009. Phylogenetic relationships of the spider family Tetragnathidae (Araneae, Araneoidea) based on morphological and DNA sequence data. *Cladistics* 25: 109-146.
- ÁLVAREZ-PADILLA, F.; HORMIGA, G. 2011. Morphological and phylogenetic atlas of the orbweaving spider family Tetragnathidae (Araneae: Araneoidea). *Zoological Journal of the Linnean Society* 162: 713-879.

- BARRANTES, G.; AISENBERG, A.; EBERHARD, W. G. 2013. Functional aspects of genital differences in *Leucauge argyra* and *L. mariana* (Araneae, Tetragnathidae). *Journal of Arachnology* 41: 59-69.
- BOORMAN, E.; PARKER, G. A. 1976. Sperm (ejaculate) competition in *Drosophila melanogaster*, and the reproductive value of female of remating to male in relation to female age and mating status. *Ecological Entomology* 1: 145–155.
- CASTRO, T. J. 1995. Estudio comparativo del comportamiento reproductor, en las arañas del género *Leucauge* (Araneae: Tetragnathidae), del Soconusco, Chiapas. Graduate Thesis, Universidad de Ciencias y Artes del Estado de Chiapas, México.
- EBERHARD, W. G. 1985. Sexual Selection and animal genitalia. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.
- EBERHARD, W. G. 1996. Female control: sexual selection by cryptic female choice. Princeton University, Princeton, New Jersey.
- EBERHARD, W. G. 2001. Under the influence: webs and building behavior of *Plesiometa argyra* (Araneae, Tetragnathidae) when parasitized by *Hymenoepimecis argyraphaga* (Hymenoptera, Ichneumonidae). *Journal of Arachnology* 29: 354–366.
- EBERHARD, W. G.; GUZMÁN-GÓMEZ, S.; KATLEY, K. 1993. Correlation between genitalic morphology and mating systems in spiders. *Biological Journal of the Linnean Society* 50: 197-209.
- EBERHARD, W.G.; HUBER, B. A. 1998. Courtship, copulation and sperm transfer in *Leucauge mariana* (Araneae, Tetragnathidae) with implications for higher classification. *Journal of Arachnology* 26: 342-368.
- HUBER, B. A. 1995. The retrolateral tibial apophysis in spiders—shaped by sexual selection? *Zoological Journal of the Linnean Society* 113: 151–163.
- HUBER, B. A. 2005. Sexual selection research on spiders: progress and biases. *Biological Reviews* 80: 363–385.
- KRAUS, O. 1984. Male spider genitalia: evolutionary changes in structure and function. *Verh Hamburg* 27: 373-382.
- LEONARD, J. L.; CÓRDOBA-AGUILAR, A. 2010. The evolution of primary sexual characters in animals. Oxford University Press, USA.
- LEVI, H. W. 1981. The American orb-weaver genera *Dolichognatha* and *Tetragnatha* North of Mexico (Araneae: Araneidae, Tetragnathinae). *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology* 149: 271-318.
- LEVI, H. W. 2008. The tetragnathid genera *Alcimosphenus*, *Leucauge*, *Mecynometa* and *Opas* (Araneae: Tetragnathidae). *Journal of Arachnology* 36: 167-170.
- MÉNDEZ, V. 2004. Comportamiento sexual y dinámica de población de *Leucauge mariana* (Araneae: Tetragnathidae). MSc Thesis, Universidad de Costa Rica, Costa Rica.
- PLATNICK, N. P. 2013. The world spider catalog, versión 13.5. <http://research.amnh.org/iz/spiders/catalog/INTRO3.html>
- SIMMONS, L. W. 2001. Sperm competition and its evolutionary consequences in the insects. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- UHL, G.; NESSLER, S. H.; SCHNEIDER, J. M. 2010. Securing paternity in spiders? A review on occurrence and effects of mating plugs and male genital mutilation. *Genetica* 138:75-104

Modelos de distribución de especies y *hotspots* de biodiversidad

Jaime Pinzon¹ y John R. Spence²

¹Ph.D., Department of Renewable Resources, University of Alberta, 442 Earth Sciences Building, Edmonton, Alberta, Canada, T6G 2H1, jpinzon@ualberta.ca. ²Ph.D., Department of Renewable Resources, University of Alberta, 442 Earth Sciences Building, Edmonton, Alberta, Canada, T6G 2H1, john.spence@ualberta.ca

Resumen. Los modelos de distribución de especies, o más apropiadamente, el modelación de hábitat adecuado, es una técnica para interpolar espacialmente información biológica. Desde una perspectiva de conservación, ésta es una herramienta analítica útil para predecir la ocurrencia de especies en áreas con insuficiencia de información. Dichos modelos se basan en la presencia geo-referenciada de especies y en información espacial de topografía, clima y otras variables ambientales disponibles dentro del área de interés. Luego de 10 años de toma de datos como parte del proyecto EMEND (Ecosystem Management Emulating Natural Disturbances) en el bosque boreal de Canadá, se conoce la ocurrencia de alrededor 260 especies de arañas del suelo, información extremadamente valiosa para este ejercicio de modelación. La distribución de cada especie fue así modelada dentro de un Área de Manejo Forestal (aprox. 4400 Km²) con una historia de disturbios naturales (p.ej., fuego) y humanos (p.ej., explotación forestal). Las variables más importantes para modelar y predecir la ocurrencia de la mayoría de las especies fueron aprovechamiento forestal, cobertura vegetal, 'ecositio' (gradiente de nutrientes vs. humedad) y fuego. Estas variables fueron usadas además para evaluar las respuestas de la comunidad de arañas al cambio de hábitat basadas en la ocurrencia de especies dentro del área de manejo forestal. Como resultado, dichas ocurrencias, se emplearon como base para mapear e identificar posibles *hotspots* de diversidad de arañas. Las implicaciones para la conservación de arañas dentro de este paisaje son discutidas, además de las limitaciones y necesidades para posterior investigación.

Palabras clave: Arañas del suelo, patrones de biodiversidad, modelación de nicho, manejo forestal, MaxEnt.

Abstract. Species distribution modeling (SDM), or more accurately modeling of suitable habitat, is a technique to interpolate biological survey data in space. From a conservation view, habitat modeling has become a very important and useful analytical tool for predicting species occurrences at the landscape level across unsampled areas. Predictive models are based on species presence at geo-referenced localities and spatially-explicit information of topographical, climate and other available environmental variables within an area of interest. Ground-dwelling spiders, collected as part of the EMEND (Ecosystem Management Emulating Natural Disturbances) project in the mixedwood boreal forest of Canada, were used for this

modeling exercise. Occurrence of about 260 spider species is known after 10 years of sampling and as such, these data are extremely valuable for SDM. The distribution of each species was thus predicted within the forest management area the EMEND project is embedded in, an area of about 4400 Km² with a history of natural (e.g., fire) and human (e.g., forest harvesting) disturbances. The most important variables to model/predict the occurrence of most species were harvesting, land-cover, ecosite classification (nutrient vs. moisture gradient) and fire. These variables were then used to assess overall responses at the community level to habitat change based on the predicted species occurrence within the forest management area. As a result, predicted occurrences were used as basis to map and identify potential spider diversity *hotspots*. The implications for spider conservation within this managed landscape are discussed in addition to the potential limitations and needs for further research.

Key words: ground-dwelling spiders, biodiversity patterns, niche modeling, forest management, MaxEnt

Introducción

Conocer y entender la distribución de especies en un área determinada es de gran interés no sólo desde un punto de vista de manejo de recursos, sino desde un contexto de conservación biológica (Peterson *et al.* 2011). Sin embargo, dadas las limitaciones para inventariar la biodiversidad en áreas de gran extensión y a la escasez de información sobre la presencia de muchas especies, se hace necesario poder predecir la ocurrencia de dichas especies en áreas de interés a partir de modelos matemáticos (Stockwell y Peters 2009; Phillips *et al.* 2006). Como consecuencia, estos modelos se convierten en un herramienta clave para discernir de que forma las especies pueden estar distribuidas y para evaluar variables ambientales de importancia que permitan explicar la ocurrencia de las mismas (Cassini 2011).

Desde el contexto del nicho fundamental (Hutchinson 1957), la ocurrencia de una especie en un área específica está definida por la combinación óptima de múltiples variables ambientales que permiten su supervivencia y viabilidad. De esta forma, diferentes áreas que presenten una combinación similar de estas variables potencialmente permitirían la presencia de dicha especie, generando así su distribución potencial (Anderson y Martínez-Meyer 2004). Así, el enfoque básico en la creación de modelos de distribución es la predicción de la ocurrencia de una o varias especies en un área de interés a partir de información geo-referenciada de localidades donde dichas especies están presentes, en función de información espacial de variables ambientales bióticas y/o abióticas (Anderson *et al.* 2003; Phillips *et al.* 2006).

Existe una gran variedad de aplicaciones a partir del uso de modelos de distribución potencial de especies, incluyendo la identificación de áreas prioritarias y el desarrollo de planes de conservación (Urbina-Cardona y Flores-Villela 2009; Lawler *et al.* 2011), relaciones especie-hábitat (Rotenberry *et al.* 2006) y predicciones de patrones de biodiversidad (Pineda y Lobo 2009),

entre otras. Adicionalmente, a través de la información generada por los modelos es posible priorizar recursos identificando localidades de importancia y seleccionando lugares potenciales de muestreo que ofrezcan mayores posibilidades de generar información referente a la diversidad de un área.

Para el caso específico del presente ejercicio de modelación, se empleó la ocurrencia de especies de arañas del suelo en un área de manejo forestal representativa del bosque mixto boreal en Canadá. Esta área es una extensa zona boscosa que está sujeta a presiones antropogénicas sobre los recursos naturales, en especial a través de extracción de madera a escalas industriales. El conocimiento sobre la ocurrencia de especies de arañas en esta zona es muy limitado y por consiguiente la predicción de su distribución bajo dicho escenario de disturbio ofrece una excelente oportunidad para evaluar la eficacia de métodos de modelación y proporcionar información básica sobre patrones de biodiversidad en la zona a partir del mapeo de riqueza potencial de especies.

Materiales y métodos

Área de estudio. En Canadá las áreas de aprovechamiento forestal para tala son asignadas para su manejo a diferentes industrias madereras; dichas zonas son conocidas bajo el nombre de Áreas de Manejo Forestal o FMA (por sus siglas en Inglés). El presente ejercicio de modelación se desarrolló en una FMA asignada a Daishowa-Marubeni International (DMI) y a Canadian Forest Products (CANFOR), con una extensión aproximada de 4400 Km², ubicada al noroccidente de la provincia de Alberta entre 56°19'53"N - 57°24'01"N y 117°39'47"W - 119°59'60"W (Fig. 1). Esta región corresponde a una zona de bosque boreal mixto y comprende tres regiones naturales en el piedemonte oriental de las Montañas Rocosas, de las cuales la región de piedemonte bajo representa la mayor extensión (88%) (recuadro en Figura 1). La cobertura vegetal en esta FMA es principalmente boscosa compuesta predominantemente por Álamo (*Populus tremuloides* Michaux), Abeto blanco (*Picea glauca* (Moench) Voss), Abeto negro (*Picea mariana* (Mill.) Britton, Sterns & Poggenb) y Abeto contorto (*Pinus contorta* var. *latifolia* Engelm.) (Fig. 2A). Esta zona está sujeta a disturbios naturales y humanos, especialmente incendios naturales y aprovechamiento forestal (tala), respectivamente (Figs. 2E, F), afectando extensas áreas de bosque natural. Por ejemplo, desde 1950 alrededor de 2700 Km² han sido perturbados por incendios y 711.9 Km² han sido talados en las dos últimas décadas.

Colección de datos. La ocurrencia de especies de arañas del suelo fue obtenida a partir de datos colectados como parte del proyecto EMEND (Ecosystem Management Emulating Natural Disturbances, www.emendproject.org), el cual se encuentra ubicado al noroccidente de la FMA (Figura 3). El experimento abarca áreas con diferente cobertura vegetal, principalmente Álamo y Abeto blanco en diferentes proporciones, las cuales fueron tratadas en 1999 con diferentes

intensidades de tala y quema controlada. Las ocurrencias de arañas del suelo son basadas en colecciones realizadas por medio de trampas de caída entre 1999 y 2009.

A partir de sistemas de información geográfica, datos ambientales fueron obtenidos para la totalidad de la FMA. Las siguientes variables fueron utilizadas como variables independientes en el modelo: cobertura vegetal (basada en la especie de árbol dominante en el dosel; ESRD 2012), áreas taladas (desde 1980) y quemadas (desde 1940) por incendios naturales (DMI, datos sin publicar), datos bioclimáticos derivados de temperatura media y precipitación anuales, temperatura media y precipitación en el trimestre más cálido, más frío, más húmedo y más seco del año y temporalidad de temperatura y precipitación (WorldClim 2012; Hijmans *et al.* 2005; resolución 1 Km, datos 1950-2000), 'ecositio' derivado a partir de gradientes de humedad y nutrientes (DMI, datos sin publicar), densidad de cuerpos de agua a un radio de 1 Km (a partir de información de cuencas hidrográficas en la zona; GeoBase 2012) y elevación (modelo de elevación digital para Alberta, resolución 17.5 m; GeoBase 2012). Variables adicionales fueron derivadas partir del modelo de elevación digital: radiación solar (McCune y Keon 2002), aspecto, pendiente, índice compuesto topográfico (ICT; Evans 2012) y faceta (combinación de ICT y radiación solar), las cuales fueron derivadas usando ArcGIS 10.1 (ESRI 2012).

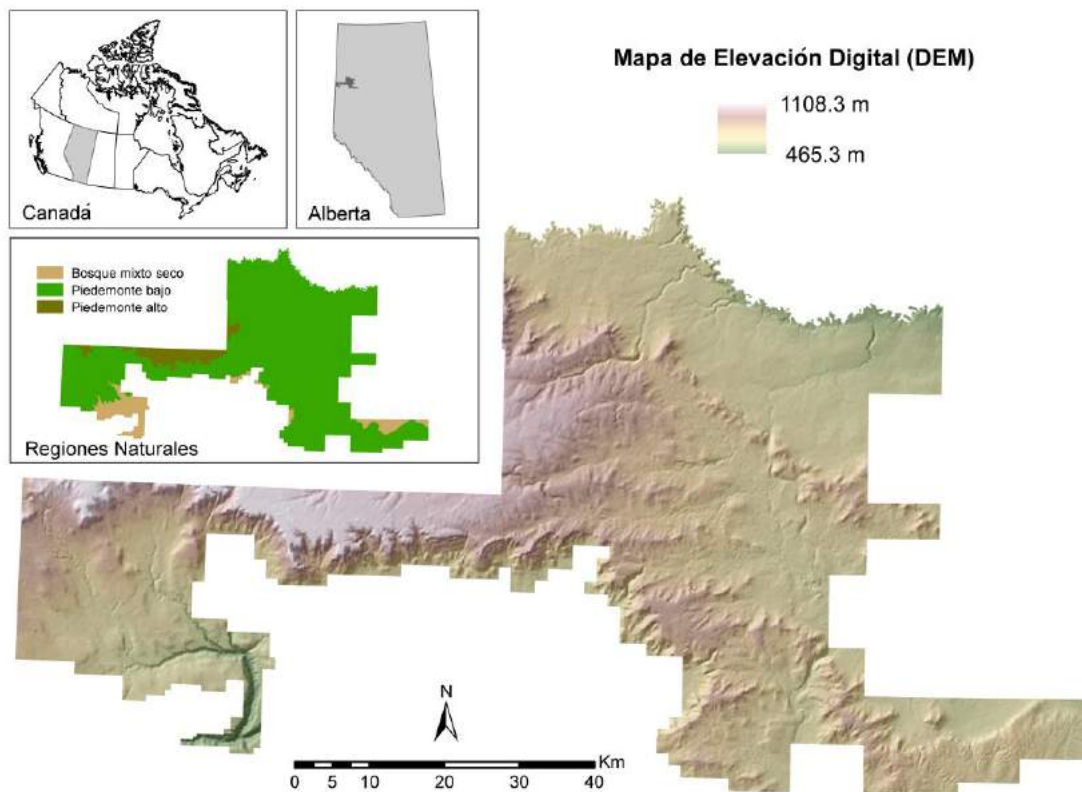


Figura 1. Mapa de elevación digital del área de manejo forestal. En los recuadros se ilustra la ubicación del área de manejo en relación a la provincia de Alberta y Canadá. Adicionalmente se ilustran las regiones naturales presentes en el área de manejo forestal.

Modelación y estimación de 'hotspots'. Todas las variables ambientales fueron ajustadas a una resolución de 20 m. En el caso de las variables bioclimáticas, los valores a ésta resolución fueron obtenidos a partir de interpolación mediante el método de Kriging usando ArcGIS 10.1. La distribución de cada una de las especies seleccionadas dentro de la FMA fue modelada a partir de las ocurrencias geo-referenciadas en el área de EMEND (variables respuesta) en función de las diversas variables ambientales anteriormente descritas empleando el algoritmo de Entropía Máxima mediante el uso de MaxEnt 3.3.3k (<http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/>; Phillips *et al.* 2004, 2006). Inicialmente se estimó la probabilidad de ocurrencia de cada especie en cada celda de 20x20 m dentro de la FMA empleando todas las variables. Luego el modelo fue ajustado removiendo aquellas variables que contribuyeran menos de 2% a la distribución potencial de cada especie, obteniendo así una nueva probabilidad de ocurrencia. Posteriormente, la probabilidad de ocurrencia de cada especie fue convertida a presencia/ausencia a partir del umbral logístico más alto obtenido de la salida de MaxEnt (probabilidades menores al umbral corresponden a ausencia y probabilidades mayores, a presencia). De esta forma, mapas de presencia/ausencia dentro de la FMA para cada especie fueron generados y analizados en ArcGIS 10.1.

A partir de los mapas de distribución generados para cada una de las especies se estimó el número de especies presentes en cada una de las celdas de 20x20 m dentro de la FMA. Con dicha información se construyó un mapa de riqueza de especies dentro del área de la zona de manejo para así visualizar patrones de diversidad e identificar zonas de interés (*hotspots*).

Resultados y discusión

Para el área de EMEND ha sido registrada la ocurrencia de 265 especies de arañas (Pinzon 2011; Pinzon *et al.* 2012, 2013; Spence y Pinzon, datos sin publicar). De este total, únicamente 106 especies fueron seleccionadas para construir los modelos de distribución potencial. Esta selección se llevó a cabo discriminando aquellas especies con 12 o más ocurrencias ya que los modelos con un número menor de registros suelen ser parcializados y poco confiables.

De las 30 variables climáticas y ambientales empleadas para el presente ejercicio de modelación, 11 fueron utilizadas luego de seleccionar aquellas que contribuyeron más de 2% a la distribución potencial de cada especie (Tabla 1). Las áreas de aprovechamiento forestal (áreas taladas; Figura 2F) constituyeron el factor que más contribuyó a la predicción de la ocurrencia de casi la totalidad de las especies consideradas en este ejercicio, explicando en promedio un 43,7%. Cabe notar, sin embargo, que la distribución geográfica potencial es influenciada por esta variable en diferente grado dependiendo de la especie. Aunque muchas especies fueron colectadas en zonas sin disturbar (controles), era de esperarse que la tala fuera una de las variables más importantes, ya que la mayoría de ocurrencias son provenientes de zonas taladas en 1999 cuando el proyecto EMEND se inició (Fig. 3). Aún así estos resultados son de gran validez dada la incidencia de aprovechamiento forestal en la FMA, tanto en el pasado como en planes futuros. Así pues, esta

información es de gran relevancia para la industria forestal en la planeación de nuevas áreas designadas para corte y en la protección de biodiversidad en el área de manejo.

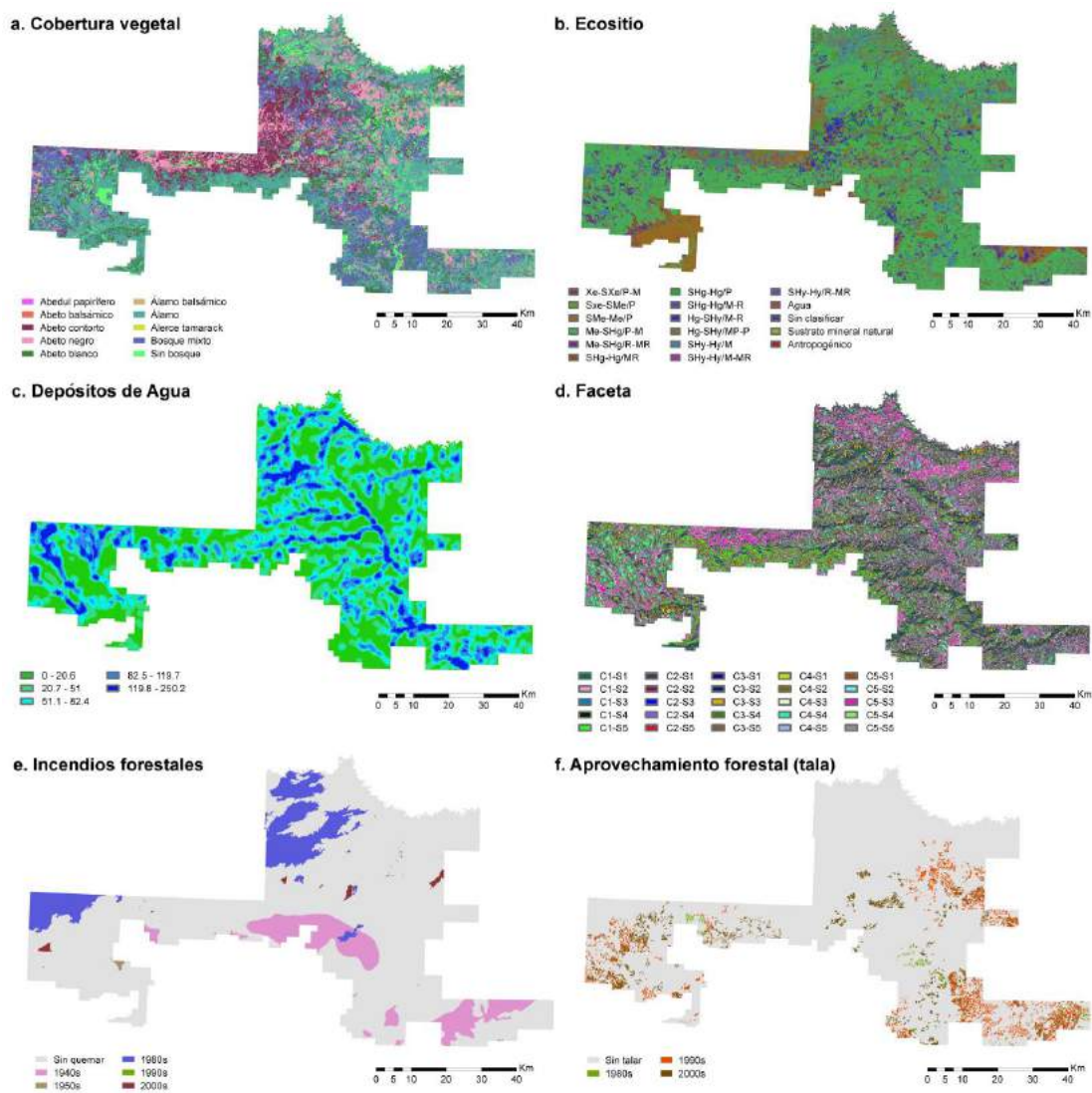


Figura 2. Mapa del área de manejo forestal ilustrando algunas de las variables ambientales empleadas para la modelación de especies de arañas del suelo. a. Cobertura vegetal: polígonos de áreas cubiertas por diferentes especies de árboles. b. Ecositio: se refiere a la combinación de un gradiente de humedad y nutrientes, el cual refleja los principales tipos de vegetación tanto en el sotobosque como en el dosel (Humedad: Xe, xérico; SXe, subxérico; Me, méxico; SMe, submérico; Hg, hígrico; SHg, subhígrico; Hd, hídrico; SHd, subhídrico. Nutrientes: MR, muy rico; R, rico; M, medio; P, pobre; MP, muy pobre). c. Depósitos de agua: densidad de cuerpos de agua en un radio de 1 Km. d. Faceta: combinación de 5 clases de índice topográfico compuesto (C1: fillos muy secoos, C2: colinas secas, C3: zonas de humedad moderada, C4: zonas húmedas, C5: zonas muy húmedas) y 5 clases de radiación solar (S1: muy baja, S2: baja, S3: moderada, S4: alta, S5: muy alta). e. Incendios forestales: áreas perturbadas por incendios naturales o prescritos desde 1940. f. Aprovechamiento forestal: áreas taladas desde 1980.

Tabla 1. Variables utilizadas para la modelación de distribución de especies de arañas del suelo en un área de manejo forestal en el bosque boreal de Canadá (variables que contribuyen más de 2% a la distribución estimada de cada especie).

Variable	Tipo	Definición	Porcentaje promedio de contribución	Rango (min-máx)	No. Especies
bio03	continua	Isotermalidad (rango promedio de temperatura en el día / rango de temperatura anual)	4.2	2.0- 10.1	87
bio09	continua	Temperatura media en el cuarto más seco	5.1	2.0 - 8.1	103
bio13	continua	Precipitación del mes más húmedo	5.2	2.0 - 16.4	45
bio15	continua	Precipitación estacional (coeficiente de variación)	8.4	2.0 - 29.5	100
bio16	continua	Precipitación del cuarto más húmedo	9.4	2.0 - 17.8	87
ecositio	categorica	Gradiente de humedad y nutrientes	6.4	2.0 - 18.2	100
fuego	categorica	Áreas perturbadas por incendios forestales desde 1940	8.8	2.0 - 31.5	94
cobertura	categorica	Cobertura vegetal (especie de árbol dominante en el dosel)	8.0	2.0 - 52.7	101
tala	categorica	Áreas taladas desde 1980	43.7	20.6- 61.5	105
faceta	categorica	Combinación del índice topográfico compuesto (humedad) y radiación solar	6.4	2.0 - 21.5	73
agua	categorica	Densidad de cuerpos de agua en un radio de 1 Km	5.4	2.0 - 28.0	89

Aunque las variables restantes explicaron en promedio relativamente poco en comparación con la tala, éstas fueron de importancia para muchas especies, tal y como se evidencia en los amplios rangos de sus valores (Tabla 1). La relevancia de estos resultados radica en la identificación de requerimientos de hábitat para dichas especies que se ven reflejados en la selección de áreas específicas donde es probable la ocurrencia de las mismas. De esta forma, a partir de los resultados del presente ejercicio, se pudo identificar especies que son sensibles a cambios ambientales, como por ejemplo perturbaciones por incendios forestales (Figura 2e) o gradientes de humedad (Figs. 2B-D). Por consiguiente se ha generado información básica sobre el nicho de especies de arañas del suelo en el bosque boreal, conocimiento que hasta la fecha es muy limitado para la gran mayoría de especies (Dondale y Redner 1978, 1990; Platnick y Dondale 1992) en este tipo de sistemas boscosos.

Cabe resaltar que la distribución potencial de cada especie está basada en probabilidades y debido a que la presencia/ausencia evaluada de las mismas está determinada por el umbral

logístico, la estimación de la ausencia es relativa a la calidad y cobertura de las ocurrencias empleadas para la modelación. De esta forma, la ausencia en la distribución de una especie en un punto geográfico determinado no necesariamente implica que de hecho la especie no se encuentre en dicha localidad, ya que ésta es una distribución potencial. Así, es necesario validar las distribuciones estimadas por los respectivos modelos mediante colectas adicionales posteriores para así comprobar la predicción del modelo. Una vez se incrementa el conocimiento sobre la ocurrencia de las especies en diferentes localidades dentro del área de interés, dicha información puede ser empleada para calibrar y actualizar el modelo. Por consiguiente, a medida que se incremente el conocimiento sobre la ocurrencia de una especie, más precisa será la estimación de su distribución potencial.

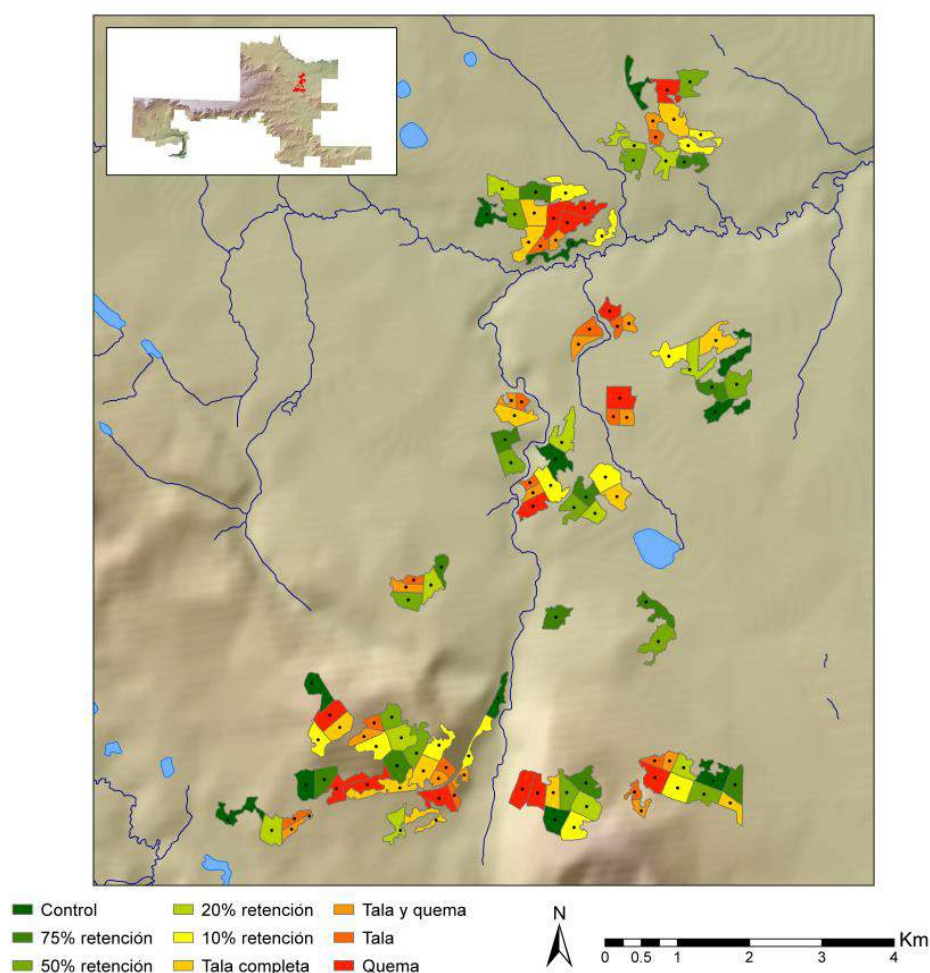


Figura 3. Mapa del área de estudio del proyecto EMEND donde fueron colectadas las arañas del suelo entre 1999 y 2009. Cada polígono tiene un área aproximada de 10 Ha y el punto representa el centro del polígono como geo-referencia para la ocurrencia de las especies. En el recuadro se ilustra la ubicación del área de estudio dentro de la FMA (Tala completa: sin retención; 10-75% retención: porcentaje de retención en relación a la cobertura del dosel original)

antes de la aplicación del tratamiento o la aplicación del tratamiento; Control: áreas sin disturbar; Tala-Tala y quema-Quema: tratamientos de quema controlada).

Como consecuencia, el mapa de *hotspots* de diversidad de arañas del suelo obtenido a partir de la modelación (Fig. 4) necesariamente debe cambiar a medida que los modelos sean calibrados con información adicional. Sin embargo, este mapa ofrece una idea general de cómo localidades de interés en términos de riqueza de especies están distribuidos en zonas de mayor impacto por aprovechamiento forestal e inclusive en zonas donde potencialmente dicho aprovechamiento está siendo considerado.

Es de esperar que el área correspondiente al proyecto EMEND muestre una alta densidad de *hotspots*, debido a que la ocurrencia de todas las especies fue registrada precisamente en esta zona. Sin embargo, el paisaje de EMEND es representativo del piedemonte bajo, el cual es una de las principales regiones naturales de la FMA, y por consiguiente las condiciones ambientales allí presentes potencialmente reflejan las condiciones generales del área de manejo. No obstante, se pueden observar algunas zonas con altos valores de riqueza de especies en la región oriental de la FMA, las cuales se localizan en colinas y áreas bajas. Este patrón concuerda con la ocurrencia de especies registrada en zonas con condiciones similares en el paisaje de EMEND, explicando así su distribución potencial. Así, el mapa de riqueza de especies generado mediante este ejercicio es de vital importancia para comenzar a entender los patrones de diversidad en una extensa área geográfica sujeta a complejos gradientes ambientales y a presiones antropogénicas considerables, tales como la extracción de recursos a través de la tala.

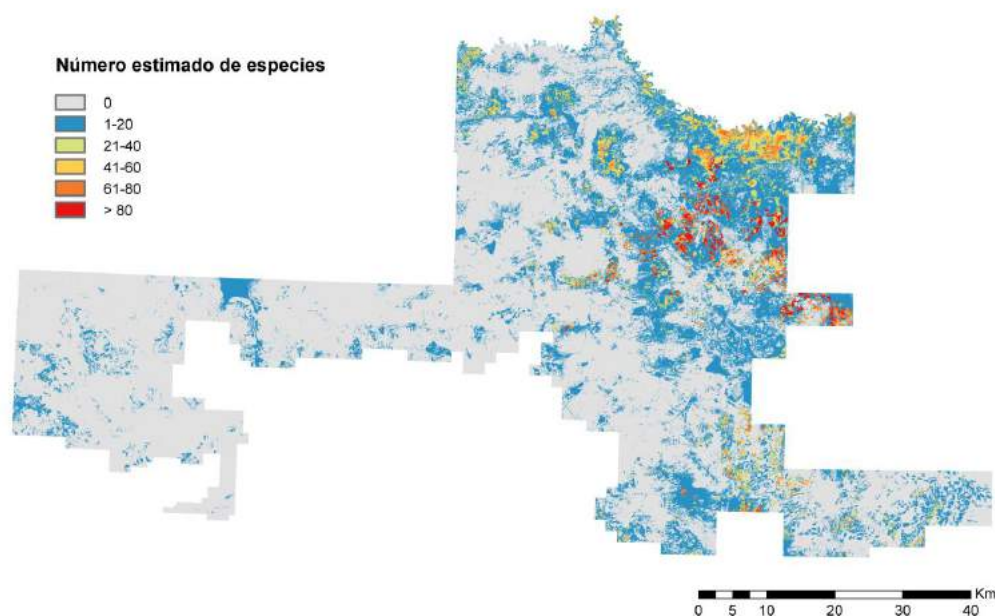


Figura 4. Mapa de *hotspots* de diversidad de arañas del suelo. La intensidad del color representa el número de especies estimadas en cada celda de 20x20 m.

Conclusiones

La capacidad de crear modelos predictivos de distribución geográfica potencial de especies es sin duda de gran relevancia para conocer los requerimientos ambientales de las mismas y por consiguiente significativa para contribuir al conocimiento de su biología. Sin embargo, desde un punto de vista práctico, estos modelos predictivos son fundamentales para la conservación y manejo de una o varias especies en áreas de interés, especialmente en el contexto de perturbaciones antropogénicas. Así, la información ambiental utilizada para la modelación en el presente estudio ha permitido, por ejemplo, estimar la ocurrencia de muchas de las especies observadas en EMEND en zonas apartadas y de difícil acceso dentro de la FMA o de zonas en las cuales hay ausencia de información.

No obstante, cabe resaltar que la escala en la que los modelos son creados influye directamente en las predicciones de ocurrencia, ya que los métodos empleados para investigar la distribución potencial de especies fueron generados para la estimación a escalas muy amplias (Anderson *et al.* 2010). Como consecuencia, aunque la FMA cubre un área suficientemente extensa (aprox. 4400 Km²), ésta fue la razón por la cual se usó una alta resolución espacial (20 x 20 m). Es importante resaltar, sin embargo, que los modelos distribución de especies resultantes en el presente ejercicio deben ser tratados con precaución dada la escala del área de estudio. Adicionalmente, los modelos generados para predecir la distribución potencial de las especies consideradas emplean un número reducido de variables, las cuales generalmente representan parcialmente el nicho ecológico de dichas especies (Araujo *et al.* 2005; Elith *et al.* 2006). Por esta razón, los resultados dependen enteramente de las variables ambientales empleadas para su predicción, lo cual representa una limitante potencial de importancia (Anderson y Raza 2010). Ya sea porque no se incluyeron variables relevantes, o porque la relevancia de ciertas variables se pierde a la escala espacial empleada. Por ejemplo, la precipitación o temperatura media anual son relativamente constantes a lo largo de la FMA y como resultado no fueron escogidas por el modelo, lo cual no necesariamente implica que dichas variables no sean de importancia para predecir ocurrencias a escalas mayores.

Adicionalmente, el número de especies estimadas a lo largo de la FMA, y por ende la distribución y localización de zonas de alta diversidad (*hotspots*), son preliminares. Aunque las ocurrencias de arañas del suelo han sido registradas por 10 años como parte del proyecto EMEND y la información correspondiente al mismo es muy válida y relevante, el área base empleada para la estimación es una fracción muy pequeña de la totalidad del área de la FMA. Esto constituye una limitante importante ya que se pretende modelar la distribución de especies y los patrones de riqueza a partir de información parcial en términos espaciales. Idealmente, las observaciones deberían estar dispersas dentro del área de interés (la FMA) y no concentradas en una zona en particular (EMEND) cubriendo así un área más amplia, lo cual ajusta más apropiadamente los modelos predictivos. Sin embargo, información sobre la ocurrencia de especies de arañas dentro de la FMA, pero fuera del área de EMEND, es completamente ausente.

Estos resultados, por lo tanto, deben ser considerados con precaución y deben ser evaluados sobre la base de la importancia del aprovechamiento forestal como variable, la cual influyó significativamente en la predicción de los modelos de distribución potencial de la mayoría de especies consideradas. Por lo tanto, aunque la modelación es una herramienta eficaz en principio para definir planes de acción, se debe tener en cuenta que los resultados son basados en modelos matemáticos que abstraen condiciones reales muy complejas y por lo tanto dependen en gran medida del tipo de información empelada para la elaboración de los mismos. Sin embargo, este ejercicio no sólo constituye una aproximación inicial para la identificación de áreas prioritarias para conservación de especies de arañas, especialmente en un contexto de manejo forestal, sino también reitera la necesidad de coleccionar información adicional en diferentes zonas de interés, tales como los *hotspots* sugeridos como resultado de este ejercicio.

Agradecimientos

Agradecemos a Scott Nielsen por su invaluable ayuda y discusión durante el análisis de datos. Así mismo, queremos agradecer la ayuda de Rick Pelletier durante las fases iniciales de recopilación y estandarización de datos en ArcGIS. Sin el apoyo de Daishowa-Marubeni International (DMI) y Canadian Forest Products, quienes han financiado en gran parte la colección de datos del proyecto EMEND desde 1999, ejercicios de modelación como el presente serían imposibles. Así mismo, DMI suministró gran cantidad de información geográfica del área de manejo forestal, la cual fue empleada en el presente estudio. Por último, queremos agradecer al sinnúmero de personas que han estado involucradas en el proyecto EMEND durante los últimos 14 años: auxiliares de campo, técnicos de laboratorio, estudiantes de pre y posgrado e investigadores asociados al proyecto.

Literatura Citada

- ANDERSON, R.P.; LEW, D.; PETERSON, A.T. 2003. Evaluating predictive models of species' distributions: Criteria for selecting optimal models. *Ecological Modelling* 162: 211-232.
- ANDERSON, R.P.; MARTÍNEZ-MEYER, E. 2004. Modeling species' geographic distributions for preliminary conservation assessments: An implementation with the spiny pocket mice (*Heteromys*) of Ecuador. *Biological Conservation* 116: 167-179.
- ANDERSON, R.P.; RAZA, A. 2010. The effect of the extent of the study region on GIS models of species geographic distributions and estimates of niche evolution: preliminary tests with montane rodents (genus *Nephelomys*) in Venezuela. *Journal of Biogeography* 37: 1378-1393.
- ARAÚJO, M.B.; PEARSON, R.G.; THUILLER, W.; ERHARD, M. 2005. Validation of species-climate impact models under climate change. *Global Change Biology* 11: 1504-1513.
- CASSINI, M.H. 2011. Ecological principles of species distribution models: the habitat matching rule. *Journal of Biogeography* 38: 2057-2065.
- DONDALE, C.D.; REDNER, J.H. 1978. The insects and arachnids of Canada. Part 5. The crab spiders of Canada and Alaska: Philodromidae and Thomisidae. Agriculture Canada, Ottawa. 255 p.

- DONDALE, C.D.; REDNER, J.H. 1990. The insects and arachnids of Canada. Part 17. The wolf spiders, nurseryweb spiders and lynx spiders of Canada and Alaska: Lycosidae, Pisauridae and Oxyopidae. Agriculture Canada, Ottawa. 383 p.
- ELITH, J.; GRAHAM, C.H.; ANDERSON, R.P. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29: 129-151.
- ESRD. 2012. Alberta vegetation inventory (AVI) crown polygons. <http://www.srd.alberta.ca/MapsPhotosPublications/Maps/ResourceDataProductCatalogue/ForestVegetationInventories.aspx>. Fecha último acceso: 3 octubre 2012.
- ESRI. 2012. ArcGIS Desktop: Release 10.1. Redlands, CA. Environmental Systems Research Institute.
- EVANS, J. 2012. EVANS TNC Modeling Tools: ArcGIS-Geomorphometry and Gradient Metrics Toolbox. <http://www.conserveonline.org/workspaces/emt/documents/all.html>. Fecha última revisión: 2 noviembre 2011. Fecha último acceso: 3 octubre 2012.
- GeoBase. 2012. Canadian digital elevation data. <http://www.geobase.ca/geobase/en/data/cded/index.html>. Fecha última revisión: 2 mayo 2011. Fecha último acceso: 3 octubre 2012.
- HIJMANS, R.J.; CAMERON, S.E.; PARRA, J.L.; JONES, P.G.; JARVIS, A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25: 1965-1978.
- HUTCHINSON, G.E. 1957. Concluding remarks. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology* 22: 415-427.
- LAWLER, J.J.; WIERSMA, Y.F.; HUETTMANN, F. 2011. Using Species Distribution Models for Conservation Planning and Ecological Forecasting. *En: Drew, C.A., Wiersma, Y.F.; Huettmann, F. (Eds.), Predictive species and habitat modeling in landscape ecology: Concepts and Applications*. Springer, New York. pp. 271-290.
- MCCUNE, B.; KEON, D. 2002. Equations for potential annual direct incident radiation and heat load. *Journal of Vegetation Science* 13: 603-606.
- PETERSON, A.T.; SOBERÓN, J.; PEARSON, R.G.; ANDERSON, R.P.; MARTÍNEZ-MEYER, E.; NAKAMURA, M.; ARAÚJO, M.B. 2011. *Ecological Niches and Geographic Distributions (MPB-49)*. Princeton University Press. 328 p.
- PHILLIPS, S. J.; DUDIK, M.; SCHAPIRE, R.E. 2004. A maximum entropy approach to species distribution modeling. *Proceedings of the 21st International Conference on Machine Learning*. ACM Press, New York, pp. 655-662.
- PHILLIPS, S. J.; ANDERSON, R.P.; SCHAPIRE, R.E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190: 231-259.
- PINEDA, E.; LOBO, J. 2009. Assessing the accuracy of species distribution models to predict amphibian species richness patterns. *Journal of Animal Ecology* 78: 182-190.
- PINZON, J. 2011. Composition and structure of spider assemblages in layers of the mixedwood boreal forest after variable retention harvest. PhD dissertation, Department of Renewable Resources, University of Alberta, Edmonton, Canada. 596 p.
- PINZON, J.; SPENCE, J.R.; LANGOR, D.W. 2012. Responses of ground-dwelling spiders to variable retention harvesting practices in the boreal forest. *Forest Ecology and Management* 266: 42-53.
- PINZON, J.; SPENCE, J.R.; LANGOR, D.W. 2013. Effects of prescribed burning and harvesting on ground-dwelling spiders. *Biodiversity and Conservation*. DOI: 10.1007/s10531-013-0489-1.

- PLATNICK, N.I.; Dondale, C.D. 1992. The insects and arachnids of Canada. Part 19. The ground spiders of Canada and Alaska: Gnaphosidae. Agriculture Canada, Ottawa. 297 p.
- ROTEBERRY, J.T.; PRESTON, K.L.; KNICK, S.T. 2006. GIS-Based niche modeling for mapping species' habitat. *Ecology* 87: 1458-1464
- STOCKWELL, D.R.B.; PETERS, D.P. 1999. The GARP modelling system: Problems and solutions to automated spatial prediction. *International Journal of Geographical Information Systems* 13: 143-158.
- URBINA-CARDONA, J.N.; FLORES-VILLELA, O. 2009. Ecological-Niche Modeling and Prioritization of Conservation-Area Networks for Mexican Herpetofauna. *Conservation Biology* 24: 1031-1041.
- WorldClim. 2012. Global Climate Data: Free climate data for ecological modeling and GIS. <http://www.worldclim.org/current>. Fecha último acceso: 3 octubre 2012.

Sistema imunológico em aracnídeos

Pedro Ismael da Silva Junior¹

¹Biólogo, Ph.D. Ciências Biológicas, Laboratório Especial de Toxinologia Aplicada - Instituto Butantan - Av. Vital Brazil, 1500 – São Paulo, Brasil. pisjr@butantan.gov.br

Resumo. Aracnídeos, como todos os invertebrados, estão constantemente expostos a infecções microbianas, e para proteger-se tem desenvolvido poderosos mecanismos de defesa imune semelhante àqueles do sistema imune inato dos vertebrados. Esses mecanismos envolvem respostas celulares e humorais. A resposta imune compreende fagocitose, nodulação e encapsulação dos invasores, a regulação da hemocianina/fenoloxidase para produzir melanina que destrói os patógenos, uma cascata de coagulação para impedir a perda de hemolinfa e imobilizar os invasores e uma produção constitutiva de peptídeos antimicrobianos. Apesar de sua diversidade na sequência de amino ácidos e estrutura, eles compartilham algumas características comuns, tais como um tamanho pequeno (<10 kDa), bem como características catiônicas e anfipáticas. Baseando-se nas características estruturais e composição de amino ácidos, PAMs podem ser agrupados em três classes: (1) PAMs lineares em alfa-hélice e anfipáticos, (2) PAMs com cisteínas e cíclicos ou cíclicos com terminação, e (3) PAMs apresentando uma maior quantidade de um amino ácido em particular. Dependendo do organismo, os PAMs são produzidos constitutivamente e estocados em células secretoras, ou sua síntese é induzida após uma infecção. Na maioria dos insetos, os PAMs têm sua síntese iniciada poucas horas após uma infecção ter ocorrido. Em outros invertebrados, como os caranguejos em forma de ferradura (horseshoe crabs), mexilhões, camarões e aracnídeos, os PAMs são produzidos constitutivamente e armazenados em granulócitos. Até o momento, o sistema imune de aracnídeos tem sido mais bem investigado na aranha *Acanthoscurria gomesiana*. A partir de hemócitos dessa aranha, dois diferentes PAMs foram isolados, gomesina e acanthoscurrina. Ambos são produzidos constitutivamente e estocados nos grânulos dos hemócitos, dos quais são liberados na hemolinfa após uma infecção. Gomesina é um pequeno peptídeo de 18 aminoácidos com duas pontes dissulfeto adotando uma estrutura de grampo e com atividade contra bactérias e fungos. Acanthoscurrina são peptídeos lineares de 10kDa, ricos em glicina e com atividade contra bactérias Gram-negativas e leveduras. Foram isolados e caracterizados recentemente, em hemócitos da aranha *Cupiennius salei*, as ctenidinas. Semelhante às Acanthoscurrinas, foram observadas três isoformas de ctenidinas ricas em glicina. Do plasma da aranha *A. gomesiana* foi isolado um peptídeo antimicrobiano (Rondonina), um fragmento de hemocianina, apresentando atividade antifúngica. Nos últimos anos, PAMs similares têm sido encontrados em outros aracnídeos: carrapatos, opiliões, amblipígio, telifonídeos e escorpiões.

Palavras chaves: Aracnídeos, peptídeos antimicrobianos, gomesina, acanthoscurrina, rondonina.

Summary. Invertebrates are constantly exposed to microbial infections, and to protect themselves they have developed powerful immune defense mechanisms similar to those innate to vertebrates. These mechanisms involve cellular and humoral responses. The immune response comprises phagocytosis, nodulation and encapsulation of invaders, the regulation of hemocyanin/phenoloxidase to produce melanin which destroys pathogens, a clotting cascade to stop hemolymph loss and immobilize invaders and the constitutive production of antimicrobial peptides. Despite their diversity in sequence and structure, they share some common features, such as small size (<10 kDa), as well as cationic and amphipathic properties. Based on structural features and amino acid composition, AMPs are usually grouped into three main classes: (1) linear amphipathic, α -helical AMPs, (2) cyclic or open ended cyclic AMPs containing cysteine, and (3) AMPs with an overrepresentation of particular amino acids. Depending on the organism, AMPs are either constitutively stored within secretory cells, or their synthesis is induced at the time of infection. In most insects, AMP synthesis starts a few hours after an infection has occurred. In other invertebrates, such as horseshoe crabs, mussels, and shrimps, AMPs are constitutively produced and stored in hemocyte granules. Until now, the immune system of arachnids has been well investigated mainly on the spider *Acanthoscurria gomesiana*. From naive hemocytes of this spider, two different AMPs were isolated, gomesin and acanthoscurrins. Both are produced constitutively and stored in granules of hemocytes, from which they can be released into the hemolymph upon infection. Gomesin is a small, 18-residue AMP forming two disulphide bridges and adopting a β -hairpin-like structure active against bacteria and fungi. Acanthoscurrins are glycine-rich AMP active against Gram-negative bacteria and yeast. Similarly, ctenidins, three isoforms of a glycine-rich peptide family, was isolated and characterized of hemocytes of the spider *Cupiennius salei*. Rondonin, a hemocyanin fragment had been observed showing antimicrobial activity in the hemolymph of *A. gomesiana*. In recent years, similar AMPs has been found in others arachnids: ticks, harvestmen, whip spiders, whip scorpion, vinegaroons and scorpions.

Key words: Arachnids, antimicrobial peptides, gomesin, acanthoscurrin, rondonin.

Introdução

Os artrópodes constituem o grupo mais numeroso do Reino Animal, estimando-se que cheguem a alcançar mais de um milhão de espécies. A sua distribuição geográfica é muito ampla devido à grande capacidade adaptativa, reprodutiva e de defesa contra os predadores, estando presente

em todos os ecossistemas e habitats (RUPPERT e BARNES, 2005). Estes animais surgiram no início do Cambriano, e sofreram poucas alterações durante a evolução. No entanto, estão bem adaptados a ambientes inóspitos, com alta presença de microrganismos e parasitas patogênicos. Tais características podem demonstrar que uma das razões do sucesso deste filo seja a capacidade de se defender contra esses patógenos, possuindo um eficiente sistema imunológico (RUPPERT e BARNES, 2005; BARRAVIERA, 1994). É, portanto, claro que os invertebrados devam ter meios eficientes de reconhecer e combater microrganismos potencialmente perigosos.

Aracnídeos

O sistema de defesa dos aracnídeos, assim como nos invertebrados em geral se distingue fundamentalmente daquele dos vertebrados pela ausência de uma memória imunológica e pela falta de imunoglobulinas, moléculas que apresentam alta especificidade contra os invasores. A resposta de defesa dos invertebrados é muito pouco específica e se apoia sobre um sistema de defesa complexo que envolve reações celulares e humorais coordenadas. A hemolinfa nesses organismos, como em todos os artrópodes, desempenha um importante papel. Pode ser considerada como um órgão multifuncional, central para locomoção (Kropf 2013), respiração (Burmester 2013) e nutrição. Na ocorrência de alguma lesão, ocorre não somente a perda imediata de fluido, mas também o ataque de patógenos e assim infecções. Portanto os aracnídeos têm que reagir a injúria impedindo a perda de hemolinfa e também contendo a infecção. Isto é conseguido por um sistema imune inato que envolve vários sistemas de defesa tais como tais como a coagulação da hemolinfa e a produção de uma variedade de substâncias defensivas (Fukuzawa *et al.* 2008). Em aranhas, o sistema imunitário está localizado nos hemócitos, que são derivados a partir de células do miocárdio da parede do coração, onde eles são produzidos como prohemócitos e a partir de onde elas são libertadas como diferentes tipos de células na hemolinfa (Seitz 1972). Eles contribuem para a defesa contra patógenos por fagocitose, nodulação e encapsulamento dos invasores. A resposta humoral inclui mecanismos, que induzem a produção de melanina à destruição de agentes patogênicos, uma cascata de coagulação para parar perda hemolinfa e a produção constitutiva de vários tipos de peptídeos antimicrobianos, que são armazenados em grânulos nos hemócitos e liberado na hemolinfa (Fukuzawa *et al.* 2008).

Hemócitos

Seitz (1972) mostrou que em *Cupiennius salei* (Ctenidae), os hemócitos são formados na parede do coração da aranha, mas não reconheceu a sua função imunológica. Sherman (1973) analisando os hemócitos de *Aphonopelma marxi* (Theraphosidae) percebeu o contexto para a defesa imunológica e de coagulação. Ele também revisou a nomenclatura confusa de células sanguíneas (Sherman 1981) e distinguiu três tipos de hemócitos maduros e um tipo de célula precursora.

- Os granulócitos que contêm vários peptídeos antimicrobianos liberados na hemolinfa durante a desgranulação, para matar agentes patogênicos. Também eliminar os invasores através de fagocitose (Fukuzawa *et al.* 2008).
- Os plasmatócitos, não possuem inclusões granulares, ou seja, o seu citoplasma é geralmente agranular ou finamente granulado e estão envolvidos na fagocitose de agentes patogênicos e na coagulação (Sherman 1981).
- Cyanocytes correspondem a oenocytes (Sherman, 1981). Eles são raros na hemolinfa (<5% de acordo com Millot 1949), mas são freqüentemente encontrados no coração (Sherman 1973). O citoplasma é denso e contém muitos ribossomos e cristais de hemocianina. São responsáveis pela síntese da hemocianina que é liberada na hemolinfa (Kemper 1983).
- prohemócitos são células pequenas, principalmente redondas com um grande núcleo compacto e fino citoplasma homogêneo. Como as células precursoras dos outros hemócitos, são células-tronco (Sherman 1981) e encontram-se principalmente na parede do coração (Seitz 1972; Fukuzawa *et al.* 2008).

Cascata da Fenoloxidase

Quando ocorre uma lesão na cutícula, os hemócitos migram para esse local porta de uma possível infecção. Eles atuam diretamente contra os patógenos por fagocitose, a formação de nódulos onde são aprisionadas as bactérias (Nodulação), e pela formação de cápsulas para prender objetos maiores (encapsulamento de parasitas) provocando a morte destes por asfixia ou por ação de substâncias tóxicas que são liberadas pelos hemócitos dentro dos nódulos ou cápsulas (Fig. 1). É muito comum a melanização desses nódulos e cápsulas para o isolamento dos parasitas. A reação de melanização, que é uma resposta comum à invasão de parasitas nos invertebrados, principalmente nos artrópodes, é devida a atividade da fenoloxidase. Esta enzima é parte de um complexo sistema de proteases, proteínas de reconhecimento e inibidores de proteases, constituindo o conhecido sistema ativador da pro-fenoloxidase (Fig. 2). É um sistema de reconhecimento “nonsel” porque a conversão de pró-fenoloxidase na enzima ativa pode ser desencadeada por minúsculas quantidades de lipopolissacarídeos, peptidoglicanos e β -1, 3-glucanos característicos dos microrganismos (Söderhäll & Cerenius, 1998).

Coagulação

Ao lado da ativação da pró-fenoloxidase que é desencadeada imediatamente após um ferimento ou penetração de algum organismo invasor, outra reação que muitas vezes ocorre, é a coagulação da hemolinfa. Esse fenômeno vem sendo pouco estudado em insetos, no entanto em *Limulus* (Chelicerata) é conhecido que a coagulação é ativada por uma cascata de serino-proteases,

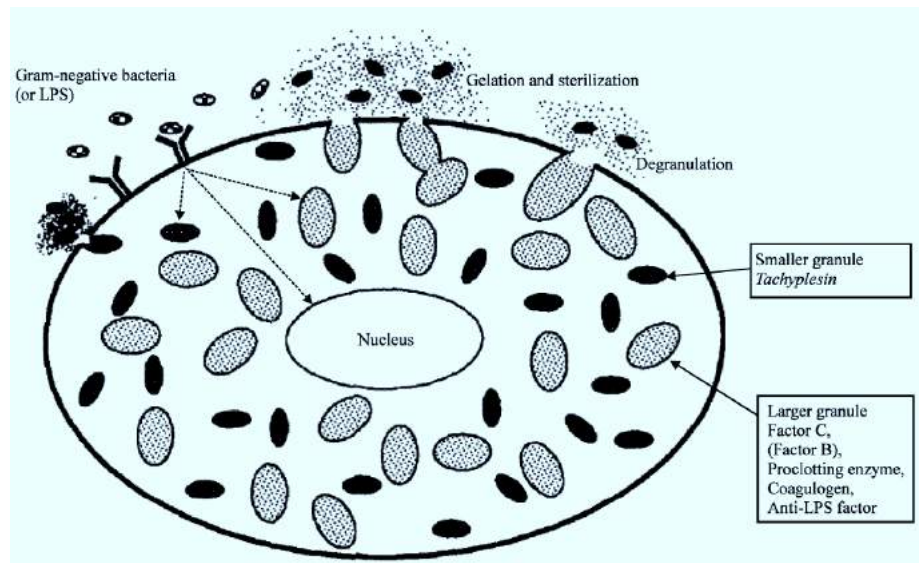


Figura 1 – A figura ilustra como os hemócitos agem contra microrganismos invasores. A endotoxina bacteriana (lipopolisacarídeo (LPS)) ao primeiro contato com uma proteína receptora/ligante de LPS, que está provavelmente localizada na membrana plasmática da célula. Através desse contato, algumas reações celulares são desencadeadas induzindo a fusão de grânulos à membrana plasmática, resultando na dispersão dos componentes dos grânulos grandes no plasma. Esta exocitose ativa o sistema intracelular de coagulação e o coágulo gerado durante a ativação imobiliza os agentes invasores. Peptídeos antimicrobianos e fatores anti-LPS são liberados de grânulos menores e grânulos maiores, respectivamente, agindo como substâncias bactericidas (John *et al.*, 2010).

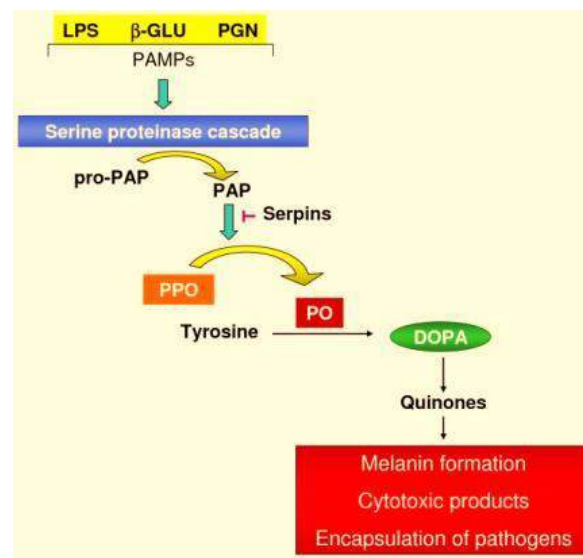


Figura 2 – Uma cascata de serino protease é ativada quando diferentes receptores reconhecem modelos moleculares associados a patógenos. Essas serino proteases hidrolisam e ativam precursores de proteases ativadoras de “prophenoloxidase” (proPAP) em proteases ativadoras de “prophenoloxidase” (PAP) que podem ser inibidas por serpinas (inibidores de proteases). A enzima PAP hidrolisa a “prophenoloxidase” (PPO) liberando a “phenoloxidase” (PO). PO oxida a tirosina para “dihydroxyphenylalanine” (DOPA) e subsequentemente para quinona, precursor de melanina, produtos citotóxicos e a encapsulação.

semelhante aquela da pró-fenoloxidase (Fig. 3). Todos os componentes da reação de coagulação de *Limulus* já foram caracterizados a nível molecular (Iwanaga *et al.* 1998). Essas proteases possuem funções homólogas aos componentes do sistema de complemento e aos fatores de coagulação dos mamíferos. Essas informações sugerem que todas essas cascatas proteolíticas podem ter uma origem comum (Iwanaga *et al.* 1998).

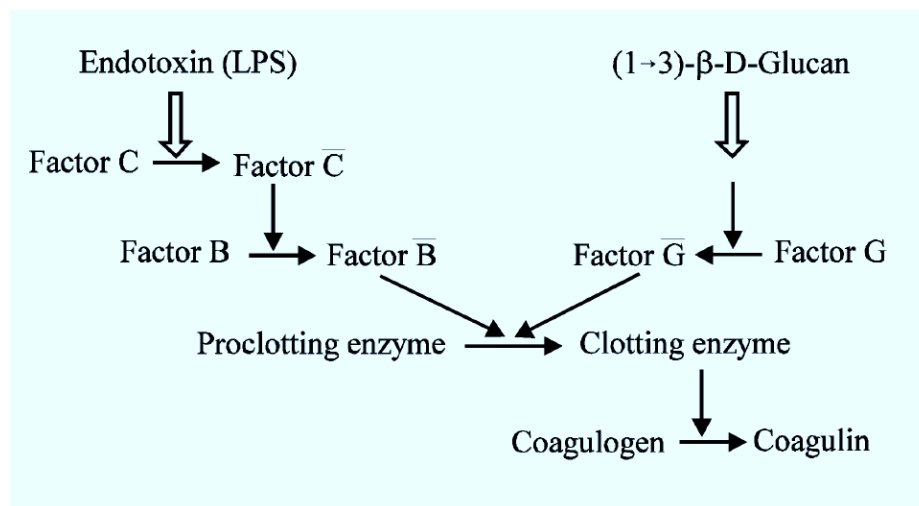


Figura 3 – Cascata de coagulação da hemolinfa de *Tachypleus tridentatus*. Uma cascata de serino-proteases é ativada quando diferentes receptores reconhecem modelos moleculares (John *et al.*, 2010).

Na figura 4 temos uma sumarização do que se e conhecido hoje dos componentes envolvidos no sistema imune inato em aranhas e provavelmente em todos os aracnídeos.

Peptídeos antimicrobianos

Muitas proteínas e peptídeos, induzíveis ou constitutivos, com atividade contra diferentes tipos de microrganismos, foram encontrados em quase todos os grupos de animais. Uma considerável variedade de peptídeos, apresentando diferentes estruturas está associada à atividade antimicrobiana em eucariotos. A classificação mais atual considera a estrutura terciária: 1) proteínas e peptídeos lineares (randômicos) ricos em um ou mais tipos de aminoácidos, principalmente prolina ou glicina; 2) proteínas e peptídeos lineares que não possuem resíduos de cisteínas em sua sequência e que formam alfa-hélice; 3) proteínas e peptídeos cíclicos (com cisteínas em sua sequência) apresentando estruturas alfa-hélice e folha beta pregueada (Andreu & Rivas 1998; Bulet 1999). Considerando que recentemente foram isolados e caracterizados peptídeos com cisteína que apresentam uma estrutura cíclica com terminação fechada (Tang *et al.* 1999) será necessário fazer alterações à classificação feita por Andreu y Rivas (1998) e Bulet (1999) apresentada acima.

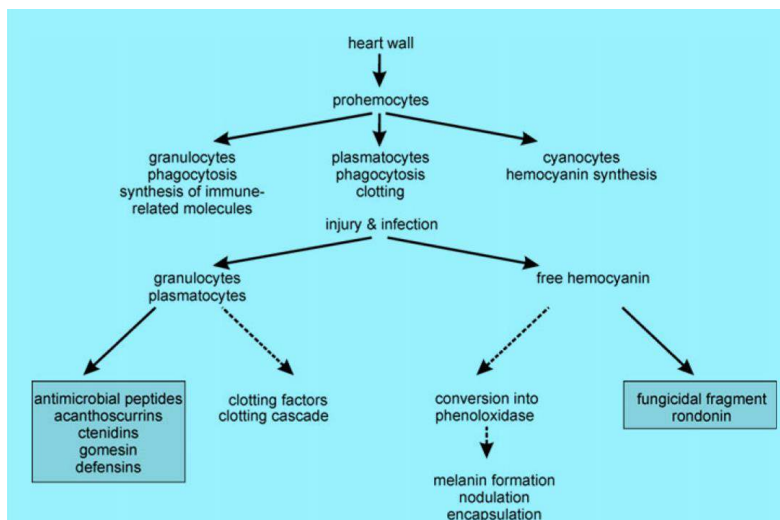


Figura 4 – Esquema do sistema imune de aranhas: origem e função dos hemócitos (parte superior) e reação a uma injúria e infecção por invasão microbiana (parte inferior). A reação das aranhas a uma injúria e infecção ainda não está bem investigada e somente os componentes assinalados já foram detectados nos hemócitos ou na hemolinfa de aranhas, enquanto as vias envolvidas na cascata de coagulação e formação de melanina foram observadas nos limulídeos (Kuhn-Nentwig e Nentwig, 2013).

Os peptídeos antimicrobianos são tipicamente moléculas anfipáticas positivamente carregadas compostas de 12 a 45 resíduos de aminoácidos. O principal modo de ação destas moléculas é através do aumento da permeabilidade da membrana plasmática (Andreu y Rivas 1998; Hancock y Lehrer 1998). Uma correlação direta entre o efeito antibiótico e a habilidade de permeabilização foi encontrado para defensinas, magaininas, cecropinas, battenecinas e dermaseptinas, entre outras (Andreu y Rivas 1998). A primeira etapa no mecanismo de ação seria a interação eletrostática entre o peptídeo positivamente carregado e os componentes negativamente carregados da membrana do microrganismo e/ou parasita. Em uma etapa posterior, a interação entre a porção apolar da membrana das células e os resíduos hidrofóbicos das proteínas e peptídeos antimicrobianos culminariam na permeabilização das membranas.

Embora a maioria das proteínas e peptídeos antimicrobianos descritos sejam fortemente positivos, foram descritos alguns peptídeos antimicrobianos negativamente carregados muito ativos e, provavelmente nestes casos, um modo diferente de ação possa estar envolvido (Andreu y Rivas 1998).

Peptídeos antimicrobianos estão amplamente distribuídos nos organismos. A ampla ocorrência dessas substâncias sugere que elas desempenham um papel importante na imunidade inata contra microrganismos e outros patógenos (Boman 1995; Ganz y Lehrer 1999; Hoffmann *et al.* 1999). Nos artrópodes, as proteínas e os peptídeos antimicrobianos têm sido estudados principalmente em insetos, crustáceos e limulídeos. Nos insetos, os genes codificadores das

proteínas e peptídeos antimicrobianos são induzidos por infecção e após algumas horas essas macromoléculas são secretadas no plasma (Hoffmann *et al.* 1996; Engström 1998; Manetti *et al.* 1998). Já em alguns crustáceos tais como o camarão *Penaeus vannamei* (Destoumieux *et al.* 2000), as proteínas e peptídeos antimicrobianos são sintetizados constitutivamente e ficam armazenados nos grânulos dos hemócitos. Nestes, a presença de organismos invasores induz a liberação destas moléculas para o plasma.

Nos últimos 20 anos, diversos desses peptídeos antimicrobianos foram isolados e caracterizados em invertebrados incluindo representantes de duas classes de quelicerados: limúlídeos (merostomata) (Iwanaga *et al.* 1998), escorpiões (arachnida) (Cociancich *et al.* 1993; Ehret-Sabatier *et al.* 1996) e carrapatos (arachnida) (Johns *et al.* 1998; Fogaça *et al.* 1999). Os hemócitos dos limúlídeos contêm vários peptídeos positivamente carregados ricos em cisteína (taquiplesina, polifemusina, taquicitina, taquistatina e "big-defensina") com efeitos inibitórios sobre o crescimento de bactérias Gram-positivas e Gram-negativas e fungos. As taquiplesinas e polifemusinas estão localizadas em pequenos grânulos nos hemócitos, onde estão também as taquicitinas e as taquistatinas, enquanto que os fatores anti-LPS e D são encontrados nos grânulos grandes e a "big-defensina" em ambos os tipos de grânulos (Iwanaga *et al.* 1998). Além deste grupo de quelicerados, diversas proteínas e peptídeos antimicrobianos foram caracterizados na hemolinfa dos escorpiões. Foi caracterizado na hemolinfa dos escorpiões *Leiurus quinquestriatus*, não submetidos a desafio bacteriano, uma molécula semelhante as defensinas de insetos e com atividade contra bactérias Gram-positivas (Cociancich *et al.* 1993). Em *Androctonus australis*, também não submetidos a desafio bacteriano, três distintos peptídeos antimicrobianos foram caracterizados na hemolinfa: androctonina, butinina e uma defensina (Ehret-Sabatier *et al.*, 1996). A defensina é semelhante a defensina encontrada em *L. quinquestriatus*. Androctonina é um peptídeo com 25-resíduos de aminoácidos e quatro resíduos de cisteína, ativo contra bactérias Gram-positivas, Gram-negativas e fungos. Androctonina mostra similaridade na seqüência com taquiplesinas e polifemusinas. O outro peptídeo, a butinina, apresenta 34 resíduos de aminoácidos com três pontes dissulfeto, não mostrando similaridade com qualquer seqüência conhecida de peptídeos antimicrobianos. Enquanto que a defensina e a androctonina são ativas contra fungos e bactérias, a butinina apresenta somente atividade antibacteriana.

Em carrapatos foram isolados dois fatores antibacterianos da hemolinfa de *Dermacentor variabilis* que apresentam atividade contra bactérias Gram-positivas. A concentração desses fatores é aumentada por infecção bacteriana. Um desses fatores apresenta massa de 14,5 kDa e apresenta semelhanças com lisozima (Johns *et al.*, 1998).

No carrapato do boi *Boophilus microplus* foi detectada atividade antibacteriana e antifúngica na hemolinfa e no conteúdo intestinal de animais não desafiados por infecção bacteriana. No plasma foi identificado um fator antibacteriano com 10 kDa de massa molecular sem similaridade na sua seqüência N-terminal com outras moléculas antimicrobianas. Um dos fatores responsáveis por essa atividade no conteúdo intestinal é um peptídeo com massa molecular de 3,2 kDa e seu sequenciamento revelou que se tratava do fragmento 33-61 da cadeia

α da hemoglobina bovina (Fogaça *et al.* 1999). Esse fragmento com atividade antimicrobiana parece ser gerado no intestino dos carrapatos por clivagem enzimática da hemoglobina bovina. Como durante a alimentação sanguínea esses animais ficam susceptíveis a infecções pelas bactérias presentes no couro do bovino e/ou que infectem o animal, a clivagem da hemoglobina gerando fragmentos com atividade antimicrobiana torna-se importante para a proteção dos carrapatos.

Embora existam muitos trabalhos sobre a resposta imunológica em artrópodes, eles estão praticamente restritos aos insetos, crustáceos e limulídeos. Poucos são os estudos com aracnídeos (Silva *et al.* 2000; Lorenzini *et al.* 2003; Baumann *et al.* 2010a, b). Nos últimos anos temos estudado principalmente os peptídeos antimicrobianos em aracnídeos. No plasma de aranhas caranguejeiras do gênero *Acanthoscurria* encontramos dois peptídeos “*Theraphosinina*” (*A. gomesiana*) e “*Rondonina*” (*A. rondoniae*). *Theraphosinina*, um peptídeo de 4052,5 Da que apresenta atividade contra *Micrococcus luteus* e sem similaridade com outros peptídeos conhecidos. *Rondonina* um peptídeo com 1236,5 Da com atividade antifúngica que além de estar presente no plasma de *A. rondoniae* também foi observado no plasma de outros theraphosídeos como *A. gomesiana*, *Vitalius wacketi*, *Nhandu coloratovilosum*, *Lasiodora parahybana*. A sequência de aminoácidos deste pequeno peptídeo (IIIQYEGHKH) corresponde ao fragmento C-terminal da subunidade ‘d’ da hemocianina identificada a partir de *Acanthoscurria gomesiana* and *Aphonopelma hentzi* (Riciluca *et al.* 2012).

Nos hemócitos da aranha *A. gomesiana* isolamos e caracterizamos dois peptídeos. A gomesina e um pequeno peptídeo cíclico de terminação aberta composto por 18 aminoácidos (2,3 kDa) isolado de hemócitos de *Acanthoscurria gomesiana* (Silva *et al.* 2000). Esse peptídeo forma duas pontes dissulfeto internas e adota uma conformação “beta-hairpin”, lembrando peptídeos antimicrobianos de outros aracnídeos (tachyplesina e polyphemusina de limulídeos e, androctonina de escorpiões). Gomesina é expresso constitutivamente e, estocado nos grânulos e liberados na hemolinfa após uma estimulação por lipopolissacarídeos (Fukuzawa *et al.* 2008). Gomesina apresenta amplo espectro de atividade contra bactéria, fungos e também contra células eucarióticas, *Leishmania amazonensis* ou hemáceas humanas (Silva *et al.* 2000). O outro peptídeo encontrado nos hemócitos, a acanthoscurrina, um peptídeo rico em glicina, que apresenta duas isoformas com 10132,4 e 10249,1 Da. Este peptídeo tem atividade contra *Escherichia coli* e *Candida albicans* e apresenta grande similaridade com proteínas antifúngicas de insetos e também com proteínas relacionadas com a defesa em plantas. Acanthoscurrinas são constitutivamente expressas nos hemócitos, estocadas em seus grânulos e liberadas na hemolinfa no momento de uma infecção (Lorenzini *et al.* 2003; Fukuzawa *et al.* 2008).

Em *Cupiennius salei* três isoformas foram isoladas, as quais apresentam atividade contra as bactérias Gram-negativa *E. coli*, mas não contra a Gram-positiva *Staphylococcus aureus* nem contra *Candida albicans*. Ensaios mostraram que esses peptídeos constitutivamente expressos nos hemócitos e são bacteriostáticos (Baumann *et al.* 2010b).

Moléculas similares a gomesiana e acanthoscurrina também foram observadas nas aranhas caranguejeiras *A. rondoniae*, *Vitalius wacketi*, *Nhandu coloratovilosum*, *Lasiodora parahybana*, *Grammostola pulchra*, *Avicularia juruensis*, na araneomorphae *Phoneutria nigriventer*, além de *Heterophrynus longicornis* (Amblypygi) e *Mastigoproctus maximus* (thelyphonida).

Além dos peptídeos encontramos nos hemócitos de aracnídeos a Migalina, uma acilpoliamina isolada de hemócitos de aranhas migalomorfas e araneomorfas (Baumann 2009; Pereira *et al.* 2007). Esse composto foi identificado como um bis-acilpoliamina com uma massa molecular de 417Da. Migalina é ativa contra bactérias Gram-negativas. Essa molécula tem sua atividade inibida por catalase o que pode indicar que em seu mecanismo de ação pode estar envolvido a produção de peróxido de hidrogênio. A migalina também é encontrada *A. rondoniae*, *Vitalius wacketi*, *Nhandu coloratovilosum*, *Lasiodora parahybana*, *Grammostola pulchra*, *Avicularia juruensis*, na araneomorphae *Phoneutria nigriventer*, e em *Cupiennius salei* (Kuhn-Nentwig e Nentwig 2013) além de *Heterophrynus longicornis* (Amblypygi) e *Mastigoproctus maximus* (thelyphonida).

Nosso grupo também isolou da hemolinfa de Opilião (*Acustisoma longipes*) um peptídeo antimicrobiano linear constituído de 18 aminoácidos, denominado longipina. Esse peptídeo foi sintetizado, apresentando atividade contra bactérias (Gram-positivas e negativas) e leveduras. Não foram encontrados similares desse peptídeo em outros organismos (Sayegh 2011).

Foram encontrados nas araneomorfas as defensinas, peptídeos pequenos, anfipáticos e ricos em cisteína que são formados por 37 resíduos de aminoácidos. Esses peptídeos exibem seis conservadas cisteínas seguindo um arranjo comum as defensinas de artrópodes (C1–C4, C2–C5, C3–C6), que as caracterizam como membros de uma grupo ancestral de defensinas de invertebrados (Froy and Gurewitz 2003). Defensinas apresentam atividade contra bactérias Gram-positivas. Esses peptídeos são conhecidos em diversos grupos de aranhas araneomorfas: Araneidae (*Argiope* sp.), Tetragnathidae (*Meta menardi*), Agelenidae (*Tegenaria atrica*), Sparassidae (*Polybetes pythagoricus*), and Ctenidae (*Cupiennius salei* e *Phoneutria reydya*). Em *C. salei*, as defensinas são constitutivamente expressas não somente nos hemócitos, mas também em vários tecidos. Análises de uma biblioteca de cDNA de hemócitos do terafosídeo *Acanthoscurria gomesiana* (Lorenzini *et al.* 2006), até o momento nenhuma defensina foi encontrada nas aranhas migalomorfas.

Referências bibliográficas

- ANDREU, D.; RIVAS, L. 1998. Animal antimicrobial peptides: an overview. *Biopolymers* 47 (6): 415-433.
- BARRAVIERA, B. 1994. Venenos animais: uma visão integrada. Rio de Janeiro, RJ: Editora de Publicações Biomédicas 411 p.
- BAUMANN, T. 2009. Immune defence of *Cupiennius salei*. Ph.D. thesis, University of Bern

- BAUMANN, T.; KAMPFER, U.; SCHURCH, S.; SCHALLER, J.; LARGIADER, C.; NENTWIG, W.; KUHN-NENTWIG, L. 2010a. Ctenidins: antimicrobial glycine-rich peptides from the hemocytes of the spider *Cupiennius salei*. *Cell. Mol. Life Sci* 67: 2787-2798.
- BAUMANN, T.; KUHN-NENTWIG, L.; LARGIADER, C.; NENTWIG, W. 2010b. Expression of defensins in noninfected araneomorph spiders. *Cell. Mol. Life Sci* 67: 2643-2651.
- BOMAN, H. G. 1995. Peptide antibiotics and their role in innate immunity. *Annu. Rev. Immunol.* 13: 61-92.
- BULET, P.; HETRU, C.; DIMARCO, J. L.; HOFFMANN, D. 1999. Antimicrobial Peptides in Insects; Structure and Function. *Dev. Comp. Immunol.* 23 (4-5) : 329-44.
- BURMESTER, T. 2002. Origin and evolution of arthropod hemocyanins and related proteins. *J Comp Physiol B* 172:95-107. doi:10.1007/s00360-001-0247-7
- BURMESTER, T. 2013. Evolution and adaptation of hemocyanin within spiders. In: Nentwig W (ed) *Spider ecophysiology*. Springer, Heidelberg.
- COCIANCICH, S.; GOYFFON, M.; BONTEMS, F.; BULET, P.; BOUET, F.; MÉNEZ, A.; HOFFMAN, J. 1993. Purification and characterization of a scorpion defensin, a 42kDa antibacterial peptide presenting structural similarities with insect defensins and scorpion toxins. *Biochem. Biophys. Res. Comm.* 194 (1):1 7-22.
- DECKER, H.; RIMKE, T. 1998. Tarantula hemocyanin shows phenoloxidase activity. *J Biol Chem* 273: 25889-25892
- DECKER, H.; TUCZEK, F. 2000. Tyrosinase/catecholoxidase activity of hemocyanins: structural basis and molecular mechanism. *Trends Biochem Sci* 25: 392-397.
- DESTOUMIEUX, D.; MUÑOZ, M.; COSSEAU, C.; RODRIGUEZ, J.; BULET, P.; COMPS, M.; BACHÈRE, E. 2000. Penaeidins, antimicrobial peptides with chitin-binding activity, are produced and stored in shrimp granulocytes and released after microbial challenge. *J Cell Sci.*, 113 (Pt 3): 461-469.
- EHRET-SABATIER, L.; LOEW, D.; GOYFFON, M.; FEHLBAUM, P.; HOFFMANN, J. A.; VAN DORSSELAER, A.; BULET, P. 1996. Characterization of novel cysteine-rich antimicrobial peptides from scorpion blood. *J. Biol. Chem.* 47 (504): 29537-20544.
- ENGSTROM, Y. 1998 insect immune gene regulation. pp. 211-244. In: *Molecular Mechanisms of Immune Responses in Insects* (ed. P.T. Brey and D. Hultmark). London: Chapman & Hall.
- FROY, O.; GUREWITZ, M. 2003. Arthropod and mollusk defensins-evolution by exon-shuffling. *Trends Gen* 19: 684-687.
- FUKUZAWA, A. H.; VELLUTINI, B. C.; LORENZINI, D. M.; SILVA, P. I. JR; MORTARA, R. A.; DA SILVA J. M. C.; DAFFRE, S. 2008. The role of hemocytes in the immunity of the spider *Acanthoscurria gomesiana*. *Dev Comp Immunol* 32: 716-725.
- GANZ, T.; LEHRER, R. I. 1999. Antibiotic peptides from higher eukaryotes: biology and applications. *Mol. Med. Today* 5: 2 92-297.
- HOFFMANN, J. A.; KAFATOS, F. C.; JANEWAY, C. A.; EZEKOWITZ, R. A. 1999. Phylogenetic Perspectives in Innate Immunity. *Science* 284: 1313-1318.
- HOFFMANN, J. A.; REICHHART, J. M.; HETRU, C. 1996. Innate immunity in higher insects. *Curr. Opin. Immunol.* 8: 8-13.
- IWANAGA, S.; LEE, B. L. 2005. Recent advances in the innate immunity of invertebrate animals. *J. Biochem. Mol. Biol.* 38: 128-50.
- JAENICKE, E.; DECKER, H. 2004. Functional changes in the family of type 3 copper proteins during evolution. *Chembiochem* 5: 163-169. doi:10.1002/cbic.200300714.

- KAWABATA, S. 2010. Immunocompetent molecules and their response network in horseshoe crabs. *Adv Exp Med Biol* 708: 122-136.
- KAWABATA, S., OSAKI, T., IWANAGA, S. 2002. Innate immunity in the horseshoe crab. In: Ezekowitz.
- EZEKOWITZ, R. A. B.; HOFFMANN, J. A. (Eds.) 2003. Infectious disease: innate immunity. Humana, New York., pp 287-303. 410 p.
- IWANAGA, S.; KAWABATA, S. I.; UTA, T. 1998. New types of clotting factors and defense molecules found in Horseshoe Crab hemolymph: Their structures and functions. *J. Biochem.* 123: 1-15.
- JOHNS, R.; SONENSHINE, D. E.; HYNES, W. L. 1998. Control of bacterial infections in the hard tick *Dermacentor variabilis* (Acari: Ixodidae): evidence for the existence of antimicrobial proteins in tick hemolymph. *J. Med. Entomol.* 35 (4): 458-464F.
- KEMPER, B. 1983 Site of hemocyanin biosynthesis in the tarantula *Euryplema californicum*. *Naturwissenschaften* 70: 255-256.
- KROPF, C. 2013 Hydraulic system of locomotion. In: Nentwig W (ed) *Spider ecophysiology*. Springer, Heidelberg .
- KUHN-NENTWIG, L.; LARGIADER, C. R.; STREITBERGER, K.; CHANDRU, S.; BAUMANN, T.; KAMPFER, U.; SCHALLER, J.; SCHURCH, S.; NENTWIG, W. 2011. Purification, cDNA structure and biological significance of a single insulin-like growth factor-binding domain protein (SIBD-1) identified in the hemocytes of the spider *Cupiennius salei*. *Insect Biochem. Mol. Biol.* 41: 891-901.
- LORENZINI, D. M.; DA SILVA, P. I., FOGAÇA, A. C., BULET, P., DAFFRE, S. 2003. Acanthoscurrin: a novel glycine-rich antimicrobial peptide constitutively expressed in the hemocytes of the spider *Acanthoscurria gomesiana*. *Dev. Comp. Immunol.* 27: 781-791.
- LORENZINI, D. M.; DA SILVA, P. I. JR; SOARES, M. B.; ARRUDA, P.; SETUBAL, J.; DAFFRE, S. 2006. Discovery of immune-related genes expressed in hemocytes of the tarantula spider *Acanthoscurria gomesiana*. *Dev Comp Immunol* 30: 545-556.
- MAFRA, D. G.; DA SILVA, P. I. JR; GALHARDO, C. S.; NASSAR, R.; DAFFRE, S.; SATO, M. N.; BORGES, M. M. 2012. The spider acylpolyamine mygalin is a potent modulator of innate immune responses. *Cell Immunol.* 275: 5-11.
- MANETTI, A. G. O.; ROSETO, M.; MARCHINI, M. 1998 Antibacterial peptides of the insect reproductive tract. pp. 67-91. In: *Molecular Mechanisms of Immune Responses in Insects* (ed. P.T. Brey and D. Hultmark), London: Chapman & Hall.
- MATSUDA, Y.; OSAKI, T.; HASHII, T.; KOSHIBA, T.; KAWABATA, S. 2007. A cysteine-rich protein from an arthropod stabilizes clotting mesh and immobilizes bacteria at injury sites. *J. Biol. Chem.* 282: 33545-33552.
- MILLOT, J. 1949. Appareil circulatoire. In: Grasse, P. (ed). *Traite' de Zoologie*, vol VI. Masson, Paris, pp. 639-646.
- NAGAI, T.; KAWABATA, S. 2000. A link between blood coagulation and prophenol oxidase activation in arthropod host defense. *J. Biol. Chem.* 275: 29264-29267.
- NAGAI, T.; OSAKI, T.; KAWABATA, S. 2001. Functional conversion of hemocyanin to phenoloxidase by horseshoe crab antimicrobial peptides. *J. Biol. Chem.* 276: 27166-27170.
- NENTWIG, W. 2012. The species referred to as *Euryplema californicum* (Theraphosidae) in more than 100 publications is likely to be *Aphonopelma hentzi*. *J. Arachnol.* 40: 128-130.

- NENTWIG, L. K.; NENTWIG, W. 2013. The Immune System of Spider. In: Nentwig, W. Spider Ecophysiology. Bern: Springer p. 82.
- OSAKI, T.; KAWABATA, S. 2004. Structure and function of coagulogen, a clottable protein in horseshoe crabs. *Cell Mol Life Sci* 61: 1257-1265.
- PEREIRA, L. S.; SILVA, P. I. JR; MIRANDA, M. T.; ALMEIDA, I. C.; NAOKI, H.; KONNO, K.; DAFFRE, S. 2007. Structural and biological characterization of one antibacterial acylpolyamine isolated from the hemocytes of the spider *Acanthoscurria gomesiana*. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 352: 953-959.
- RICILUCA, K. C. T.; SAYEGH, R. S. R.; MELO, R. L.; SILVA, P. I. Jr 2012. Rondonin an antifungal peptide from spider (*Acanthoscurria rondoniae*) haemolymph. *Res. Immunol.* 2: 66-71.
- RODRIGUES, E. G.; DOBROFF, A. S.; CAVARSAN, C. F.; PASCHOALIN, T.; NIMRICHTER, L.; MORTARA, R. A.; SANTOS, EL.; FAZIO, M. A.; MIRANDA, A.; DAFFRE, S.; TRAVASSOS, L. R. 2008. Effective topical treatment of subcutaneous murine B16F10-Nex2 melanoma by the antimicrobial peptide gomesin. *Neoplasia* 10:61-68.
- RUPPERT, E. E.; BARNES, R. D. 2005. Zoologia dos invertebrados. 6 th ed. [S. l.] : Saunders College Publishing.
- SAYEGH, R. S. R. 2011. Purificação e caracterização de peptídeos antimicrobianos presentes na hemolinfa de *Acutisoma longipes* (Gonyleptidae; Opiliones). Dissertação apresentada para o programa de pós-graduação interunidades em Biotecnologia USP/ Instituto Butantan/ IPT, para a obtenção do título de mestre em Biotecnologia.
- SEITZ, K. A. 1972. Zur Histologie und Feinstruktur des Herzens und der Haemocytan von *Cupiennius salei* Keys. (Araneae, Ctenidae). *Zool. Jb. Anat.* 89: 351-384.
- SEITZ, K. A. 1976 Zur Feinstruktur der Hautungshamocyten von *Cupiennius salei* Keys (Araneae, Ctenidae). *Zool Jb Anat* 96:280-292.
- SHERMAN, R. G. 1973. Ultrastructurally different hemocytes in a spider. *Can J Zool* 51:1155-1159.
- SHERMAN, R. G. 1981. Chelicerates. In: Ratcliffe, N. A.; Rowley, A. F. (Eds.). *Invertebrate blood cells*, vol 2. Academic, London.
- SILVA, P. I. Jr; DAFFRE, S.; BULET, P. 2000. Isolation and characterization of gomesin, an 18-residue cysteine-rich defense peptide from the spider *Acanthoscurria gomesiana* hemocytes with sequence similarities to horseshoe crab antimicrobial peptides of the tachyplesin family. *J Biol Chem* 275: 33464-33470.
- SOARES, T.; FERREIRA, F. R. B.; GOMES, F. S.; COELHO, L. C. B. B.; TORQUATO, R. J. S.; NAPOLEÃO, T. H.; CAVALCANTI, M. S. M.; TANAKA, A. S.; PAIVA, P. M. G. 2011. The first serine protease inhibitor from *Lasiodora* sp. (Araneae: Theraphosidae) hemocytes. *Prog. Biochem.* 46: 2317-2321.
- SODERHALL, K.; CERENIUS, L. 1998. Role of the prophenoloxidase-activating system in invertebrate immunity. *Curr. Opin. Immunol.* 10: 23-28.
- SOLETTI, R. C.; del BARRIO, L.; DAFFRE, S.; MIRANDA, A.; BORGES, H. L.; MOURA-NETO, V.; LOPEZ, M. G.; GABILAN, N. H. 2010. Peptide gomesin triggers cell death through L-type channel calcium influx, MAPK/ERK, PKC and PI3K signaling and generation of reactive oxygen species. *Chem. Biol. Interact.* 186: 135-143.
- TANG, Y. Q.; YUAN, J.; OSAPAU, G.; OSAPAY, G.; TRAN, D.; MILLER, C. J.; OUELLETTE, A. J.; SELSTED, M. E. 1999. A cyclic antimicrobial peptide produced in primate leukocytes by the ligation of two truncated alpha-defensins. *Science* 1999 Oct 15; 286 (5439): 498-502.

- TRACHSEL, C.; WIDMER, C.; KAMPFER, U.; BUHR, C.; BAUMANN, T.; KUHN-NENTWIG, L.; SCHURCH, S.; SCHALLER, J.; BAUMANN, U. 2012. Structural and biochemical characterization of native and recombinant single insulin-like growth factor-binding domain protein (SIBD-1) from the Central American hunting spider *Cupiennius salei* (Ctenidae). *Proteins* 80: 2323-2329.
- WIRKNER, C.; HUCKSTORF, K. 2013. The circulatory system of spiders. In: Nentwig, W. (ed.) *Spider ecophysiology*. Springer, Heidelberg.

Diagnóstico del estado actual de la fauna de arácnidos y de su gestión en Colombia

Carlos Perafán¹, Alexander Sabogal², Jairo A. Moreno-González³, Andrés García-Rincón⁴, David Luna-Sarmiento⁵, Catalina Romero-Ortíz⁶ y Eduardo Flórez⁷

¹ Biólogo, Estudiante de Doctorado, Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay. caperafanl@gmail.com. ² Biólogo, MSc. Ciencias Agrarias-Entomología, Laboratorio de Artrópodos-Grupo de Biotecnología-CIF-UNAL, Bogotá, Colombia. asabogalg@yahoo.com. ³ Biólogo, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. agarciarinc@gmail.com. ⁴ Biólogo, Universidad del Valle, Sede Melendez, Santiago de Cali, Colombia. hansenochrus@gmail.com. ⁵ Estudiante de Biología, Laboratorio de Sistemática y Biología Comparada de Insectos, Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. quelonetido@gmail.com. ⁶ Bióloga, Est. Maestría en Ciencias-Biología, Laboratorio de Aracnología, Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. surazomus@gmail.com. ⁷ M. Sc., Profesor Asistente, Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. eduardoflorez@yahoo.com

Resumen. En el transcurso de las últimas décadas ha existido un creciente interés por el estudio de los arácnidos en Colombia, que se ha visto reflejado en el aumento de investigaciones sobre su biodiversidad, taxonomía, biología, reproducción, ecología, comportamiento y distribución, consolidándose la aracnología como una línea de investigación en el país. En virtud de lo anterior consideramos necesario analizar el estado de la aracnología colombiana, como una importante herramienta para el desarrollo de la investigación nacional. El presente diagnóstico tiene como objetivos actualizar los valores de diversidad para el país y evaluar diferentes campos del conocimiento, como la valoración de la fauna de arácnidos en los servicios ecosistémicos, su conocimiento taxonómico y biológico, la transmisión del conocimiento, el estado de las colecciones, el estado actual de su conservación, su uso ilegal, tráfico y control, entre otros. Colombia cuenta en la actualidad con 1546 especies, distribuidas en 585 géneros, 102 familias y 11 órdenes. Los valores de riqueza de especies para cada uno de los órdenes son: Amblypygi 12, Araneae 1244, Opiliones 162, Palpigradi 1, Pseudoscorpiones 24, Ricinulei 7, Schizomida 9, Scorpiones 81, Solifugae 4 y Thelyphonida 2. Las investigaciones en el país han estado enfocadas principalmente en la determinación y análisis de la biodiversidad tanto de ecosistemas naturales como intervenidos, y se han desarrollado principalmente sobre la región Andina. Las revisiones taxonómicas y los aportes al conocimiento de su biología son escasas, así como el interés de las instituciones por su trabajo curatorial. Si bien el camino recorrido ha sido próspero y se proyecta un futuro mejor, nuestro conocimiento sobre la aracnofauna es limitado y nos encontramos lejos de comprender la magnitud de nuestra diversidad.

Palabras clave: Arácnidos, actualización, Colombia, conocimiento, diversidad.

Abstract. In the last decades the interest in the study of arachnids has been a growing up in Colombia. This tendency is reflected by the increasing research on biodiversity, taxonomy,

biology, reproduction, ecology, behavior and distribution, consolidating the arachnology as an important scientific specialty in the country. At the present we consider necessary to analyze the state of Colombian arachnology, as an important tool for the national scientific development. The aims of this review are to actualize diversity knowledge in the country and evaluate different fields of knowledge, as the arachnid fauna in ecosystem services, the educational and diffusion aspects, the state of the collections, the current state of conservation, illegal captures, traffic and control, among others. Colombia has 1546 arachnid species, distributed in 585 genera, 102 families and 11 orders. The species richness values for each order are: Amblypygi 12, Araneae 1244, Opiliones 162, Palpigradi 1, Pseudoscorpiones 24, Ricinulei 7, Schizomida 9, Scorpiones 81, Solifugae 4 and Thelyphonida 2. The research in the country have been focused mainly on the determination and analysis of the biodiversity of natural and affected ecosystems, developed mainly in the Andean region. Taxonomic revisions and contributions to their biology are scarce, as well as the interest of the institutions by its curatorial work. Although the development of arachnology has been improved and the expected future is promissory, our knowledge of the arachnids is limited and we are far from understanding the magnitude of our diversity.

Key words: Arachnids, Colombia, diversity, knowledge, update.

Introducción

Los arácnidos constituyen uno de los grupos más abundantes, longevos y diversos sobre la Tierra. Sus adaptaciones fisiológicas, como la producción de seda y veneno, y su cercanía con el hombre, los han convertido en un grupo que desde siempre ha despertado gran curiosidad, fascinación y una dosis de misticismo. Su diversidad cobra mayores valores en las regiones tropicales, aunque no por esto su grado de conocimiento se encuentra directamente relacionado. Están agrupados en once órdenes vivos, todos ellos representados dentro del territorio nacional. En orden descendente de diversidad a nivel mundial se organizan de la siguiente manera: Acari, Araneae, Opiliones, Pseudoscorpiones, Scorpiones, Solifugae, Schizomida, Thelyphonida, Amblypygi, Ricinulei y Palpigradi. Los ácaros y las arañas ocupan la mayor atención. Los primeros a causa de sus efectos negativos sobre la salud humana y las plantas cultivadas, y las segundas por ser las más abundantes, diversas y vistosas entre los órdenes restantes. El estudio de los ácaros es una línea que tradicionalmente se desarrolla por fuera de la aracnología, razón por la cual no nos ocuparemos de ellos.

En Colombia las primeras determinaciones taxonómicas datan de comienzos del siglo XIX, como resultado de las grandes expediciones europeas, y continúan desarrollándose de manera aislada por más de un siglo con el apoyo de investigadores extranjeros. A finales de los años setenta con los aportes de William Eberhard y Nicolás Paz, y a mediados de los ochenta con Eduardo Flórez la aracnología en el país da sus primeros pasos (Sabogal 2010).

Durante las últimas décadas se ha generado un creciente interés por el estudio de los arácnidos en el país, que se ha visto reflejado en el aumento de investigaciones sobre su biodiversidad, taxonomía, biología, reproducción, ecología, comportamiento y distribución, dinámica que conllevó a la conformación en el 2008 del Grupo Colombiano de Aracnología, liderado por el profesor Eduardo Flórez, y adscrito como grupo temático a la Sociedad Colombiana de Entomología, consolidándose de esta forma la aracnología en el país como una línea de investigación.

En razón a las anteriores anotaciones consideramos necesario realizar la presente evaluación del estado del arte de la aracnología colombiana, atendiendo además al compromiso de adherirnos al proyecto de la formulación de la Política Nacional en Gestión de Fauna Silvestre, que se desarrolla actualmente por parte del Ministerio de Medio Ambiente y la Universidad Nacional de Colombia (<http://fauna2013.wordpress.com/>).

Metodología

La información detallada en el presente documento constituye una recopilación de datos basada en la revisión de publicaciones relacionadas con el estudio de los arácnidos en Colombia, consignada en revistas indexadas, de divulgación científica, anales de eventos, trabajos académicos (tesis de pregrado y posgrado), y en el conocimiento empírico de los especialistas sobre cada uno de los taxones.

Los ejes temáticos fueron tomados con base en la plataforma del proyecto Gestión de Fauna Silvestre, enfocados en aquellas áreas de mayor conocimiento e interés.

Resultados y discusión

Diversidad

En total 1546 especies se encuentran registradas hasta el momento para Colombia, distribuidas en 585 géneros y 102 familias. Éste número representa un incremento de cerca del doble de las especies señaladas por Flórez y Sánchez (1995), quienes determinan un valor de 825 especies de arácnidos para todo el país (excepto ácaros), discriminadas en 342 géneros y 73 familias (Tabla 1). Para la mayoría de los órdenes, principalmente para los más diversos, el aumento del conocimiento en el número de especies en los últimos 20 años fue alrededor del 50%. Solamente en Palpigradi los valores permanecieron constantes.

La proporción de los valores oficiales reportados para Colombia respecto a la riqueza mundial es la siguiente (cifras mundiales tomadas de Chapman (2009), Harvey (2011), Zhang (2011) y Platnick (2013)): Ricinulei 12,2 %; Amblypygi 7,5%; Escorpiones alrededor de 5% (podría ubicarse entre los 15 países más diversos); Schizomida alrededor de 4%; Arañas 2,8% (cuarto lugar entre los países neotropicales (Brescovit, com.pers.)); Opiliones 2,5% (ocupa el puesto 12 en el

escalafón de los países con más de 100 especies válidas en el mundo (Kury 2000)); Palpigradi 1,25%; Pseudoscorpiones 0,7% (para Sudamérica se encuentra en el séptimo lugar, después de Brasil, Chile, Argentina, Ecuador, Venezuela y Perú); Solifugae 0,36%; y Thelyphonida 1,9%.

Se destaca el aumento en categorías taxonómicas superiores para algunos de los órdenes. Flórez y Sánchez (1995) registraron 49 familias y 249 géneros de arañas, las cuales aumentaron en la revisión de Sabogal (2010) a 67 y 392 respectivamente. En la presente actualización se rectifican estos valores aumentado a 554 los géneros, con base en los nuevos registros y el análisis de la triangulación de especies publicadas en el Catálogo Mundial de Arañas (Platnick 2013). Adicionalmente se corrobora la presencia de la familia Paratropididae (Perafán y Galvis, en preparación), triangulada por Sabogal en el 2010. Los opiliones también presentan un aumento considerable en el número de familias, de 8 registradas en 1995 por Flórez y Sánchez, pasaron en la actualidad a 15.

Los esquizómidos, pseudoescorpiones y escorpiones tuvieron un aumento considerable en el número de géneros, de tener 1, 9 y 10 géneros reportados, pasaron a 5, 21 y 14, respectivamente. Una lista con las familias actualizadas y los valores de diversidad se presenta en el Anexo 1.

Tabla 1. Comparación de la diversidad actual para cada uno de los órdenes en Colombia respecto a los valores de diversidad mundial y los encontrados por Flórez y Sánchez en 1995.

Orden	Diversidad mundial	Diversidad Colombia	Actual de		Diversidad de Colombia Flórez y Sánchez 1995		
	Especies	Especies	Géneros	Familias	Especies	Géneros	Familias
Amblypygi	161*	12	4	2	5	4	1
Araneae	43678 ⁺	1244	554	66	680	249	49
Opiliones	6500 ^v	~162	~80	15	77	63	8
Palpigradi	82*	1	1	1	1	1	1
Pseudoscorpiones	3454 [^]	24	21	7	9	9	6
Ricinulei	58*	7	1	1	4	1	1
Schizomida	260*	9	5	1	3	1	1
Scorpiones	1947*	81	14	5	41	10	4
Solifugae	1113*	4	3	2	3	3	1
Thelyphonida	110*	2	2	1	1	1	1
Total	~ 57126	1546	685	102	825	342	73

*Zhang (2011); ⁺Platnick (2013); ^vChapman (2009); [^]Harvey (2011)

Las cifras de endemismo para el país son relativamente altas. Entre los grupos más diversos los escorpiones presentan los valores más altos, con 63 especies, que corresponde al 78% del total de especies registradas. Le siguen las arañas, con 393 especies, que corresponde a un 32% (Sabogal 2010), y los opiliones, de los cuales se estima que un 20% de las especies son

endémicas. Para los grupos con menor diversidad las cifras son las siguientes: Amblypygi 33,3%; Pseudoscorpiones 37,5%; Schizomida 77,7 %; y Ricinulei y Thelyphonida 100%.

Los valores actuales de diversidad pueden ascender fácilmente en un 50% al incluir las especies descritas para los países limítrofes, y una completa revisión de los ejemplares depositados actualmente en las colecciones zoológicas del país podría aumentarlos en algo más de una tercera parte.

Para Schizomida Moreno-González, Luna-Sarmiento y Villareal (2011) encontraron que existen no menos de 33 nuevas especies no descritas para el territorio nacional; 19 para la región Andina, 5 para la región Pacífica; y 2 para la Orinoquía. Luna-Sarmiento y Romero-Ortíz estiman al menos 40 especies de seudoescorpiones únicamente en los ejemplares depositados en el Instituto de Ciencias Naturales, y calculan más de 100 especies para el territorio nacional. Para escorpiones Flórez estima el doble de las especies registradas, pudiendo ascender esta cifra a 200, donde las áreas que albergan la mayor cantidad de especies por describir serían en su orden la Amazónica, Orinocense, Pacífica y Atlántica. García-Rincón y Kury (com. pers.) estiman entre 400 y 500 especies de opiliones para Colombia. Para Amblypygi, Ricinulei, Solifugae, Schizomida y Thelyphonida no es posible hacer una estimación.

Las estimaciones para las arañas podrían ser más arriesgadas. Las determinaciones a niveles específicos en los estudios de diversidad son aún incipientes, y las revisiones taxonómicas muy escasas. Tal vez conocemos sólo cerca de un 10% de las especies que existen en el país. Coddington y Levi (1991) estimaron 170000 especies de arañas para todo el mundo, y en la actualidad Platnick (2013) registra 43678 especies en el catálogo de especies mundiales. Podemos suponer que algo más de una cuarta parte de la diversidad mundial es conocida. En las estimaciones hechas por Coddington y Levi (1991) ellos predicen además que el 80% de la araneofauna desconocida se concentra particularmente en los bosques tropicales, con lo que podríamos asumir que las estimaciones para el país deberían ser muy altas.

La incertidumbre es aún grande, y nuestro conocimiento de la aracnofauna escaso. Como sucede con la mayoría de los grupos biológicos, en Colombia la mayor parte de los trabajos se han desarrollado sobre la región Andina, principalmente en los departamentos del Valle del Cauca, Cundinamarca y Antioquia. Este escenario sumado a las valoraciones anteriores y a que Colombia se encuentra en una de las regiones más biodiversas del planeta (Mittermeier y Goettsch 1997), donde se concentra la mayor cantidad de artrópodos (Erwin 1982; Erwin 1991), nos lleva a considerar que estamos lejos de comprender la magnitud de nuestra diversidad de arácnidos.

Bienes y servicios

Los arácnidos por su abundancia, y la mayoría de ellos por su carácter depredador, constituyen una pieza fundamental en el andamiaje de las comunidades tanto de ecosistemas naturales como intervenidos. Dentro de estos últimos, las arañas pueden jugar un papel determinante como reguladores de insectos plagas en los planes de manejo integrado.

En el país la mayoría de trabajos desarrollados en cultivos o en agroecosistemas han estado enfocados principalmente en la caracterización de la diversidad de arañas y su dinámica espacial y temporal (Sabogal 2010), sin embargo, las investigaciones para evaluar su verdadero potencial como controladores de plaga son escasas. En este sentido podemos señalar la serie de trabajos realizados por Bastidas (ver Sabogal 2010), principalmente en arroz, y los desarrollados específicamente en *Alpaida variabilis* (Araneidae) por Flórez *et al.* (2004), *Alpaida veniliae* (Araneidae) por Saavedra *et al.* (2007), y *Argiope argentata* (Araneidae) y *Plesiometa argira* (Tetragnathidae) por Bastidas *et al.* (1994). Cantor *et al.* en el 2011 realizan una aproximación al estado del arte en Colombia.

En materia de bioprospección la fauna de arácnidos presenta una gama amplia de oportunidades, debido a sus más llamativas adaptaciones fisiológicas; los venenos, las sustancias repugnatorias de algunos de ellos, y la seda de las arañas. En las últimas décadas se ha abierto un nuevo campo de investigación en el estudio de la composición química de las toxinas de los venenos de varias especies de escorpiones y tarántulas, especialmente con fines terapéuticos y agroindustriales, adelantados por investigadores nacionales de Universidades o Institutos de Medellín, Popayán, Cali y Bogotá. Dentro de los escorpiones cabe destacar las especies *Chactas vanbenedeni* (Chactidae) y *Centruroides margaritatus* (Buthidae), y para las tarántulas el género *Pamphobeteus* (Theraphosidae) (Estrada 2013). Los estudios en *Pamphobeteus* han permitido el descubrimiento de potenciales moléculas insecticidas y moduladoras del sistema nervioso central en enfermedades con origen patofisiológico en este sistema (Estrada, com. pers.). Adicional a esto, en los últimos años se ha venido trabajando en la determinación y análisis del sistema inmune de diferentes especies de artrópodos, entre las que se cuenta actualmente una especie de tarántula del género *Cyclosternum* (Chaparro, com. pers.).

Los potenciales usos de la seda de las arañas han sido ampliamente discutidos en todo el mundo. En Colombia resaltan los resultados obtenidos en la utilización de los hilos de seda de la especie *Nephila clavipes* (Nephilidae) en microsuturas quirúrgicas (Albarracín 2001).

Un aspecto adicional para destacar es la fuente de ingreso económico que representan algunas especies de escorpiones y tarántulas, debido a su comercialización de forma ilegal como mascotas o *souvenirs*.

Conocimiento

La mayor parte de las investigaciones realizadas en el país provienen de trabajos universitarios desarrollados como parte de procesos de formación y como requisito para la obtención de grado, principalmente a nivel de pregrado. Desafortunadamente muchos de estos trabajos quedan confinados en las bibliotecas y pocos son los resultados presentados a la comunidad científica a través de su publicación en revistas indexadas. Sin embargo, durante los últimos años el interés y la preocupación por publicar han venido en aumento.

Estas investigaciones han estado enfocadas principalmente en la determinación y evaluación de la biodiversidad, tanto en ecosistemas naturales, con una mayor proporción en áreas boscosas, como en cultivos y agroecosistemas. Una recopilación de estos trabajos realizados hasta el 2010 fue realizada por Sabogal en el marco del 37 Congreso Socolen. En menor medida las investigaciones han estado dirigidas a dilucidar aspectos taxonómicos, y aún más escasos son los trabajos sobre historia natural, etología, ecología poblacional, fisiología, bioquímica, biogeografía y sistemática. A continuación una valoración del estado del arte.

Conocimiento científico

Taxonomía

Los tratados exhaustivos, que actúan como compiladores de información, son los que permiten de manera directa el avance del conocimiento, y claro está, han facilitado el crecimiento de la taxonomía en el país. Estos trabajos corresponden principalmente a catálogos, revisiones, libros, y en menor medida a páginas web. Para casi todos los grupos se han publicado grandes obras que tratan aspectos tanto de la biología como la taxonomía de cada uno de ellos.

En la actualidad existen catálogos mundiales para cada uno de los órdenes, los cuales se encuentran actualizados dentro de la última década: *Catalog of The Scorpions of The World (1758-1998)* (Fet *et al.* 2000), *Discussion and Supplement for 1999 and part of 2000* (Kovarík 2001); *Catalogue of The Cyphophthalmi of The World (Arachnida, Opiliones)* (Giribet 2000); *Annotated Catalogue of The Laniatores of The New World (Arachnida, Opiliones)* (Kury 2003); *Catalogue of Small Orders of Arachnids* (Harvey 2003) (Adiciones y comentarios Pérez (2003); *Pseudoscorpions of The World* (Harvey 2011); y *The World Spider Catalog* (Platnick 2000-2013)

En Colombia Flórez y Sánchez en 1995 elaboran el primer y único catálogo de la fauna de arácnidos para el país, el cual incluye una recopilación de todos los registros para el grupo hasta ese momento. Quince años más tarde Sabogal (2010) realiza una actualización de estos datos para el orden Araneae, y hace una intensa recopilación de los trabajos realizados hasta la fecha, que incluye trabajos de grado, tesis de posgrado, trabajos de divulgación, artículos publicados en revistas indexadas y algunos resúmenes consignados en anales de eventos.

Las revisiones taxonómicas en el país son escasas, y la mayoría de ellas están restringidas a tan sólo algunas colecciones del país. El lento avance en este tema está relacionado principalmente con los complicados trámites y los impedimentos que existen para el intercambio de material con colecciones científicas internacionales, y a la falta de especialistas en el país.

Desde Flórez y Sánchez (1995) se han elaborado las siguientes revisiones:

Amblypygi: Chiriví y de Armas (2012) realizaron algunos aportes a la taxonomía de la subfamilia Phryninae (Phrynidae)

Araneae: una actualización del conocimiento y de la diversidad de arañas fue elaborada por Sabogal (2010). Para el Infraorden Araneomorphae a nivel de familia se cuenta con las revisiones de Simó *et al.* (2008) y Hazzi-Campo *et al.* (2011) para Ctenidae, Robledo-Ospina (2011) para Salticidae, Martínez-Torres y Flórez (2011) para Oxyopidae, y Pinzon *et al.* (2010) para Araneidae de la Amazonía colombiana. A niveles específicos Sabogal y Flórez (2000), Franco (2010) y Castellanos (2011) revisaron los géneros *Micrathena* (Araneidae), *Alpaida* (Araneidae) y *Chrysometa* (Tetragnathidae), respectivamente. Para el Infraorden Mygalomorphae se cuenta con las revisiones de Santamaría (2009) y Jiménez (2004) para las familias Dipluridae y Theraphosidae, y dentro de esta última se encuentra en ejecución (Cifuentes) la revisión del género *Pamphobeteus*.

Opiliones: una evaluación del estado del conocimiento fue elaborada por Rodríguez y Kury (2005), y recientemente García *et al.* (2012) presentaron una actualización del grupo junto con algunas perspectivas de estudio.

Pseudoscorpiones: Ceballos y Flórez (2007) actualizaron la lista de especies, y posteriormente Luna-Sarmiento y Romero-Ortiz (2011) realizaron una valoración del estado del conocimiento del orden para Colombia, donde registraron cuatro nuevas familias para el país. Se han revisado además las familias Syarinidae y Olpiidae (Luna-Sarmiento 2011; Romero-Ortiz y Luna-Sarmiento 2011; Romero-Ortiz *et al.* 2011).

Ricinulei: Platnick y García (2008) publicaron algunas notas taxonómicas para el género *Cryptocellus*. García (2008) realizó una revisión para el grupo y su diversidad en el país, y Botero-Trujillo y Pérez (2009) elaboraron una clave de identificación para los machos de las especies de *Cryptocellus* presentes en Colombia.

Schizomida: Moreno-González y Villareal (2013) describieron un nuevo género de la familia Hubbardiidae para Colombia, donde incluyeron importantes aportes a su taxonomía y distribución.

Scorpiones: Flórez (2001) efectuó una sinopsis de la familia Buthidae. Dentro de esta familia Botero-Trujillo (2011) y Botero-Trujillo y Flórez (2011) revisaron el género *Ananteris*, Armas *et al.* (2012) *Centruroides*, y Moreno-González (2013) el subgénero *Archaeotityus* (*Tityus*). En la familia Chactidae Flórez *et al.* (2008) elaboraron algunos aportes al género *Vachoniochactas* y recientemente Flórez (2013) realizó una revisión para el género *Chactas*. También se cuenta con algunas notas a la taxonomía del género *Troglotayosicus* (Troglotayosicidae) por Botero-Trujillo *et al.* (2012).

Biología

Las investigaciones dirigidas a evaluar los diferentes aspectos de la biología de los arácnidos del país son escasas, y menor aún los resultados publicados en revistas especializadas. Una gran parte de estos trabajos han sido presentados únicamente en el marco de eventos científicos, siendo los aspectos más abordados la etología, ecología, morfología y distribución actual. Las arañas y los escorpiones son los grupos que han atraído la mayor atención en estos temas. Dentro de las arañas, las familias tejedoras han sido las más estudiadas, de las que se destaca Araneidae, entre Dipluridae, Nephilidae, Tetragnathidae y Theridiidae. Por su parte, dentro de las no tejedoras Ctenidae ha sido la más explorada, y existen algunos aportes a las familias Anyphaenidae, Oxyopidae, Lycosidae, Oecobidae, Salticidae, Sicariidae y Theraphosidae. Para los escorpiones la familia Buthidae es la que cuenta con mayor número de trabajos, los cuales se han desarrollado principalmente dentro del género *Tityus*. Otros géneros estudiados han sido *Ananteris* y *Centruroides*, y existen además algunos aportes a las familias Chactidae y Liochelidae. A continuación los ejes temáticos sobre los que existe información para cada taxón.

Arachnida: existen contribuciones al conocimiento histológico del cerebro de arañas, escorpiones y amblypigidos (Angarita y Galindo 2008), y a las interacciones tróficas de la Clase con anuros (Díaz 2008).

Amblypygi: Chirivi-Joya y Munevar-Lozano (2011) realizaron una actualización de la distribución del orden en Colombia. Se conocen algunos aspectos ecológicos y de distribución de la especie *Heterophrynus cheiracanthus* (Phrynidae) (Angarita 2008; Castillo-Aguilar *et al.* 2008; López-Gómez *et al.* 2008; Torres-Sánchez *et al.* 2008).

Araneae: algunos estudios que han integrado en su conjunto la areneofauna presentan registros y notas de los accidentes causados por su veneno (Barreto y Barreto 1994; Rodríguez 2011; Flórez y Pineda 2002); la evaluación de su papel como agentes de control biológico en cultivos (Bastidas 1993; Bastidas *et al.* 1994; Bastidas y Triana 2001), y aspectos relacionados con las interacciones ecológicas con otros grupos biológicos: asociaciones con plantas (Cepeda *et al.* 2008), con hongos entomopatógenos (Sanjuan *et al.* 2011) y con anuros (Robledo-Espinosa y Gutiérrez-Cárdenas 2011).

En el Infraorden Mygalomorphae se han explorado aspectos como la ecología de comunidades (Silva 2005), y aportes a la distribución geográfica de las familias Theraphosidae y Dipluridae (Jiménez 2004; Santamaría 2009). Dentro de la familia Theraphosidae Perafán *et al.* (2011) realizaron una aproximación a la filogenia del género *Ami* y Estrada *et al.* (2012) describieron de manera parcial la composición química del veneno del género *Pamphobeteus*. En la familia Dipluridae Paz (1988, 1933) estudió algunos aspectos sobre la ecología y

comportamiento de *Linothele* sp. y la biología reproductiva de *Linothele megatheloides*. Eberhard y Hazzi (2013) describieron el mecanismo de construcción de la tela de *Linothele macrothelifera*.

Araneidae: para la especie *Alpaida variabilis* se conocen aspectos sobre su ciclo de vida, hábitos alimenticios y parámetros reproductivos (Flórez *et al.* 2002; Flórez *et al.* 2004). Existen aportes al conocimiento de la biología y comportamiento de las especies *Mastophora* sp., *Mastophora dizzydeani*, *Cyrtophora citricola*, *Argiope argentata* y *Alpaida veniliae* (Eberhard 1977; Eberhard 1980; Arboleda y Jaramillo 1997; Betancur *et al.* 2011; Bastidas *et al.* 1994; Saavedra *et al.* 2007); de la ecología poblacional de las especies *Araneus granadensis* y *Gasteracantha cancriformis* (Huertas-Vargas y Torres-Sánchez 2008; Escorcía-Gamarra 2011); y sobre algunas interacciones ecológicas de las especies *Alpaida veniliae* y *Araneus granadensis* (Pinzón y González 2000; Pinzón *et al.* 2000). Para el género *Alpaida* se cuenta con algunas aproximaciones a su distribución geográfica en el país (Franco 2010).

Para las otras familias de arañas tejedoras se cuenta con la siguiente información. Tetragnathidae: distribución del género *Chrysometa*, etología de la depredación de *Plesiometa argyra*, y hábitos alimenticios del género *Leucauge* (Castellanos 2011; Bastidas *et al.* 1994; Villegas 1995; Calderón-Espitia *et al.* 2011). Nephilidae: historia natural y comportamiento de *Nephila clavipes* (Chirivi y Fagua 2011; Cortés 2002; Cortés y Flórez 2005). Theridiidae: comportamiento constructor de la tela de *Synotaxus* sp. (Eberhard 1977). E interacciones ecológicas en Anyphaenidae (Robledo-Ospina *et al.* 2011).

Dentro del grupo de las arañas errantes se han realizado aproximaciones acerca de su distribución geográfica en Colombia para las familias Oxyopidae (Martínez-Torres y Flórez 2011) y Ctenidae (Hazzi-Campo *et al.* 2011). Para esta última existe además información relacionada con la ecología de las poblaciones y patrones de coexistencia de las especies *Ancylometes bogotensis*, *Cupiennius bimaculatus* y *Parabatinga brevipes* (Malo-Pérez y Torres-Sánchez 2011; Malo-Pérez y Torres-Sánchez 2011); y sobre la historia natural de la especie *Phoneutria boliviensis* y los accidentes causados por su mordedura (Hazzi-Campo 2011; Flórez y Ortiz 2003). En Salticidae Robledo-Ospina y Gutiérrez-Cárdenas (2011) analizaron los patrones de distribución de la familia en un gradiente altitudinal, y Salas (1995) estudió el ciclo de vida y las características comportamentales de la especie *Tylogonus* sp. Para las otras familias se han abordado temas como la dinámica poblacional del género *Hogna* (Lycosidae) (Velásquez *et al.* 2011) y el comportamiento depredador de las especies *Oecobius concinnus* (Oecobiidae) (García *et al.* 2011) y *Loxosceles rufipes* (Sicariidae) (Franco *et al.* 2012).

Opiliones: se conoce sobre el ritmo de actividad diaria del opilión *Rhaucus vulneratus* (Cosmetidae) (Rojas-García *et al.* 2011), la ecología poblacional de la especie *Holocranaus* sp. (Cranidae) (García-Hernández *et al.* 2008; García-Hernández *et al.* 2008), y la fisiología, etología, morfología y anatomía de *Phareus raptator* (Styngidae) (Borrero 2009).

Pseudoscorpionida: para el género *Lechytia* (Lechytidae) se conocen algunos aportes a su ecología y distribución (Luna-Sarmiento 2010) y se han realizado estudios morfométricos en el género *Ideobisium* (Syrinidae) (Luna-Sarmiento y Sarmiento 2012). Existen además aportes a la distribución de la familia Olpiidae en Colombia (Romero-Ortiz y Luna-Sarmiento 2011), y se ha descrito el comportamiento depredador de la especie *Paratemnoides sp.* (Atemnidae) (González *et al.* 2012).

Ricinulei: Talarico *et al.* (2007) reportaron algunos resultados sobre la estructura de los ocelos en ricinuleidos del nuevo mundo. Botero-Trujillo y Pérez (2009) publicaron algunos aspectos relacionados con la distribución del género *Cryptocellus*. Y se han descrito las características comportamentales de la especie *Cryptocellus narino* (Ricinoididae) y su sistema genital masculino (Torrado-León y García 2006; García 2007; García 2008; Talarico *et al.* 2007).

Schizomida: se han realizado aportes a la distribución del orden (Moreno-González *et al.* 2011) y del género *Rowlandius* en Colombia (Reyna *et al.* 2011). Para *Surazomus sturmi* (Hubbardiidae) se conoce varios aspectos de su biología (Sturm 1958, 1973, 2001).

Scorpionida: para todo el orden existe una aproximación a su distribución geográfica en Colombia (Flórez 2005) y una revisión de la epidemiología de los escorpiones de importancia médica para el país (Gómez y Otero 2007)

La familia Buthidae cuenta con información sobre la incidencia en casos de escorpionismo de las especies *T. asthenes* y *T. pachyurus* (Gómez *et al.* 2010; Barona *et al.* 2004), y sobre este último así como para *T. sabinae* se conoce la composición química de su veneno (Rincón *et al.* 2011; Guerrero *et al.* 2012). Para *T. fuhrmanni* y *T. bastosi* se conocen aspectos sobre su historial natural (Rouad *et al.* 2000; Ramírez *et al.* 2011), y para *T. forcipula* aspectos sobre su reproducción y depredación intragremial sobre *Chactas vanbenedeni* (García *et al.* 2008; Moreno-González y Hazzi 2012). De la especie *T. columbianus* se conoce sobre su reproducción (Lourenco 1991; Bohórquez *et al.* 2008), historia natural (Gómez *et al.* 2011), ecología poblacional (Lourenco *et al.* 1996; Bohórquez *et al.* 2005), actividad locomotora diaria (Torrado-León y García 2006), y la composición química de su hemolinfa (George *et al.* 1981). Se han realizado análisis morfométricos para las especies *T. bastosi* y *T. columbianus* (Reina 2012; Berrio 1991), y el género *Centruroides* (Luna-Sarmiento y Flórez 2008). Recientemente Moreno-González (2013) realizó un análisis morfométrico para todas las especies con distribución en Colombia de *Tityus* (*Archaeotityus*) incluyendo una actualización de su distribución. Se ha descrito y analizado la autotomía del metasoma en *Ananteris solymariae* (García y Mattoni 2011; Mattoni *et al.* 2011), y las interacciones tróficas con anuros (Botero-Trujillo 2006; Flórez y Blanco-Torres 2010).

En las otras familias los estudios han sido más escasos. En Liochelidae Cantor y Flórez (2008) realizaron un análisis morfométrico de la especie *Opisthacanthus elatus*, y para Chactidae

Lourenco *et al.* (2003) estudiaron algunos aspectos de la biología de *Chactas reticulatus*, y Flórez (2013) realizó un estudio sobre la filogenia y distribución del género *Chactas*.

Estado de avance de las colecciones científicas

La fauna de arácnidos no es del interés de todas las colecciones zoológicas del país, a pesar de su abundancia y diversidad, y la escasez de conocimiento ya señalada. La razón principal es la falta de especialistas en cada una de las instituciones, un problema que incluso se extiende hacia aquellas instituciones que cuentan con colecciones aracnológicas, ya que el país cuenta únicamente con dos especialistas trabajando en instituciones. Los siguientes son los establecimientos que cuentan con una colección de arácnidos: el Instituto de Ciencias Naturales, de la Universidad Nacional de Colombia; la Universidad Pedagógica Nacional; la Universidad de La Salle; y la Pontificia Universidad Javeriana, en Bogotá; la Universidad del Valle; la Universidad ICESI; y el Instituto Vallecaucano de Investigaciones Científicas INCIVA, en Cali; la Universidad de Caldas, en Manizales; la Universidad de Antioquia en Medellín; la Universidad del Quindío en Armenia; y el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt en Villa de Leyva.

En términos generales estas colecciones cuentan con las condiciones adecuadas para la preservación, mantenimiento y catalogación de los ejemplares, pero no así para su trabajo curatorial. Existe un alto desconocimiento de lo que hay depositado en ellas, principalmente a nivel de género y especie, pero en algunas de ellas incluso a nivel de familia. Y el ingreso y catalogación del material a las colecciones es paulatino, por lo que existe un alto volumen de material en depósito. En razón de lo anterior es necesario un aumento de incentivos y recursos que permitan el avance de la curatoría de las colecciones, lo que repercutiría no sólo en su crecimiento si no también en el fortalecimiento de nuevas líneas de investigación en cada una de las instituciones. Cabe también destacar que los grupos menos representados son: Pseudoscorpionida, Amblypygi, Thelyphonida, Palpigradi y Solifugae.

Pocas especies y ejemplares se encuentran en instituciones de divulgación, como museos y zoológicos. Especialmente en estos últimos no han existido hasta el momento aportes en el avance del conocimiento del grupo, debido a la falta de interés y la escasez de recursos, que impiden el trabajo de investigación. Una de las instituciones de las que tenemos actual conocimiento de su interés por trabajar con escorpiones, tarántulas y opiliones, entre otros, con el objetivo de crear un área de exhibición, es el zoológico Santa Cruz (Cundinamarca) (Haydy Monsalve, Directora Ejecutiva de la Fundación Zoológico Santa Cruz, com. pers.)

Conocimiento popular y tradicional

Los arácnidos representan unos grandes desconocidos e incomprensidos animales dentro de la sabiduría popular. Exceptuando las arañas y los escorpiones que hacen parte del acervo y la cultura de la gente, los grupos restantes no cuentan con mayor reconocimiento. Incluso el

conocimiento que se tiene acerca de estos últimos es escaso y confuso. Existen mitos alrededor de ellos que han generado un aro de pánico, debido a los conceptos errados entorno a sus venenos y a sus hábitos depredadores, lo que decanta por lo general con el trágico sacrificio de ellos. Los organismos que tal vez cuentan con el tercer lugar de popularidad son los opiliones; aunque con frecuencia son confundidos con las arañas. Esta información no se encuentra documentada; hacen falta estudios dirigidos a evaluar el verdadero saber popular.

Así mismo, es poco y fragmentado el conocimiento que tenemos acerca de la sabiduría y las tradiciones que los pueblos ancestrales del país tienen sobre los arácnidos. En las áreas rurales y territorios indígenas los escorpiones son respetados, y utilizados en las tradiciones de la medicina popular, empleándolos para el alivio de dolencias como la artritis, o como amuletos para la suerte (información obtenida de diferentes regiones del país). Los estudios etnozoológicos en el país son muy escasos y sería necesario ahondar en este campo.

Conocimiento técnico

De acuerdo a las políticas ambientales actuales la fauna de arácnidos aún no es incluida en los estudios de impacto y monitoreo ambiental. Si bien por sus características biológicas y sus rápidas respuestas a los disturbios, así como por los fáciles métodos de muestreo con los que se estudia, los convierten en un grupo faunístico ideal para este tipo de investigaciones, aún no tienen la atención de quienes trazan los lineamientos de dichos programas. Por consiguiente el aporte de este tipo de estudios al conocimiento del grupo es muy bajo.

De manera aislada existen algunos trabajos, especialmente con arañas, enfocados en la evaluación de efectos de borde, comparación entre diferentes estados y tipos de bosques, y análisis sobre el impacto de las actividades productivas (ver Sabogal 2010). Sin embargo, estos trabajos no hacen parte de una línea de investigación o de un proyecto a largo plazo.

Esta responsabilidad también parte de quienes trabajamos en el grupo, por lo que en un esfuerzo conjunto debemos involucrarnos de manera más activa e introducir la fauna de arácnidos en este tipo de valoraciones y en la caracterización de servicios ecosistémicos.

Transmisión del conocimiento

Los esfuerzos encaminados hacia la transmisión del conocimiento han estado dirigidos principalmente hacia la comunidad científica, enfocados para estudiantes en formación. Pocas y aisladas son las experiencias que en el campo de la educación y divulgación se han elaborado con la fauna de arácnidos en Colombia.

Dentro de estas actividades se encuentra “El Museo Viviente De Las Arañas” del profesor Darío Gutiérrez, quien utiliza especies vivas en un proceso pedagógico, con las que visita diferentes comunidades educativas y sociales del país, y en donde uno de sus principales objetivos

es derrumbar los mitos que existen alrededor de los arácnidos. Sin embargo, este programa de divulgación no cuenta con el rigor científico y la responsabilidad que debe tener la ciencia en su divulgación, donde la información que se presente sea siempre la correcta, y no se convierta en un espectáculo mediático.

Los medios de comunicación en general ejercen una influencia negativa y generan confusión, aumentando su desconocimiento en la gente. Sin embargo, algunos medios de instituciones académicas, como agencias de noticias y programas radiales de diferentes universidades del país, por mencionar algunas, la Universidad Nacional de Colombia, la Universidad del Valle y la Universidad de Neiva, han realizado notas especialmente sobre las investigaciones de estudiantes, presentado algunos de sus resultados, como la descripciones de nuevas especies, datos de biodiversidad, etc.

Los eventos académicos en los últimos años han estado promovidos principalmente por el Grupo Colombiano de Aracnología, quien desde su formación ha tenido como objetivo ofrecer cursos de alta calidad y el compromiso de participar en los principales eventos científicos del país y de la región. Es así como se han desarrollado charlas, encuentros, simposios, y en el 2011, gracias al reconocimiento internacional, la realización del III Congreso Latinoamericano de Aracnología. También se han ofrecido cursos sobre biología de escorpiones, ecología, comportamiento sexual, y biología y sistemática de arácnidos, el cual se viene realizando cada dos años en diferentes ciudades del país.

En cuanto a las obras de divulgación científica, como sucede por lo regular, éstas han tenido poca publicidad y tiraje, y han estado enfocadas hacia un público con alguna formación académica, por lo que no han tenido mayor trascendencia en la sociedad colombiana. Estas obras son las siguientes:

- Arácnidos, miriápodos y crustáceos. Guía de Bogotá y sus alrededores (Flórez y Rocha 2001)
- Accidentes por animales venenosos (Instituto Nacional de Salud 2002)
- Historia de las tarántulas (Jiménez y Flórez 2006)
- Arácnidos, guía de campo, una introducción al estudio de las arañas, escorpiones, garrapatas y otros bichos (Blanco y Salas 2007)
- Libro Rojo de los invertebrados terrestres de Colombia (Amat-García *et al.* 2007)
- Los escorpiones: enigmáticas reliquias del pasado poco conocidas en Colombia (Flórez-Daza 2007)
- Biodiversidad regional: Santa María, Boyacá. Guía de campo. Artrópodos (Amat-García 2009)
- Guía de campo Artrópodos de la Reserva Natural del Río Ñambí, Nariño. Artrópodos (En prensa)

Estado actual de su conservación

Cuatro especies de escorpiones, cuatro de tarántulas (Theraphosidae) y un esquizómido han sido categorizadas a nivel nacional con algún grado de amenaza (UICN 2004) en el Libro Rojo de los Invertebrados Terrestres de Colombia (Amat-García *et al.* 2007) (Tabla 2). Las cuales desde su categorización hasta la actualidad al parecer no han sufrido cambios.

Desafortunadamente sobre estas especies no se ha profundizado en el conocimiento de su historia natural y la dinámica poblacional. Tan solo para la especie *Tityus columbianus* se cuenta con información acerca de su densidad poblacional (Bohorquez *et al.*, 2005); la cual se encuentra entre los promedios de los estudios realizados con otras especies de escorpiones en el mundo.

Las especies incluidas dentro de la Lista Roja fueron categorizadas tomando como base los datos empíricos que se tienen de sus poblaciones y de acuerdo a la amenaza que enfrentan debido a su atractivo comercial. Hasta el momento ninguna de ellas ha sido incluida en programas de conservación ni uso sostenible, y ninguna está siendo efectivamente protegida.

Tabla 2. Arácnidos colombianos incluidos en la Lista Roja de especies amenazadas a nivel nacional (Flórez *et al.* 2007) de acuerdo a la categorización UICN (2004).

Orden	Familia	Especie	Categoría Nacional
Araneae	Theraphosidae	<i>Pamphobeteus ferox</i>	En Peligro EN
		<i>Pamphobeteus fortis</i>	En Peligro EN
		<i>Megaphobema robustum</i>	Vulnerable VU
		<i>Xenesthis inmanis</i>	En Peligro EN
Schizomida	Hubbardiidae	<i>Surazomus sturmi</i>	En Peligro EN
Scorpiones	Buthidae	<i>Tityus colombianus</i>	Vulnerable VU
		<i>Tityus engelkei</i>	Vulnerable VU
	Chactidae	<i>Chactas oxfordi</i>	Vulnerable VU
	Liochelidae	<i>Opisthacantus elatus</i>	Casi Amenazado NT

Las tarántulas y los escorpiones son los grupos que se encuentran seriamente afectados por su extracción del medio ambiente y su comercialización ilegal. Las especies más amenazadas son las incluidas en la Lista Roja: *Tityus colombianus*, *Tityus engelkei*, *Chactas oxfordi*, *Opisthacantus elatus*, y *Pamphobeteus ferox*, *Pamphobeteus fortis*, *Megaphobema robustum* y *Xenesthis inmanis*. En las tarántulas este problema se extiende a todas aquellas especies de gran tamaño y colores vistosos. Tal vez los géneros más afectados son *Pamphobeteus* y *Xenesthis* por encontrarse sobre la cordillera, y *Avicularia* por su llamativo aspecto y hábito arborícola.

Ilegalidad y control

Los escorpiones son principalmente apetecidos para la elaboración de objetos artesanales y *souvenirs*. Mientras que las tarántulas son especialmente deseadas como mascotas ornamentales, primordialmente en mercados del exterior; aunque cada día esta pasión gana más adeptos en nuestro país. Hasta donde tenemos conocimiento no se realizan actividades de control, y es fácil encontrar este tipo de ofertas en páginas de internet, tiendas de mascotas y mercados artesanales. Con las tarántulas la comercialización es además frecuentemente engañosa, ya que se ofrecen como ejemplares criados en cautiverio, o como especies traídas del exterior. Desconocemos por completo los resultados de los procesos policiales y judiciales a quienes realizan estas prácticas.

Por el momento no es fácil determinar con certeza si la extracción de individuos de las poblaciones silvestres pone en riesgo de extinción a alguna de estas especies, pero hasta no aumentar el conocimiento de su biología y evaluar el estado de sus poblaciones tampoco se podrá determinar el umbral que permita el manejo adecuado de estas prácticas. El conocimiento adecuado sobre sus poblaciones, biología de la reproducción y distribución, podría fomentar la elaboración de normas y políticas que regulen su comercio (inexistentes hasta el momento) y se desarrolle de manera sostenible.

Tampoco hay una clara información acerca de lo que sucede con los ejemplares y productos decomisados. Las entidades como el DAMA y las CARs son las principales encargadas de dar trámite a estos organismos. Sin embargo, la falta de interés por parte de estas instituciones y la manera desarticulada con la que trabajan con los especialistas, sumado al desconocimiento de su historia natural y distribución geográfica, repercute en la muerte de estos animales en cautiverio. En este sentido, tampoco existen esfuerzos para que el destino final de los ejemplares sean otras entidades como bioparques, zoológicos y universidades, como sucede con otros grupos zoológicos, y menos para desarrollar programas encaminados a su reintroducción en la naturaleza.

Conclusiones

El crecimiento de la Aracnología en Colombia en los últimos años ha sido muy significativo. Si bien la mayor cantidad de investigaciones se centran en los estudios de biodiversidad, ha existido un crecimiento importante en el estudio de aquellos órdenes menos conocidos y son más frecuentes las revisiones taxonómicas en cada uno de los grupos, aunque siguen siendo escasas. Así mismo existe un déficit en el trabajo curatorial de las colecciones en razón a la falta de apoyo necesario por parte de las instituciones. El camino recorrido trae consigo mayores responsabilidades, pero permite proyectar un crecimiento rápido en pocos años. Se debe insistir en el reconocimiento de la aracnofauna como elemento importante en los estudios de impacto y monitoreo ambiental, y en la caracterización de servicios ecosistémicos, y debe existir un mayor compromiso por parte de la comunidad académica para la divulgación del conocimiento.

Agradecimientos

A todos los estudiantes, profesores e investigadores que han contribuido con el estudio de los arácnidos en Colombia, y a los especialistas internacionales que se han interesado por nuestra fauna y han contribuido a la formación de investigadores en el país. También a los autores citados, por la información aportada, a los integrantes y personas cercanas al Grupo Colombiano de Aracnología, y a las Instituciones que contribuyen al fortalecimiento de la Aracnología como una línea sólida de investigación.

Literatura citada

- ALBARRACÍN, Y. 2001. Biomaterial Obtenido a partir de la seda de araña para su aplicación como sutura quirúrgica. Trabajo de Grado, Ingeniería Biomédica, Universidad Antonio Nariño, Bogotá, Colombia.
- AMAT-GARCÍA, G. (Ed.). 2009. Biodiversidad regional: Santa María, Boyacá. Guía de campo. Artrópodos: arácnidos, miriápodos, crustáceos, insectos. Serie de Guías de Campo del Instituto de Ciencias Naturales No. 5. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- AMAT-GARCÍA, G.; ANDRADE-C, G.; AMAT-GARCÍA, E. (eds.). 2007. Libro rojo de los invertebrados terrestres de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales- Universidad Nacional de Colombia, Conservación Internacional Colombia, Instituto Alexander von Humboldt, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Bogotá, Colombia.
- ANGARITA, A.A. 2008. Distribución geográfica de *Heterophrynus cheiracanthus* en Colombia (Amblypygi: Phryniidae). Libro de resúmenes II Congreso Latinoamericano de Aracnología, Argentina. p. 190.
- ANGARITA, A.A.; GALINDO, A.M. 2008. Contribución al conocimiento histológico de cerebros de arañas, escorpiones y ambliopígididos. Libro de resúmenes II Congreso Latinoamericano de Aracnología, Argentina. p. 142.
- ARBOLEDA, D.E.; JARAMILLO, M.P. 1997. Algunos aspectos biológicos y etológicos de *Cyrtophora citricola* Forskal (Arácnida: Araneidae) en el Valle de Aburrá. Aconteceres Entomológicos. 263-270.
- ARMAS, L.F.; LUNA-SARMIENTO, D.; FLÓREZ, E. 2012. Composición del género *Centruroides* Marx, 1890 (Scorpiones: Buthidae) en Colombia, con la descripción de una nueva especie. Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa (S.E.A.) 50: 105-114.
- BARONA, J.; OTERO, R.; NÚÑEZ, V. 2004. Aspectos toxinológicos e inmunoquímicos del veneno del escorpión *Tityus pachyurus* Pocock de Colombia: capacidad neutralizante de antivenenos producidos en Latinoamérica. Biomédica, 24: 42-49.
- BARRETO, P.; BARRETO, M. 1994. Arañas. Importancia médica y llave para familias. Colombia Médica, 25: 3-12.
- BASTIDAS, H. 1993. Pruebas preliminares de consumo por arañas en los llanos orientales de Colombia. Informe Interno. FEDEARROZ. Villavicencio.

- BASTIDAS, H.; PANTOJA, A.; HERNÁNDEZ, M. 1994. Consumo de presas por *Argiope argentata* F. (Araneidae) y *Plesiometa argyra* (Walkenaer) (Tetragnathidae) en arroz irrigado en Colombia. Manejo Integrado de plagas 32: 30-32.
- BASTIDAS, H.; PANTOJA, A.; MURILLO, A.; ZULUAGA, J.; DUQUE, M. 1994. Arañas reguladoras de poblaciones de insectos plagas. Arroz 43 (389): 26-30.
- BASTIDAS, H.; TRIANA, M. 2001. Las arañas depredadores de insectos fitófagos en el cultivo del arroz en Colombia. Primer seminario sobre manejo integrado de plagas agrícolas y pecuarias en los Llanos Orientales. Sociedad Colombiana de Entomología (SOCOLEN). Villavicencio. 1-8.
- BERRIO, J.C. 1991. Análisis morfométrico en una población de *Tityus columbianus* (Thorell, 1876) de Cuítiva, Boyacá, Colombia (Scorpionida: Buthidae). Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas, 20: 12-16.
- BETANCUR P, N.J.; CABRA G, J. ARMBRECHT, I. 2011. "Arañas asociadas a redes de *Cyrtophora citricola* (Forsskål, 1775) (Araneae: Araneidae) en zonas urbanas y rurales del valle alto del río Cauca, Colombia". Revista Ibérica de Aracnología, v.19: 15-21
- BLANCO, E.; SALAS, G. 2007. Arácnidos, guía de campo, una introducción al estudio de las arañas, escorpiones, garrapatas y otros bichos. Proyecto para la divulgación del conocimiento científico.
- BOHÓRQUEZ, R.M.; JIMÉNEZ, E.C.; LARA, H.N. 2005. Fluctuación poblacional del escorpión *Tityus columbianus* (Thorell, 1876), (Scorpiones: Buthidae) en dos localidades de la Región Andina de Colombia. Actas I Congreso Latinoamericano de Aracnología, Uruguay. p. 122.
- BOHÓRQUEZ, R.M.; JIMÉNEZ, E.C.; LARA, H.N.; FLÓREZ, D.E. 2008. Monitoreo de una población partenogenética del escorpión *Tityus columbianus* (Thorell, 1876), (Scorpiones: Buthidae) en Bogotá, Colombia. Libro de resúmenes II Congreso Latinoamericano de Aracnología, Argentina. p. 73.
- BORRERO, F. 2009. In search of behavioral and morphological evidence of the hygroreceptive organ in the neotropical harvestman *Phareus raptator* (Gervais 1844) (Laniatores: Styngidae). Tesis de Maestría, Universidad de Los Andes, Bogotá, Colombia.
- BOTERO-TRUJILLO, R. 2006. Anuran predators of scorpions: *Bufo marinus* (Linnaeus, 1759). (Anura: Bufonidae), first known natural enemy of *Tityus nematochirus* Mello-Leitão, 1940 (Scorpiones: Buthidae). Revista Ibérica de Aracnología, 13: 199-202.
- BOTERO-TRUJILLO, R. 2011. Caos y oportunidad en el género *Ananteris* (Scorpiones, Buthidae): ¿dónde estamos y para dónde vamos? Memorias y resúmenes III Congreso Latinoamericano de Aracnología, Colombia. p. 230.
- BOTERO-TRUJILLO, R. & PEREZ, G.A. 2009. A new species of *Cryptocellus* (Arachnida, Ricinulei) from the Kofan Territory in southwestern Colombia. Zootaxa, 2050: 56-64.
- BOTERO-TRUJILLO, R.; FLÓREZ, E. 2011. A revisionary approach of Colombian *Ananteris* (Scorpiones, Buthidae): two new species, a new synonymy, and notes on the value of trichobothria. Zootaxa: 1-44.
- BOTERO-TRUJILLO, R.; OCHOA, J.A.; TOVAR, O.A.; SOUZA, J.E. 2011. El género *Troglotayosicus*, no tan raro después de todo: su morfología, distribución, y descubrimiento de una nueva especie (Scorpiones, Troglotayosicidae). Memorias y resúmenes III Congreso Latinoamericano de Aracnología, Colombia. p. 200.
- CALDERON-ESPITIA, L.M.; ROBLEDO-OSPINA, L.E.; GARCÍA, L.F.; GUTIÉRREZ-CÁRDENAS, P.D.A. 2011. Composición de la dieta de *Leucauge* sp. (Araneae: Tetragnathidae) en cultivos de lulo

- en Manizales Caldas, Colombia. Memorias y resúmenes III Congreso Latinoamericano de Aracnología, Colombia. p. 94.
- CANTOR, C.V.; FLÓREZ, D.E. 2008. Estudio morfométrico de *Opisthacanthus elatus* (Scorpiones, Liochelidae) en diferentes tipos de hábitats de Colombia. Libro de resúmenes II Congreso Latinoamericano de Aracnología, Argentina. p. 144.
- CANTOR, C.; CEPEDA, J.; FLÓREZ, E. 2011. Arañas y agroecosistemas: una aproximación al estado del arte en Colombia. Memorias y resúmenes III Congreso Latinoamericano de Aracnología, Colombia. p. 96.
- CASTELLANOS, C.; FLÓREZ, E. 2011. Reconocimiento taxonómico y distribución geográfica del género *Chrysometa* (Araneae: Tetragnathidae) en Colombia. Tesis de Grado, Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia.
- CASTILLO-AGUILAR, M.; TORRES-SÁNCHEZ, P.; LÓPEZ-GÓMEZ, K. 2008. Patrones de preferencia de microhábitat en *Heterophrynus cheiracanthus* (Amblypygi: Phrynidae), en una zona boscosa, Tolima-Colombia. Libro de resúmenes II Congreso Latinoamericano de Aracnología, Argentina. p. 43.
- CEBALLOS, A.; FLOREZ, E. 2007. Pseudoescorpiones de Colombia (Arachnida: Pseudoscorpiones): lista actualizada de especies. Biota Colombiana 8 (1): 47-51.
- CEPEDA, J.; MARQUINEZ, X.; SARMIENTO, R.; LARA, K. 2008. Arañas asociadas a las inflorescencias de *Drimys granadensis* (Winteraceae). Libro de resúmenes II Congreso Latinoamericano de Aracnología, Argentina. p. 80.
- CHAPMAN, A.D. 2009. Numbers of living species in Australia and the world. Second Edition. Australian Government, Department of the Environmental, Water, Heritage and the Arts. 79 p.
- CHIRIVÍ, D.; FAGUA, G. 2011. Identificación de variables condicionantes para la cría en cautiverio de la araña de hilo dorado *Nephila clavipes* (Araneae: Nephilidae). Memorias y resúmenes III Congreso Latinoamericano de Aracnología, Colombia. p. 136.
- CHIRIVÍ-JOYA, D.; MUNÉVAR-LOZANO, K. 2011. Distribución de amblopígidios para Colombia (Arachnida, Amblypygi). Memorias y resúmenes III Congreso Latinoamericano de Aracnología, Colombia. p. 111.
- CHIRIVÍ J.D; DE ARMAS, L.F. 2012. La subfamilia Phryninae (Amblypygi: Phrynidae) en Colombia. Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa 50: 395-402.
- CODDINGTON, J.A.; LEVI, H.W. 1991. Systematics and Evolution of Spiders (Araneae). Annual Review of Ecology and Systematics 22: 565-592.
- CORTÉS, M. 2002. Estudio descriptivo de los hábitos alimenticios de *Nephila clavipes* (Araneae: Tetragnathidae) de un fragmento de bosque en la Vereda El Carmen, Municipio de Villavicencio, Meta. Trabajo de grado, Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.
- CORTÉS, M.; FLÓREZ, E. 2005. Comportamiento depredador de la araña orbitelar *Nephila clavipes* (Araneae: Tetragnathidae), en los Llanos Orientales de Colombia. Actas I Congreso Latinoamericano de Aracnología, Uruguay. p. 169.
- DÍAZ, O. 2008. Contribución de la clase arácnida a la dieta de ensamblaje de anuros presentes en fragmentos de bosque seco tropical (bs.-t) en tierras bajas de la Costa Caribe colombiana. Trabajo de grado, Biología. Universidad del Atlántico. Barranquilla, Colombia.
- EBERHARD, W.G. 1977. 'Rectangular orb' webs of *Synotaxus* (Araneae: Theridiidae). Journal of Natural History 11 (5): 501-507.

- EBERHARD, W.G. 1977. Aggressive chemical mimicry by a bolas spider. *Science*, New Series 198 (4322): 1173-1175.
- EBERHARD, W.G. 1980. The natural history and behavior of the bolas spider *Mastophora dizzydeani* sp. n. (Araneidae). *Psiche* 87: 3-4.
- EBERHARD, W.G.; HAZZI, N.A. 2013. Web construction of *Linothele macrothelifera* (Araneae: Dipluridae). *The Journal of Arachnology*, 41:70-75.
- ERWIN, T.L. 1982. Tropical forests: Their richness in Coleoptera and other arthropod species. *The Coleopterists Bulletin* 36 (1): 74-75.
- ERWIN, T.L. 1991. How many species are there?: Revisited. *Conservation Biology* 5(3): 330-333
- ESCORCIA-GAMARRA, R.Y.; MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ, N.J.; FLÓREZ-DAZA, E. 2011. Estructura poblacional de *Gasteracantha cancriformis* Linnaeus, 1758 (Araneae: Araneidae) en un bosque seco tropical del norte de Colombia. *Memorias y resúmenes III Congreso Latinoamericano de Aracnología, Colombia*. p. 158.
- ESTRADA, S. 2013. Potenciales aplicaciones de los venenos de arácnidos. *Boletín toxinológico Toxinotas, Universidad de Antioquia* 8 (1)
- ESTRADA, S.; VARGAS, M. L.; RAMÍREZ, A.; QUINTANA, C. J. 2012. Milking and partial characterization *Pamphobeteus* spp. (Araneae, Theraphosidae) venom, from the Colombian andean region. *Toxicon*. 60: 231-232
- FET, V.; SISSOM, D.; LOWE, G.; BRAUNWALDER. 2000. Catalog of the scorpions of the World (1758-1998). *The New York Entomological Society*, 690 p.
- FLÓREZ, E. 2001. Sinopsis de los escorpiones de la familia Buthidae en Colombia. Tesis de Magister. Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 110 p.
- FLÓREZ, E. 2005. Patrones de distribución geográfica de los escorpiones de Colombia. *Actas I Congreso Latinoamericano de Aracnología, Uruguay*. p. 41.
- FLÓREZ-DAZA, E. 2007. Los escorpiones: enigmáticas reliquias del pasado poco conocidas en Colombia. *Innovación y Ciencia*. 2007. 14(1): 26-33.
- FLÓREZ, E. 2013. Revisión taxonómica, análisis filogenético y distribucional del género Nor-Andino *Chactas* Gervais, 1844 (Scorpiones, Chactidae) con énfasis en las especies colombianas. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. 189 p.
- FLÓREZ, E.; SÁNCHEZ, H. 1995. La diversidad de los arácnidos de Colombia, aproximación inicial. En: O. Rangel (ed.), *Colombia diversidad biótica I*, Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, IMANI. Bogotá, Colombia. p. 327-345.
- FLOREZ, E.; ROCHA, M. 2001. Arácnidos, miriápodos y crustáceos, Guía de Bogotá y sus alrededores. DAMA, Impresol Ediciones. Bogotá, Colombia, 91 p.
- FLÓREZ, E.; PINEDA, D. 2002. Mordedura de Arañas. En: Pineda, D. (ed). *Accidentes por animales venenosos*. Instituto Nacional de Salud. Bogotá. p. 71-88.
- FLÓREZ, E.; PINZÓN, J.; SABOGAL, A. 2002. Ciclo de vida y parámetros reproductivos de la araña orbitelar *Alpaida variabilis* (Araneae: Araneidae). *Revista Colombiana de Entomología*. 28(2): 183-189.
- FLÓREZ, E.; ORTIZ, A. 2003. Accidentes por mordedura de la araña de las bananeras *Phoneutria boliviensis* (Ctenidae) en la región de Urabá. *El Entomólogo* 96 (31): 2-4.
- FLÓREZ, E.; PINZÓN, J.; SABOGAL, A.; BARRETO, N. 2004. Selección de presas y composición de la dieta de la araña *Alpaida variabilis* (Araneae: Araneidae) en pastizales de la sabana de Bogotá, Colombia. *Revista Ibérica de Aracnología* 9: 241-248.

- FLÓREZ, E.; JIMENEZ, J.; CEPEDA, J. 2007. Tarántulas y arañas. En: Amat, G.; Andrade, G (Eds.). Libro rojo de los invertebrados terrestres de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales- Universidad Nacional de Colombia, Conservación Internacional Colombia, Instituto Alexander von Humboldt, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Bogotá, Colombia. p. 48-65.
- FLÓREZ, D.E.; BOTERO-TRUJILLO, R.; ACOSTA, L.E. 2008. Nuevos aportes a la taxonomía del género *Vachoniochactas* (Scorpiones, Chactidae). Libro de resúmenes II Congreso Latinoamericano de Aracnología, Argentina. p. 215.
- FLÓREZ, E.; BLANCO-TORRES, A. 2010. Registros de escorpiones incluidos en la dieta de anuros en la costa atlántica colombiana. *Revista Ibérica de Aracnología* 18: 105-106.
- FRANCO, A.C. 2010. Actualización de la diversidad y distribución geográfica de las especies del género *Alpaida* (Araneae, Araneidae) en Colombia. Trabajo de Grado, Universidad Del Bosque, Bogotá, Colombia.
- FRANCO, V.; LACAVA, M.; ROBLEDO, E.; GARCÍA, L.F. 2012. Análisis del comportamiento depredador de la araña *Loxosceles rufipes* (Araneae: Sicariidae) frente a cuatro tipos de presa. 39° Congreso Colombiano de Entomología.
- GARCÍA, A. F.; MEDRANO, M. Á.; FLÓREZ, E. 2012. Los Opiliones (Arachnida, Opiliones) de Colombia: Estado Del Conocimiento Y Perspectivas. Resúmenes XXXIX Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología.
- GARCÍA, L.F. 2007. Primera observación del comportamiento de gregarismo en el ricinuleido *Cryptocellus narino* Platnick & Paz 1979 (Arachnida: Ricinulei: Ricinoididae). *Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa* 41: 458-458.
- GARCÍA, L.F. 2008. "Repertorios comportamentales del Ricinuleido *Cryptocellus narino* Platnick & Paz 1979 (Arachnida: Ricinulei: Ricinoididae)". Tesis de Grado, Universidad Militar "Nueva Granada" .Bogotá, Colombia.
- GARCÍA, L.F. 2008. Diversidad del orden Ricinulei (Arachnida) en Colombia. IX Jornadas Zoológicas del Uruguay. Montevideo, Uruguay.
- GARCÍA, L.F.; TORRES, G.; LACAVA, M.; VIERA, C. 2011. Análisis del comportamiento depredador de la araña *Oecobius concinnus* (Araneae: Oecobiidae) frente a dos tipos de presa. Memorias y resúmenes III Congreso Latinoamericano de Aracnología, Colombia. p. 170.
- GARCÍA, M.A.; FLÓREZ, E.; GARCÍA, C.R.; RUBIO, C.R. 2008. Un caso de anomalía y parto múltiple en el escorpión *Tytus forcipula* (Gervais, 1844) (Scorpiones, Buthidae) en la ciudad de Armenia, Colombia. Actas I Congreso Latinoamericano de Aracnología, Uruguay. p. 187.
- GARCÍA-HERNÁNDEZ, S.; TORRES-SÁNCHEZ, P.; PÉREZ-GONZÁLEZ, A. 2008. Patrones de distribución espacio-temporal en una población troglófila de *Holocranaus* sp. (Opiliones: Cranaidae) de los andes colombianos. Libro de resúmenes II Congreso Latinoamericano de Aracnología, Argentina. p. 45.
- GARCÍA-HERNÁNDEZ, S.; TORRES-SÁNCHEZ, P.; PÉREZ-GONZÁLEZ, A. 2008. Tamaño y estructura poblacional de *Holocranaus* sp. (Opiliones: Cranaidae) en una caverna cárstica de los andes colombianos. Libro de resúmenes II Congreso Latinoamericano de Aracnología, Argentina. p. 86.
- GARCÍA, S.; MATTONI, C.I. 2011. Efectos de la autotomía del metasoma en *Ananteris solimariae* (Scorpiones, Buthidae). Memorias y resúmenes III Congreso Latinoamericano de Aracnología, Colombia. p. 135.

- GEORGE, J.F.; ESCAMILLA, I.C.D.; OSPINA, J. 1981. Estudios electroforeticos de la hemolinfa de una población de escorpiones *Tityus columbianus*. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 15: 59-62.
- GIRIBET .2000. Catalogue of the Cyphophthalmi of the World (Arachnida,Opiliones). Revista Ibérica de Aracnología, 2: 49-76
- GÓMEZ, C.M.; FLÓREZ, D.E.; FAJARDO G. 2011. Estimación del número de estadios del desarrollo post-embrionario del escorpión *Tityus* (Archaeotityus) *columbianus* (Thorell, 1846), (Scorpiones, Buthidae). Memorias y resúmenes III Congreso Latinoamericano de Aracnología, Colombia. p. 131.
- GÓMEZ, J.P.; OTERO, P. 2007. Ecoepidemiología de los escorpiones de importancia médica en Colombia. Rev Fac Nac Salud Pública. 25(1): 50-60
- GÓMEZ, J.P.; QUINTANA, J.C.; ARBELÁEZ, P.; FERNÁNDEZ, J.; SILVA, J.F.; BARONA, J.; GUTIÉRREZ, J.C.; DÍAZ, A.; OTERO, R. 2010. Picaduras por escorpión *Tityus asthenes* en Mutatá, Colombia: aspectos epidemiológicos, clínicos y toxinológicos. Biomédica, 30: 126- 139.
- GONZÁLEZ, J.C.; MONCAYO, C.; VALENZUELA, J.; GARCÍA, L F.; LACAVA, M. 2012. Comportamiento depredador en *Paratemnoides* sp. (Pseudoscorpiones, Atemnidae). 39 Congreso Colombiano de Entomología.
- GUERRERO-VARGAS, J.A.; MOURAO, C.B.F., QUINTERO-HERNANDEZ, V., POSSANI, L. D., SCHWARTZ, E.F. 2012. Identification and Phylogenetic Analysis of *Tityus pachyurus* and *Tityus obscurus* Novel Putative Na⁺-Channel Scorpion Toxins. PLoS ONE 7(2): 1-13.
- HARVEY, M.S. 2011. Order Pseudoscorpiones de Geer, 1778. En: Zhang, Z.-Q. (ed.) Animal biodiversity: An outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness. Zootaxa 3148: 119-120
- HARVEY, M.S. 2011. Pseudoscorpions of the World, version 2.0. Western Australian Museum, Perth. web: <http://www.museum.wa.gov.au/catalogues/pseudoscorpions>. Fecha último acceso [10 junio 2013]
- HAZZI-CAMPO, N. 2011. Desarrollo postembrionario y observaciones sobre el hábitat de *Phoneutria boliviensis* (Araneae: Ctenidae). Memorias y resúmenes III Congreso Latinoamericano de Aracnología, Colombia. p. 135.
- HAZZI-CAMPO, N.; SIMO, M.; VALDERRAMA-ARDILA, C.; BRESCOVIT, A.; POLOTOW, D. 2011. Composición taxonómica y distribución de la familia Ctenidae (Araneae) en Colombia. Memorias y resúmenes III Congreso Latinoamericano de Aracnología, Colombia. p. 122.
- HUERTAS-VARGAS, D.M.; TORRES-SANCHEZ, P. 2008. Densidad poblacional y uso de hábitat en hembras de *Araneus granadensis* (Araneae: Araneidae) en un enclave árido colombiano. Libro de resúmenes II Congreso Latinoamericano de Aracnología, Argentina. p. 51.
- INSTITUTO NACIONAL DE SALUD (ed). 2002. ISBN: 958-13-0130-5
- JIMENEZ, J. 2004. Contribución al reconocimiento taxonómico y distribución geográfica de las tarántulas de la familia Theraphosidae (Araneae: Mygalomorphae) en Colombia. Trabajo de Grado. Biología, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- JIMÉNEZ, J.J.; FLÓREZ, E. 2006. Historia de las tarántulas. Innovación y Ciencia 13(2): 28-37.
- KOVARIK, F. 2001. Catalog of The Scorpions of The World (1758-1998) by Fet *et al.* 2000: Discussion and Supplement for 1999 and part of 2000. Serket, 7(3): 78-93
- KURY, A.B. 2000 (onwards) Classification of Opiliones. Museu Nacional/UFRJ website: <http://www.museunacional.ufrj.br/mndi/Aracnologia/opiliones.html>. Fecha último acceso: [3 junio 2013].

- KURY .2003. Annotated Catalogue of The Laniatores of The New World (Arachnida, Opiliones). Revista Ibérica de Aracnología 1: 1-336
- LÓPEZ-GÓMEZ, K.; TORRES-SÁNCHEZ, P.; CASTILLO-AGUILAR, M. 2008. Patrón diario de actividad y desplazamiento individual de *Heterophrhynus cheiracanthus* (Amblypygi: Phrynidae). Libro de resúmenes II Congreso Latinoamericano de Aracnología, Argentina. p. 53.
- LOURENÇO, W. R. 1991. Parthenogenesis in the scorpion *Tityus columbianus* (Thorell) (Scorpiones: Buthidae). Bulletin of the British Arachnological Society, 8: 274-276.
- LOURENÇO, W. R., CUELLAR, O. & CRUZ, F. R. M. D. L. 1996. Variation of reproductive effort between parthenogenetic and sexual populations of the scorpion *Tityus columbianus*. Journal of Biogeography 23: 681-686.
- LOURENÇO, W.; ANDRZEJEWSKI, V.; CLOUDSLEY-THOMPSON, J.L. 2003. The life history of *Chactas reticulatus* (Chactidae) with a comparative analysis of the reproductive traits of the tree scorpion lineages in relation to habitat. Zoologischer Anzeiger 242: 63-74.
- LUNA-SARMIENTO, D. 2010. Primer registro de Pseudoscorpiones del género *Lechytia* (Lechytidae) para Colombia, con aportes a su ecología y distribución. En: Libro de resúmenes III Congreso Colombiano de Zoología, Medellín, Colombia: p. 229
- LUNA-SARMIENTO, D. 2011. Revisión de la familia Syarinidae (Neobisioidea: Pseudoscorpiones) de Colombia con aportes a su distribución geográfica. Memorias y resúmenes III Congreso Latinoamericano de Aracnología, Colombia. p. 116.
- LUNA-SARMIENTO D., SARMIENTO C.E. 2012. Evaluación taxonómica de caracteres morfométricos en el género *Ideobisium* (Chelonethi: Syarinidae). Memorias XXXIX Congreso Sociedad Colombiana de Entomología, Ibagué, Colombia.
- LUNA-SARMIENTO, D.; FLÓREZ D., E. 2008. Evaluación morfométrica de los taxa nominales del género *Centruroides* (Marx 1899) (Scorpiones, Buthidae) presentes en Colombia. Libro de resúmenes II Congreso Latinoamericano de Aracnología, Argentina. p. 225.
- LUNA-SARMIENTO, D.; ROMERO-ORTIZ, C. 2011. Estado actual del conocimiento del orden Pseudoscorpiones (Arachnida) en Colombia: diversidad y distribución. Memorias y resúmenes III Congreso Latinoamericano de Aracnología, Colombia. p. 115.
- MALO-PÉREZ, K.; TORRES-SÁNCHEZ, P. 2011. Dinámica poblacional y uso de hábitat en tres especies de la familia Ctenidae (Araneae) en un bosque seco tropical de los Andes de Colombia. Memorias y resúmenes III Congreso Latinoamericano de Aracnología, Colombia. p. 155.
- MALO-PÉREZ, K.; TORRES-SÁNCHEZ, P. 2011. Patrones de coexistencia de tres arañas cazadoras de la familia Ctenidae en un bosque seco tropical de los Andes colombianos. Memorias y resúmenes III Congreso Latinoamericano de Aracnología, Colombia. p. 160.
- MARTÍNEZ-TORRES, D.; FLÓREZ-DAZA, E. 2011. Contribución al conocimiento de la diversidad y distribución de las arañas "lince" (Araneae: Oxyopidae) en Colombia. Memorias y resúmenes III Congreso Latinoamericano de Aracnología, Colombia. p. 112.
- MATTONI, C.I.; GARCÍA-HERNÁNDEZ, S.; BOTERO-TRUJILLO, R.; OCHOA, J.A.; OJANGUREN-AFFILASTRO, A.A.; OUTEDA-JORGE, S.; PINTO-DA-ROCHA, R.; YAMAGUTI, H.Y. 2011. ¿Perder la cola o la vida? Primer caso de autotomía en escorpiones (Scorpiones: Buthidae). Memorias y resúmenes III Congreso Latinoamericano de Aracnología, Colombia. p. 83.
- MITTERMEIER, R.A.; GOETTSCHE, C. 1997. Megadiversidad. Los países biológicamente más ricos del mundo. Cemex, Ciudad de México.

- MORENO-GONZALEZ, J.A. 2013. Revisión taxonómica de *Tityus* (*Archaeotityus*) (Scorpiones, Buthidae) de Colombia. Trabajo de Grado. Pregrado- Biología, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad del Valle, Cali, Colombia. 189 p.
- MORENO-GONZÁLEZ, J.A.; LUNA-SARMIENTO, D.A.; VILLARREAL, O. 2011. Esquizómidos de Colombia: riqueza y distribución (Arachnida: Schizomida). Memorias y resúmenes III Congreso Latinoamericano de Aracnología, Colombia. p. 238.
- MORENO-GONZÁLEZ, J.A.; HAZZI, N.A. 2012. Intraguild predation case: *Tityus forcipula* Gervais, 1843 (Scorpiones, Buthidae) feeding on *Chactas vanbenedeni* Gervais, 1843 (Scorpiones, Chactidae) in Colombia. Revista Ibérica de Aracnología, 20: 117-120.
- MORENO-GONZÁLEZ, J. A.; VILLARREAL, O. M. 2013. A new genus of Hubbardiidae (Arachnida: Schizomida) from the Colombian Andes, with some taxonomic comments. Zootaxa, 3560: 61-78
- PAZ, N. 1988. Ecología y aspectos del comportamiento en *Linothele* sp. (Araneae, Dipluridae). Journal of Arachnology, 16:5-22.
- PAZ, N. 1993. Aspectos de la biología reproductiva de *Linothele megatheloides* (Araneae: Dipluridae). Journal of Arachnology, 21: 40-49.
- PERAFÁN, C.; SANTAMARÍA, L.; GABRIEL, R.; PÉREZ-MILES, F. 2011. Nuevas especies de *Ami* (Araneae, Theraphosidae) de Colombia y Panamá: re-análisis filogenético. Memorias y resúmenes III Congreso Latinoamericano de Aracnología, Colombia. p. 217.
- PÉREZ, A. 2003. Reseña bibliográfica: Mark S. Harvey. 2003. Catalogue of the Smaller Arachnid Orders of the World: Amblypygi, Uropygi, Schizomida, Palpigradi, Ricinulei and Solifugae. Revista Ibérica de Aracnología, 8: 163-164.
- PINZON, J.; GONZALEZ, V. 2000. Un posible caso de selectividad de *Sceliphron asiaticum* (Hymenoptera: Sphecidae) sobre *Alpaida veniliae* (Araneae: Araneidae) en Caquetá, Colombia. Actualidades Biológicas, 22(72): 91-93.
- PINZON, J.; FLOREZ, E.; PALACIOS, E. 2000. Registro de *Tromatobia* sp. (Hymenoptera: Ichneumonidae) como parasitoide de huevos de la araña *Araneus granadensis* (Araneae: Araneidae). El Entomólogo, 28(89): 2-4.
- PINZON, J.; BENAVIDES, L.; SABOGAL, A. 2010. New records of araneid spiders (Araneae: Araneidae) in the Colombian Amazon Region. Zootaxa 2626: 46-60
- PLATNICK, N. 2013. The World Spider Catalog. 13.5. web: <http://research.amnh.org/entomology/spiders/catalog/index.html>. [Fecha último acceso: 7 junio 2013]
- PLATNICK, N.; GARCÍA, L.F. 2008. Taxonomic notes on Colombian *Cryptocellus* (Arachnida: Ricinulei). Journal of Arachnology 36: 145-149
- RAMÍREZ, M.; FLÓREZ, E.; RINCÓN, A. 2011. Aspectos de la biología del escorpión *Tityus* (*Archaeotityus*) *bastosi* Lourenço, 1996 (Scorpiones, Buthidae). Memorias y resúmenes III Congreso Latinoamericano de Aracnología, Colombia. p. 131.
- REINA, C. 2012. "Caracterización morfométrica y distribución geográfica del escorpión *Tityus* (*Archaeotityus*) *bastosi* Lourenço, 1984 (Scorpiones, Buthidae) en Colombia. Trabajo de Grado, Universidad INCCA, Bogotá, Colombia.
- REYNA, J.A.; VILLAREAL, O.; GARCÍA, L.F. 2011. Distribución del género *Rowlandius* (Schizomida, Hubbardiidae) y discusión sobre la posición genérica para una nueva especie en Colombia. Memorias y resúmenes III Congreso Latinoamericano de Aracnología, Colombia. p. 237.
- RINCÓN, C.A.; LANDAETA, E.M.; RODRIGUEZ, L.M.; ZAPATA, J.; STEFANNI, R.C. 2011. Identificación de la presencia de péptidos en el veneno del escorpión *Tityus sabinae*, (Escorpiones,

- Buthidae) hallado en el departamento de Boyacá -Colombia. Memorias y resúmenes III Congreso Latinoamericano de Aracnología, Colombia. p. 186.
- ROBLEDO-OSPINA, L.E. 2011. Análisis D.O.F.A. de la situación actual del estudio de los saltícidos (Araneae: Salticidae) en Colombia. Memorias y resúmenes III Congreso Latinoamericano de Aracnología, Colombia. p. 57.
- ROBLEDO-OSPINA, L.E.; GUTIÉRREZ-CÁRDENAS, P.D.A. 2011. Estado actual del conocimiento de anurofagia en arañas (Arachnida: Araneae). Memorias y resúmenes III Congreso Latinoamericano de Aracnología, Colombia. p. 159.
- ROBLEDO-OSPINA, L.E.; GUTIÉRREZ-CÁRDENAS, P.D.A. 2011. Un primer enfoque hacia los patrones de diversidad y distribución de saltícidos (Araneae: Salticidae) en un gradiente altitudinal en Colombia. Memorias y resúmenes III Congreso Latinoamericano de Aracnología, Colombia. p. 157.
- ROBLEDO-OSPINA, L.E.; GUTIÉRREZ-CÁRDENAS, P.D.A.; ROJAS-MORALES, J.A.; ESCOBAR-LASSO, S.; BRESOVIT, A.D. 2011. Primeros reportes de arañas fantasma (Araneae: Anyphaenidae) depredando huevos de ranas de cristal (Anura: Centrolenidae). Memorias y resúmenes III Congreso Latinoamericano de Aracnología, Colombia. p. 142.
- RODRÍGUEZ, C.; KURY, A. B. 2005. Estado del conocimiento de los Opiliones en Colombia. Actas I Congreso Latinoamericano de Aracnología, Uruguay.
- RODRÍGUEZ, J.R. 2011. El accidente por arácnidos en Colombia. Un problema desconocido. Memorias y resúmenes III Congreso Latinoamericano de Aracnología, Colombia. p. 75.
- ROJAS-GARCÍA, A.; HUERTAS-VARGAS, D.; VILLARREAL-MANZANILLA, O.; GARCÍA, L.F. 2011. Ritmo de actividad diaria del opilión *Rhaucus cf. vulneratus* Simon, 1879 (Opiliones: Cosmetidae). Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa 48: 458-460.
- ROMERO-ORTIZ, I.C.; LUNA-SARMIENTO, D.A. 2011. Ophiidae de Colombia (Pseudoscorpiones): una aproximación a su diversidad y distribución geográfica. Memorias y resúmenes III Congreso Latinoamericano de Aracnología, Colombia. p. 115.
- ROUAD, C.; CLOUDSLEY-THOMPSON, J.L.; LOURENCO, W. 2000. The life history of *Tityus fuhrmanni* (Buthidae). Biogeographica, 76(3): 119-124.
- SAAVEDRA, E.; FLÓREZ, E.; FERNÁNDEZ, C. 2007. Capacidad de depredación y comportamiento de *Alpaida veniliae* (Araneae: Araneidae) en el cultivo de arroz. Revista Colombiana de Entomología 33 (1): 74-76.
- SABOGAL, A. 2010. Estado actual del conocimiento de arañas (Araneae) en Colombia. Memorias XXXVII Congreso Sociedad Colombiana de Entomología. Bogotá. p: 123-136.
- SABOGAL, A.; FLÓREZ, E. 2000. Arañas espinosas del género *Micrathena* Sundevall, 1833 (Araneae: Araneidae) de Colombia. Biota Colombiana, 1(3): 253-260.
- SALAS, G. 1995. Estudio del ciclo de vida y repertorios comportamentales de *Tylogonus* sp. (Araneae: Salticidae) en cautiverio. Trabajo de grado, Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.
- SANJUAN, T.; FRANCO-MOLANO, A.E.; FLÓREZ, E. 2011. Registro de hongos artropodopatógenos *Cordyceps* (Ascomycota: Hypocreales) en tarántulas y arañas (Araneae) en la región amazónica, una aproximación filogenética de la interacción. Memorias y resúmenes III Congreso Latinoamericano de Aracnología, Colombia. p. 158.
- SANTAMARIA R., L. 2009. Estudio taxonómico y distribución geográfica de tarántulas de la familia Dipluridae (Araneae, Mygalomorphae) en Colombia. Trabajo de Grado, Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia.

- SILVA, R. A. 2005. Distribución altitudinal de comunidades de migalomorfas (Araneae: Mygalomorphae) en los municipios de Florencia y La Montañita en el occidente del departamento del Caquetá, Colombia. Trabajo de Grado, Universidad de la Amazonia, Florencia, Colombia.
- SIMÓ, M.; BRESCOVIT, A.; POLOTOW, D. 2008. Aportes al conocimiento de la familia Ctenidae (Araneae) en Colombia. Libro de resúmenes II Congreso Latinoamericano de Aracnología, Argentina. p. 257.
- STURM, H. 1958. Indirekte spermatophorenübertragung bei dem geisselskorpion *Thrithyreus sturmi* Kraus (Schizomidae, Pedipalpi). Die Naturwissenschaften 45: 142-143.
- STURM, H. 1973. Zur ethologie von *Thrithyreus sturmi* Kraus (Arachnida, Pedipalpi, Schizopeltidia). Zeitschrift für Tierpsychologie 33: 113-140.
- STURM, H. 2001. El comportamiento de algunos artrópodos colombianos y europeos y su significado evolutivo. "Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales" 25: 429-433.
- TALARICO, G.; GARCÍA, L. F.; MICHALIK, P. 2007. Male genital system, spermatozoa and spermiogenesis of *Cryptocellus narino* (Ricinulei) and their phylogenetic implications. 17th International Congress of Arachnology. Sao Pedro, Brasil.
- TALARICO, G.; PALACIOS-VARGAS, J.G.; GARCÍA L.F.; MEYER; ALBERTI, G. 2007. Vision without eyes? Structure of the ocelli in New World Ricinulei. 17th International Congress of Arachnology. Sao Pedro, Brasil.
- TORRADO-LEÓN, E.; GARCÍA, L.F. 2006. Análisis de la actividad locomotora diaria del escorpión *Tityus colombianus* (Thorell) (Scorpiones: Buthidae) utilizando video digitalizado. Memorias XXXIII Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología (SOCOLEN). Manizales, Colombia.
- TORRADO-LEÓN, E.; GARCÍA, L.F. 2006. Descripción del comportamiento de muerte fingida (Tanatosis) en el Ricinuleido *Cryptocellus* cf. *narino* (Arachnida: Ricinulei: Ricinoididae). Memorias XXXIII Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología (SOCOLEN), Manizales, Colombia.
- TORRES-SÁNCHEZ, P.; LÓPEZ-GÓMEZ, K.; CASTILLO-AGUILAR, M. 2008. Dinámica poblacional de *Heterophrhynchus cheiracanthus* (Amblypygi: Phrynidae), en una zona boscosa andina colombiana. Libro de resúmenes II Congreso Latinoamericano de Aracnología, Argentina. p. 62.
- VELÁSQUEZ, C.; RAMÍREZ, J.; HERNÁNDEZ, A.; TORRES-SÁNCHEZ, P. 2011. Distribución espacial y estructura poblacional de arañas del género *Hogna* sp. (Araneae: Lycosidae) en el enclave árido La Herrera, Cundinamarca, Colombia. Memorias y resúmenes III Congreso Latinoamericano de Aracnología, Colombia. p. 155.
- VILLEGAS, M.E. 1995. Determinación de los hábitos alimenticios de las arañas del género *Leucauge* (Tetragnathidae) en el Departamento del Valle del Cauca. Tesis de Grado, Universidad del Valle, Cali.
- ZHANG, Z.-Q. (ed.). 2011. Animal biodiversity: An outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness". Zootaxa 3148

Anexo 1. Lista de familias, y número de géneros y especies, para los órdenes de arácnidos presentes en Colombia. (* Familias reportadas después de Flórez y Sánchez (1995))

ORDEN	FAMILIA	# GÉNEROS	# ESPECIES	ORDEN	FAMILIA	# GÉNEROS	# ESPECIES
AMBLYPYGI	PHRYNIDAE	3	11	ARANEAE	TETRAGNATHIDAE	12	73
	CHARINIDAE *	1	1		THERAPHOSIDAE	24	31
		4	12		THERIDIIDAE	43	160
ARANEAE					THERIDIOSOMATIDAE	7	9
	ACTINOPODIDAE	1	3		THOMISIDAE	22	45
	AGELENIDAE	2	2		TITANOECIDAE*	1	2
	AMAUROBIIDAE	3	2		TRECHALEIDAE	10	25
	ANAPIDAE	3	14		ULOBORIDAE	5	17
	ANYPHAENIDAE	30	40		ZODARIIDAE	3	8
	ARANEIDAE	56	340		ZORIDAE*	1	-
	BARYCHELIDAE	4	3			490	1244
	CAPONIIDAE	2	4	ESCORPIONES	BUTHIDAE	5	48
	CLUBIONIDAE	2	2		CHACTIDAE	6	27
	CORINNIDAE	19	33		DIPLOCENTRIDAE	1	3
	CTENIDAE	12	25		LIOCHELIDAE*	1	1
	CTENIZIDAE	1	-		TROGLATAYOSICIDAE*	1	2
	CYBAEIDAE	1	1			14	81
	CYRTAUCHENIIDAE	2	2	OPILIONES	AGORISTENIDAE	1	1
	DEINOPIDAE	1	3		BIANTIDAE*	?	?
	DICTYNIDAE*	5	4		COSMETIDAE	12	19
	DIGUETIDAE*	1	-		CRANIDAE*	?	?
	DIPLURIDAE	6	10		FISSIPALLIIDAE	1	3
	DRYMUSIDAE*	1	-		GONYLEPTIDAE	34	39
	DYSDERIDAE	1	2		ICALEPTIDAE*	?	?
	FILISTATIDAE	2	2		KIMULIDAE*	?	?
	GNAPHOSIDAE	11	16		MANAOSBIIDAE*	?	?
	HAHNIIDAE	2	1		NEOGOVEIDAE	?	?
	HERSILIIDAE	2	4		SAMOIDAE*	?	?
	IDIOPIDAE*	2	2		SCLEROSOMATIDAE	?	?
	LINYPHIIDAE	37	93		STYGNIDAE*	?	?
	LIOCRANIDAE*	1	-		STYGNOMMATIDAE*	?	?
	LYCOSIDAE	14	24		ZALMOXIDAE*	?	?
	MICROSTIGMATIDAE	1	1				
	MIMETIDAE*	3	2				
	MITURGIDAE	5	11				

MYSMENIDAE	5	4	PALPIGRADI	EUKOENENIIDAE	1	1
NEMESIIDAE	1	1			1	1
NEPHILIDAE*	2	2				
			PSEUDOSC			
NESTICIDAE*	2	1	ORPIONIDA	ATEMNIDAE	1	2
OCHYRO CERATIDAE*	2	3		CHERNETIDAE	8	10
OECOBIIDAE*	1	4		CHTHONIIDAE*	1	1
OONOPIDAE	17	17		GARYPIDAE	1	1
OXYOPIDAE	4	9		LECHYTIDAE*	1	1
PALPIMANIDAE	3	2		OLPIIDAE	4	5
PARATROPIDIDAE	2	-		SYARINIDAE	1	3
PHILODROMIDAE*	5	3		WITHIIDAE	3	3
PHOLCIDAE	22	27			20	26
PISAUROIDAE	3	11				
PRODIDOMIDAE*	3	7	RICINULEI	RICINOIDIDAE	1	7
SALTICIDAE	92	89			1	7
SCYTODIDAE	1	8				
SEGESTRIIDAE*	1	1	SCHIZOMIDA	HUBBARDIIDAE	5	9
SELENOPIIDAE	1	4			5	9
SENOCLIDAE*	1	2				
SICARIIDAE	2	3	SOLIFUGAE	AMMOTRECHIDAE	2	3
SPARASSIDAE	15	20		MUMMUCIIDAE*	1	1
SYMPHYTOGNATHIDAE	4	4			3	4
SYNOTAXIDAE*	1	4				
TENGELLIDAE*	1	1	THELYPHONIDA	THELYPHONIDAE	2	2
TETRABLEMMIDAE	2	1			2	2

Simposio 9.

Entomología médica y veterinaria

Coordinador: Martha Patricia Torres, M. Sc.
Universidad El Bosque, Bogotá, D.C.

Participantes:

Gustavo Cuadros Trillos, Ph. D.

Felio Jesús Bello García, Ph. D.

Víctor Alberto Olano, Biol. Esp., Sandra Lucía Vargas, M.Sc.,

María Inés Matiz, cand. Ph.D., Juan Felipe Jaramillo

Jesús Alfredo Cortés, Ph. D. y Elkin Gustavo Forero Becerra, cand. Ph.D.

Los ácaros y la alergia en Colombia

Gustavo Cuadros Trillos¹

¹Ph. D. Asociación Colombiana de Alergia, Asma e Inmunología

En Colombia como en otros países, hay factores etiológicos que afectan la salud respiratoria y dermatológica y con gran impacto en la población, especialmente de las zonas urbanas. Está amenaza es constante por contaminación macroscópica y microscópica, muchas de ellas arrastradas por el aire. A través de este último circula el polvo; partículas sólidas inertes y biológicas, algunas imperceptibles al ojo humano pero con la suficiente capacidad alérgica hasta inducir una respuesta del sistema inmune.

Particularmente, en el polvo circulan los ácaros, artrópodos microscópicos que miden aproximadamente entre 500 y 700 micras en su estado adulto y están reconocidos a nivel internacional por su capacidad alérgica, afectando aproximadamente 20-26% de la población mundial. Entonces, los espacios intramurales, insumos de colchones, colchones como productos terminados y la almohada pueden representar riesgo para la salud si no se aplican estrategias efectivas de higiene en viviendas, fabricas, y se utilicen insumos inocuos para fabricar colchones que eviten la proliferación de agentes biológicos reconocidos a nivel internacional por su asociación con el desarrollo y exacerbación de enfermedades.

1. Evidencias nacionales de contaminación en las viviendas

Contaminación por ácaros

Los ácaros son microartrópodos cosmopolitas y el grupo más diverso y numeroso entre los arácnidos. Se estima que hay 50.000 especies cuya diversificación ha colonizado el suelo terrestre, el mar, sistemas acuíferos de agua dulce y el aire. Tienen variedad de comportamientos, unos son fitófagos (*Tetranychus urticae*, *Tetranychus cinnabarinus*), saprófagos (*Blomia tropicalis*, *Dermatophagoides pteronyssinus*, etc), micófagos, microfitófagos (*Gustavia microcephala*) y parásitos del hombre (*Sarcoptes scabiei*), animales vertebrados (humanos, perros, gatos, ganada vacuno equinos) e invertebrados (abejas, avispas).

En Colombia, Mulla y Sánchez Medina (1980) describieron hace más de 25 años contaminación por ácaros en muchas ciudades Colombianas, caracterizaron especies que en ese momento representaban riesgo para la población. En 1980 se publicó este estudio pionero, desarrollado a partir de 1973 y en el cual se describieron las especies de ácaros en muestras de polvo doméstico, así como la distribución y su ecología en diferentes regiones de Colombia. El reporte es amplio en relación a la prevalencia de la familia Pyroglyphidae, algunos géneros como

Cheyletidae, y *Glycyphagus*, aunque otros géneros fueron menos prevalentes, *Chortoglyphus* y *Acarus*. Algunas especies fueron comunes a varias ciudades con diferente altitud sobre el nivel del mar, diferente temperatura, diferente humedad relativa y diferentes periodos de lluvias. La acarofauna colombiana es abundante, y en ella sobresalen especies cosmopolitas como *Dermatophagoides pteronyssinus*, *Dermatophagoides farinae*, *Chortoglyphus arcuatus*, *Euroglyphus maynei* y otras relacionadas con el proceso alérgico. En este estudio pionero no se incluyó a Bogotá, ciudad con más de 2600 m de altitud, diversidad de cultivos agrícolas en sus alrededores, flujo variable de vientos, y otras condiciones ambientales que pueden representar un importante factor de desarrollo de ácaros. Tampoco se incluyeron otras grandes ciudades como Medellín, Cali, Barranquilla, Cartagena, o Bucaramanga. En 1994, Cuadros en el libro “Ácaros y su relación con enfermedades alérgicas respiratorias” reportó sensibilización a *Dermatophagoides pteronyssinus*, *Dermatophagoides farinae*, *Blomia tropicalis*, *Lepidoglyphus destructor* y *Chortoglyphus arcuatus* en Bogotá, Bucaramanga y Barranquilla. En Bogotá, la población analizada fue sensible a *D. pteronyssinus* y *D. farinae*.

Por otra parte, Cuadros *et al.* (2010 y 2011) documento de la Secretaría Distrital de Salud) demostraron contaminación en jardines y habitación de niños de algunos jardines infantiles del Distrito capital, según estudio realizado en varias localidades, ejecutado por el ESE_Hospital San Cristóbal Sur y orientado desde la oficina central. En esos dos años, se caracterizó las especies más prevalentes en los jardines infantiles y en las viviendas de los niños cuyos padres voluntariamente facilitaron el estudio. Particularmente, es relevante conocer que las especies prevalentes en su orden fueron *Dermatophagoides pteronyssinus*, *Goheria fusca*, *Lepidoglyphus destructor*, *Cheyletidae eruditus*, *Chortoglyphus arcuatus* y *Blomia tropicalis*. Varias de estas especies son reconocidas a nivel mundial y se asocian al desarrollo y exacerbación de rinitis y/o asma. No obstante, *Goheria fusca* es una especie nueva en el medio y se desconoce por pruebas de sensibilización su impacto en la salud respiratoria y dermatológica. Sin embargo, por reportes internacionales, esta especie está asociada al desarrollo y exacerbación de asma. Por otra parte, la caracterización de *Goheria* representa un avance significativo con el fin de direccionar la farmacoterapia y especialmente, la inmunoterapia.

Los resultados del estudio llevado a cabo en los dos años, también son relevantes porque se desconocían las condiciones higiénicas de los jardines en relación a los factores de riesgo de alergia, el mal uso de las colchonetas, su deficiente higiene y el material utilizado en la fabricación de las mismas. Igualmente, sirven estos resultados para orientar el proceso de higienización de las habitaciones de los niños

2. Evidencias internacionales de contaminación por ácaros en las viviendas

Así como las viviendas son un reservorio e incubadora de estos organismos, igual sucede con las fábricas de colchones, colchonetas y almohadas si no se cumplen parámetros estrictos de sanidad con el agravante de posibilitar contaminación de la locación y de los insumos de primer uso y qué

decir de los reutilizados sin ningún control de calidad. Entonces, se hace evidente la necesidad de implementar un sistema de higienización y vigilancia conducente al control de esos agentes biológicos y concomitantemente, reducción del riesgo de rinitis y/o asma, un problema global con componente genético y ambiental. Estas enfermedades generan impacto en la economía, la productividad y la calidad de vida de las personas que la padecen.

También es importante destacar que en las viviendas y en todo lugar intramural se encuentra un amplio rango de partículas en el polvo, que generalmente penetran por las corrientes de aire. Así definitivamente, existe la posibilidad de inhalar estas partículas, aunque estén presentes en las diferentes superficies, cortinas, colchones y almohadas.

La asociación ácaros y alergia empezó desde principios del siglo pasado. Fue fundamental el descubrimiento de Voorhorst que los ácaros del polvo son el más importante origen de las enfermedades alérgicas. En la historia de los descubrimientos en alergia hay avances significativos, especialmente o relacionado a conocer la respuesta inmune y el ambiente en el cual estos artrópodos viven.

Particularmente, además de los ácaros, las bacterias, hongos e insectos son objeto de investigaciones porque representan riesgo para el desarrollo de alergia. Precisamente, Hamilton y colaboradores describen varios organismos vivientes y que son fuente de alérgenos en los domicilios. Estas evidencias científicas como muchas otras son pruebas determinantes del cuidado que se debe tener con artículos de uso personal como las almohadas, colchones e igualmente las colchonetas, muy utilizadas en los jardines infantiles como elemento de descanso.

En el 2002, Schei *et al.* determinaron que la edad del colchón higiene, frecuencia de aspiración del polvo, la ventilación mecánica, temperatura de la habitación y la humedad relativa de la habitación fueron asociados con la presencia de heces de ácaros. En otro estudio de Abbott *et al.* en diferentes colchones reportaron que la especie más común fue *Dermatophagoides pteronyssinus*, aunque también habían otras especies menos frecuentes, *Euroglyphus maynei*, *Cheyletidae eruditus*, *Goheria fusca*, *Glyciphagus domesticus*, *Acarus siro* y otras especies no identificadas.

Pero un estudio publicado por Arbes (2003), reveló que la mayoría de viviendas en USA tenían niveles detectables de alérgenos de ácaros del polvo; el porcentaje de viviendas con alérgenos con 2 ug/g de polvo fue de 84,2% y aquellos que tenían 10 ug/gramos de polvo fue de 24,2%. Igualmente. Corroborando lo anterior, Peterson *et al.* determinaron que la concentración de alergenos de Fld 1, Der f1 y Der p1 en el aire y en el polvo varía ampliamente dentro de las viviendas y entre las casas muestreadas. En otros ambientes como en las escuelas, Einarsson *et al.* (1985) detectaron alérgenos de Der p1 y Der f 1 en todos los salones de clase, un hecho singular por cuanto representa riesgo permanente.

Arlian *et al.* (2001) argumentan que los ácaros son un grupo diverso de artrópodos que han invadido microambientes inusuales; en los EEUU, las especies más prevalentes son *Dermatophagoides pteronyssinus*, *D. farinae*, al igual que *Euroglyphus maynei*.

Respecto de la sensibilización por ácaros, hay innumerables estudios que presentan evidencias, pero en esta oportunidad citaremos algunos. El estudio de Brusse *et al.* (2005), relacionó edad de los niños y aumento en el riesgo de sensibilización con la exposición a alérgenos de ácaros y gatos, especialmente a la edad de 4 años. Particularmente, Kashem *et al.* (1997) registraron que la exposición a bajos niveles de alérgenos intramurales está asociado con baja incidencia de sensibilidad. Por otra parte, Custovic *et al.* (1990) determinaron que la severidad del asma en pacientes sensibles a ácaros está asociada a la exposición de alérgenos de ácaros del polvo, mientras que los niveles de alérgenos en la cama son un importante indicador que correlaciona con la actividad de la enfermedad.

Necesariamente cuando se habla de la fabricación de colchones, almohadas y colchonetas, es imperativo relacionarlo con los alérgenos, sustancia que puede provocar una reacción alérgica. Los alérgenos son sustancias que, en algunas personas, el sistema inmunitario las reconoce como "extrañas" o "peligrosas", Fernández-Caldas (2005), Fernández-Caldas e Iraola (2005) relacionan un importante grupo de alérgenos asociados a alergia.

Ácaros en las superficies

En el estudio de Mulla y Sánchez Medina y Cuadros (documento de la Secretaría Distrital de Salud) hay evidencias que tanto en el piso liso o en el piso cubierto con tapetes es posible encontrar ácaros. Todo depende de las estrategias y la metodología aplicada para buscar mejor condición de higiene y reducción de los niveles de ácaros y sus alérgenos. Es decir, el piso liso no garantiza higiene y eliminación de los ácaros.

Por otra parte, los resultados son variables en relación a la concentración de alérgenos en diferentes partes de la vivienda, Luczynska *et al.* (1998) determinaron que la media para Der p1 fue 1.9 ug/gramo en el piso de la sala, 1.7 ug/gramo en el piso de la habitación y 2.0 ug/gramo en el colchón. Pero Sidenius *et al.* (2002) encontraron una concentración media de 86 ug de Der p1/gramo de polvo y 188 ácaros/gramo de polvo. Sin embargo, en el polvo del colchón reportaron 10 ug/gramo de polvo. En Melbourne, Dharmage *et al.* (1999) reportaron altos niveles de Derp1; una media 17.2 ug de Der p1/gramo de polvo, en los colchones 20.3 ug/gramo de polvo

Estos resultados demuestran que tanto el piso liso como el que tiene tapete son reservorios de ácaros, tanto como el colchón.

Por lo anterior, es importante evaluar periódicamente la concentración de ácaros con el fin primordial de controlar la contaminación de los insumos, colchones como productos terminados, el transporte, almacenamiento y la exhibición de los mismos.

Reacción alérgica por alérgenos de ácaros

Los alérgenos de ácaros son un grupo numeroso de proteínas con un peso molecular de 5 a 150 KDa. En la estructura de ellas se encuentran los epitopes, reconocidos por la IgE. Luego de ello se

suceden una serie de reacciones que conllevan a signos y síntomas. De *Dermaophagoides pteronyssinus* hay caracterizados 15 alérgenos, de *D. farinae* 14, *Dermatophagoides microcera* hay un alérgeno caracterizado, de *Blomia tropicalis* hay 12 alérgenos, de *Lepidoglyphus destructor* hay 5 alérgenos (www.allergen.org).

La rinitis y/o asma se caracterizan por numerosas células inflamatorias; mastocitos, CD4, macrófagos y eosinófilos. Los Th2 son típicos de condiciones atópicas, y liberan citoquinas que promueven la producción de IgE por las células plasmáticas. La producción de este anticuerpo y su unión a los alérgenos de ácaros induce la liberación de mediadores como la histamina y leucotrienos que causan broncoespasmo. En pruebas en las cuales los ácaros del polvo se ponen en contacto con la mucosa nasal inducen mediadores de la inflamación Th2 (Gregory, 2009). Entretanto, las proteasas de los ácaros del polvo y de hongos son capaces de disminuir la función de la barrera de las células epiteliales. Pero algo importante se demostró cuando los extractos de *Dermatophagoides pteronyssinus* y *Lepidoglyphus destructor* causaron descamación de las células epiteliales en una actividad dependiente de proteasas. Como resultado de tal acción, las células epiteliales incrementan la liberación de citoquinas pro-inflamatorias; IL-6 e IL-8 por acción de las proteasas (Horng-Der 2007).

Literatura citada

- ABBOTT, J., CAMERON, J.; TAYLOR, B. 1981. House dust mite counts in different types of mattresses, sheepskins and carpets and a comparison of brushing and vacuuming collection methods. *Clinical allergy*, 11: 589-595.
- ALLERGEN NOMENCLATURE. IUIS allergen nomenclature subcommittee.
- ARBES, S. M. *et al.* 2003. House dust mite allergens in US beds: Results from the first National Survey of Lead and Allergens in Housing. *J Allergy Clin. Immunol.*, 111 (2): 408-414.
- ARLIAN, L. G.; PLATTS-MILLS, T.A.E. 2001. The biology of dust mites and the remediation of mites allergens in allergic disease. *J Allergy Clin. Immunol.*, 107 (3): S406-S413.
- BRUSSE, J. E. *et al.* 2005. Allergen exposure in infancy and the development of sensitization, wheeze and asthma at 4 years. *J Allergy Clin. Immunol.*, 115 (5): 946-952.
- CUADROS, G, PEÑUELA, J. *et al.* 2010-2011. Prevalencia de ácaros en jardines infantiles y viviendas de niños. Secretaría Distrital de Salud.
- CUSTOVIC, A. *et al.* 1990. Exposure to house dust mite allergens and the clinical activity of asthma. *JACI*, vol 98 (1): 64-72.
- DHARMAGE, S. *et al.* 1999. Residential characteristics influence Der p1 levels in homes in Melbourne, Australia. *Clin Exp allergy* 29: 461-469.
- EINARSSON, R. *et al.* 1985. Allergens in school dust; II major mite allergens in dust from Swedish schools. *JACI*, 95 (5) part 1.
- FERNÁNDEZ CALDAS, E.; SÁNCHEZ MEDINA M. 1990. Ácaros y su relación con la alergia, Edit. Guadalupe.

- FERNÁNDEZ-CALDAS, E. 2005. Dust mite allergens. *Current Allergy and Asthma Reports*, 5:424–431.
- FERNÁNDEZ-CALDAS, E. E. IRAOLA V. 2005. Dust mite allergens. *Current Allergy and Asthma Reports*, 5:402–410.
- GREGORY, L. G. *et al.* 2009. Inhaled house dust mite induces pulmonary T helper 2 cytokine production. *Clin Expe Allergy*, 39, 1597-1610.
- HAMILTON *et al.* *Current Allergy reports*.
- HORNG-DER, S. 2007. *Current allergy and Asthma reports* 7:351-356.
- KASHEM, A. *et al.* 1997. Exposure to indoor allergens in early infancy and sensitization. *J Allergy Clin. Immunol.* 100 (2): 177-181.
- KAUFFMAN, *et al.* 2006. House dust mite major allergens Der p1 and Der p5 activate human airway-derived epithelial cells by protease-dependent and protease-independent mechanisms. *Clin and Molecular Allergy*.
- LUCZYNSKA, C. *et al.* 1998. Indoor factors associated with concentrations of house dust mite allergen, Der p1, in a random sample of houses in Norwich, UK. *Clinical And Experimental Allergy* 28: 1201-1209.
- MULLA, M.; SÁNCHEZ, M. 1980. Ácaros en Colombia: Biología, ecología y distribución. Su importancia en las enfermedades alérgicas. Bogotá Edit. Guadalupe.
- PETERSON, E. L., OWNBY, D. R. *et al.* Evaluation of air and dust sampling schemes for Feld d 1, Der f 1, and Der p1 allergens in homes in the Detroit area.
- SCHEI, M. A., HESSEN, J. O.; LUND R. *Allergy* 2002. House dust mites and mattresses. 57, 538-42
- SIDENIUS, K. E. *et al.* 2002. House dust mites and their allergens at selected locations in the homes of house dust mite-allergic patients. *Clin Exp allergy* 32: 1209-1304.

Cultivos celulares de insectos: antecedentes, características, aplicaciones y aportes realizados en Colombia

Felio J. Bello García¹

¹Ph.D. Docente e investigador, Escuela de Medicina y Ciencias de la Salud, Universidad del Rosario

Introducción

El último cuarto de siglo de investigación sobre cultivos celulares de insectos ha sido un período de gran crecimiento. El número de líneas celulares derivadas de insectos que han sido establecidas ha aumentado considerablemente, de igual manera, en estos organismos, el número de fuentes de tejidos usados para la obtención de cultivos celulares se ha incrementado. Concomitante con lo anterior, la utilidad de las líneas celulares de insectos, por ejemplo para producción de proteínas, ha evolucionado desde los ensayos experimentales, a nivel de laboratorio, hasta convertirse, en términos industriales, en una biotecnología a gran escala (Elias *et al.* 2007).

Por otro lado, el uso de cultivos celulares como sustratos para la producción de virus bioinsecticidas también ha avanzado. La investigación sobre cultivos celulares de insectos, particularmente relacionada con esta temática, ha revelado nueva información, fundamental y relevante, sobre cómo funciona la tecnología (Parola *et al.* 2003; Gu *et al.* 2011; Matindoost *et al.* 2012). A primera vista, tal crecimiento en este campo de estudio puede ser tomado como una señal de que se ha obtenido un grado avanzado de madurez. Sin duda, el arte y la ciencia de los cultivos celulares de insectos ha desarrollado importantes avances; sin embargo, esta área permanece aun en una etapa muy temprana de su potencial de desarrollo, a pesar de la gran diversidad de líneas celulares de insectos que se han establecido (> 500; Lynn 2007), lo anterior se explica teniendo en cuenta que todavía es difícil obtener líneas celulares derivadas de algunos tejidos considerados de suma importancia, precisamente por las diversas aplicaciones fisiológicas que tienen en el organismo de insectos vectores, como por ejemplo, del intestino medio, de las glándulas endocrinas y de los nervios. En esta misma tendencia, unas pocas líneas celulares de insectos son caracterizadas en la actualidad como herramientas industriales estándares; no obstante, el potencial de aplicación de muchas líneas establecidas aún no ha sido completamente explotado (Guy *et al.* 2009).

Al mismo tiempo que las líneas celulares son establecidas, en número creciente, nuevos conocimientos sobre procesos celulares básicos se han generado, particularmente en muchas áreas de la biología, incluida la inmunidad, la endocrinología, la toxicología, la bioquímica y la evolución. Revisaremos sobre cultivos celulares de insectos, los temas siguientes: antecedentes, características, aplicaciones y aportes realizados en Colombia.

Antecedentes

Por muchos años los invertebrados fueron ignorados como materia prima para obtener cultivos de tejidos y de células, a pesar de que causaba gran curiosidad e inquietud la regeneración de tejidos en algunas especies y la metamorfosis presente en la mayoría de los insectos. Sólo a mediados del siglo XX empezaron a consolidarse los trabajos sobre la obtención de cultivos celulares derivados de insectos. En la iniciación de estos cultivos, varios investigadores como Trager 1938, Ball 1956, Beckel 1956 y Kitamura 1965, entre otros, trabajaron muchos años antes que Grace, quien en 1962 logró establecer la primera línea celular a partir de tejidos ováricos de pupas de la polilla *Antherea eucalypti*. Él modificó el medio de cultivo de Wyatt (1956), con la adición de 10 vitaminas y formuló uno nuevo conocido como medio Grace para insectos, el cual suministró los nutrientes apropiados para el crecimiento y mantenimiento de la recién establecida línea celular. Este medio de cultivo vino a ser popular debido a su utilidad en el establecimiento y mantenimiento de muchas líneas celulares de insectos. En la actualidad, esta formulación ha sido usada y modificada por muchos investigadores, al igual que se han introducido nuevos medios de cultivos, para adaptarlos a los requerimientos de otras especies empleadas como fuente de novedosas líneas celulares.

Por otro lado, Day y Grace (1959) describieron la historia de los cultivos celulares de insectos, en esa fecha, y la dividieron en tres fases: la primera consistió en el trabajo desarrollado sobre gametogénesis y para ello utilizaron tejidos cultivados en hemolinfa y en soluciones de sales simples (Glaser 1917). La mitosis rara vez se observó en estos estudios y los cultivos generalmente no sobrevivieron más allá de pocas semanas. En la segunda fase se destaca el desarrollo y el refinamiento de algunos medios de cultivo que fueron empleados, aunque los investigadores se basaron en la composición de los tejidos de vertebrados para avanzar en sus trabajos, los cultivos celulares que desarrollaron no sobrevivieron más allá de 3 meses, pero lograron la propagación de algunos virus en las células cultivadas (Trager 1953). La tercera fase es considerada como de gran avance, debido al énfasis en el desarrollo de medios de cultivo basados en la composición química de los tejidos de insectos, particularmente de la hemolinfa. Esta fase condujo a la obtención, por primera vez, de una línea celular de insecto derivada de tejidos ováricos de pupa (Grace 1962).

El estudio de los cultivos celulares de insectos ha progresado a través de los años y más de 500 líneas celulares de diferentes especies de insectos, principalmente de los órdenes Díptera, Lepidoptera, Hemiptera, Homoptera y Orthoptera, han sido descritas a la fecha (Lynn 2001).

Características

Los cultivos primarios se obtienen por crecimiento de células que migran de un fragmento de tejido o que son liberadas de un tejido. Las células que son capaces de migrar o de sobrevivir a la técnica de disgregación cuando se adhieran al sustrato o que sobreviven en suspensión pueden llegar a constituir un cultivo primario (Figura 1). Posteriormente, las células capaces de proliferar

pueden incrementarse, algunos tipos de células pueden sobrevivir pero no incrementarse y otras células pueden no ser capaces de sobrevivir bajo las condiciones del cultivo. La mayoría de los cultivos celulares pueden propagarse por un número limitado de generaciones, después de las cuales pueden morir o dar origen a una línea celular continua. La habilidad de una línea celular para crecer continuamente reflejará, su capacidad de variación genética permitiendo la selección subsiguiente, esto puede ocurrir espontáneamente o inducirse por químicos o virus. Las líneas celulares continuas son generalmente aneuploides y casi siempre tienen un número de cromosomas entre diploides y tetraploides (Freshney 1987).

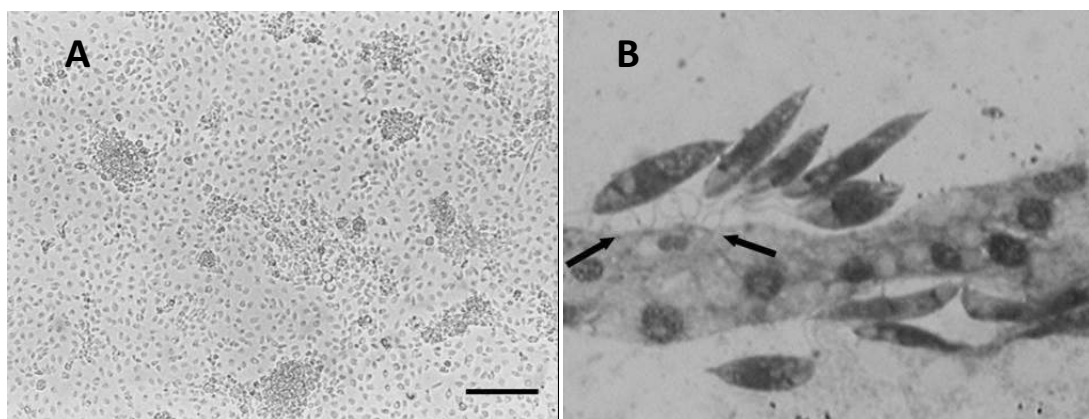


Figura 1. Cultivos celulares primarios derivados de tejidos embrionarios de *Culex quinquefasciatus*. Segura *et al.* 2012.

Los medios de cultivo proveen a las células sales inorgánicas de importancia metabólica en las concentraciones adecuadas para mantener la presión osmótica, similar a la contraparte que se encuentran en condiciones *in vivo*. Uno de los metabolitos principales es el bicarbonato de sodio, aunque tiene como segunda función ser un buffer y proveer energía. Los fosfatos, a su vez, son metabolitos importantes y ayudan al balance osmótico. Es necesario que los buffer mantengan el pH de los medios, no muestren interferencia con los procesos químicos y/o bioquímicos que ocurren en los medios de cultivo. Por otro lado, los aminoácidos que se encuentran en las formulaciones de estos medios son esenciales para que las células crezcan y se dividan. Hay otros ingredientes que se encuentran en los medios y varían según el tipo de células, algunos son fuente de energía como la glucosa, otros son indicadores de pH, este último es importante ya que los productos del metabolismo celular son de naturaleza ácida (Harrison y Rae 1997; Masters 2001). Los medios han sido usados con suplemento de suero fetal bovino (SFB) (Ikonomou *et al.*, 2003). El suero provee los lípidos como: colesterol, fosfolípidos, triacilglicerol, ácidos grasos, vitaminas lipídicas solubles y sus variantes esterificadas (Masters 2001).

Corrientemente, la caracterización morfológica, citogenética, bioquímica y molecular de las líneas celulares establecidas de insectos se efectúa para establecer la correlación con el tejido de origen, monitorear su inestabilidad o variación, descartar contaminación cruzada e identificar

las líneas celulares híbridas o sublíneas seleccionadas por la demostración de caracteres únicos (Yunker 1987). En la descripción morfológica de los cultivos celulares, frecuentemente se utilizan los términos “fibroblástoide” y “epitelioide” para definir la apariencia en lugar de referirse al origen de las células. Así, una célula migratoria bipolar con longitud mayor al doble de su ancho, puede ser llamada fibroblástoide; mientras que una célula poligonal, con dimensiones regulares y crecimiento en un sitio definido con otras células, es generalmente considerada como epitelioide. En la iniciación de los cultivos celulares de insectos se usa una metodología similar a la empleada en el establecimiento de cultivos celulares de mamíferos. Sin embargo, para cada especie de insecto que se vaya a trabajar se necesita modificar y estandarizar condiciones particulares en lo referente a selección de tejidos para los explantes iniciales, medio de cultivos, suplementos nutricionales, pH, temperatura de incubación y mecanismos para remover las células. En términos generales, los cultivos celulares de insectos se derivan de explantes de tejidos embrionarios, larvales o de ovarios, tanto de pupas como de adultos, cuyas células después de frecuentes pases o repiques se van transformando hasta lograr una persistencia indefinida, lo cual caracteriza a una línea celular de crecimiento continuo.

Aplicaciones

Entre las razones que justifican el hecho de que los cultivos celulares de insectos sean ampliamente usados, se destacan los siguientes: constituyen un sistema económico, son relativamente fáciles de ser mantenidos, requieren poco espacio físico, permiten realizar aislamiento de arbovirus y preparar antígenos, son básicos en la producción de vacunas; también, se evalúan insecticidas, estudios de ciclos biológicos de microorganismos patógenos, estudios de biología molecular en la determinación de los mecanismos de infección, permiten la obtención de grandes cantidades de proteínas disponibles para análisis bioquímicos, propician estudios de compuestos químicos con actividad antiviral y posibilitan la introducción de técnicas de fusión celular y manipulación génica (Igarashi 1985).

La importancia de los cultivos celulares derivados de insectos radica en las aplicaciones que tienen a nivel de medicina, agricultura y biotecnología. Especialmente, estos cultivos celulares se han venido usando como sustratos para aislamiento e identificación de virus, para la producción de proteínas recombinantes, pesticidas virales, vacunas e insecticidas, como también en investigaciones básicas sobre genética, biología molecular, bioquímica, parasitología y endocrinología.

Aportes realizados en Colombia

En Colombia, Bello *et al.* (1995, 1996a, 1996b, 1997a, 1997b, 1998, 1999, 2001, 2005) Rey *et al.* (2000), Ardila *et al.* (2005), Zapata *et al.* (2005), Miranda *et al.* (2005, 2008), Acero *et al.* 2006, Castañeda *et al.* 2007, Echeverry *et al.* (2009), Segura *et al.* (2012), Cruz *et al.* (2012), obtuvieron

cultivos celulares primarios y líneas celulares de crecimiento continuo de diferentes especies de mosquitos, de flebótomos (Figura 2A) y de las moscas *Lucilia sericata* y *Sarconesiopsis magellanica*, los cuales caracterizaron morfológica, citogenética, bioquímica y/o molecularmente y, también en estos trabajos, evaluaron la susceptibilidad a la infección con arbovirus y parásitos, siendo los pioneros en este campo de investigación en Latinoamérica. Particularmente, en co-cultivos con parásitos del género *Leishmania* (Figura 2B), por primera vez, lograron desarrollar el ciclo biológico de los patógenos en células derivadas de insectos vectores; así por ejemplo, evidenciaron algunas características propias del proceso infectivo de *L. chagasi* en las células Lulo (*Lutzomyia longipalpis*), las cuales se pueden resumir así: a) alta afinidad por la superficie celular que permitió mantener la adhesión de los parásitos durante un largo periodo de tiempo, siendo posiblemente similar esta situación a lo que sucede en el tracto digestivo del insecto; b) internalización de parásitos durante días avanzado de infección; c) presencia en las vacuolas parasitóforas de amastigotes a su interior durante etapas avanzadas del periodo infectivo y d) reversa conversión de amastigotes a promastigotes en un tiempo menor, comparado con las células control, al sembrarse en medio NNN modificado e incubados a 26°C. Estos resultados *in vitro*, aunados a otros trabajos experimentales donde se ha encontrado en el tracto digestivo del vector, varios días después de una segunda comida de sangre, formas del parásito semejantes a amastigotes, plantean nuevos interrogantes sobre el ciclo biológico de los parásitos en el insecto vector, si se tiene en cuenta el paradigma actual que establece la presencia de las formas promastigotas exclusivas en el vector y las formas amastigotas restringidas a los macrófagos del vertebrado hospedero. Se requiere, por lo tanto, desarrollar más investigaciones para llegar a conclusiones definitivas sobre este tópico y, sin lugar a dudas, en esta tarea los cultivos celulares derivados de flebótomos constituyen uno de los sustratos indispensables para efectuar los estudios *in vitro* correspondientes.

Conclusiones

Los cultivos celulares derivados de insectos son sustratos importantes a nivel médico, en agricultura y biotecnología. Aunque la iniciación de cultivos celulares se inició a principios del siglo XX, la primera línea celular fue establecida por Grace en 1962 a partir de tejidos ováricos de pupas de la polilla *Antherea eucalipto*. En la actualidad se registran más de 500 líneas celulares derivadas de insectos, principalmente de los ordenes, Díptera, Lepidoptera, Hemiptera, Homoptera y Orthoptera. Sin embargo, a pesar del gran número de líneas celulares que se han establecido, el área permanece aun en una etapa muy temprana de su potencial de desarrollo, en razón a que todavía ha sido difícil obtener líneas celulares derivadas de varios tejidos, considerados de sumo interés fisiológico en los insectos, principalmente de aquellos que actúan como vectores biológicos de diversos microorganismos patógenos y donde, precisamente, estos tejidos son blancos para estudios de control *in vitro* de los insectos. También, el potencial de aplicación de muchas líneas establecidas no ha sido aún completamente explotado. Los cultivos celulares de insectos, al igual

que los derivados de vertebrados, siguen el mismo patrón de evolución, en tanto pueden pasar desde la conformación en cultivos primarios hasta transformarse en líneas celulares de crecimiento continuo. Ya constituidos los cultivos, se caracterizan con base en parámetros morfológicos, citogenéticos, bioquímicos y moleculares. Las líneas celulares de insectos tienen diversas aplicaciones, tales como: en aislamiento e identificación de virus, para la producción de proteínas recombinantes, pesticidas virales, vacunas e insecticidas, como también en investigaciones básicas sobre genética, biología molecular, bioquímica, parasitología y endocrinología. En Colombia, se han efectuados importantes aportes a los cultivos celulares de insectos, en tanto se han establecidos y caracterizado diversas líneas celulares derivadas de mosquitos, flebótomos y moscas necrófagas. Además, se ha estudiado su aplicación para la susceptibilidad a infecciones con arbovirus y parásitos del género *Leishmania*.

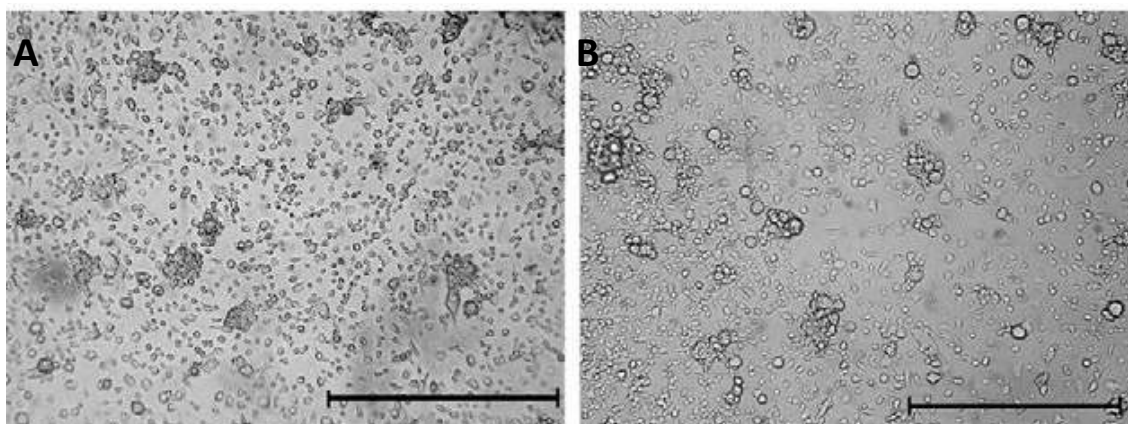


Figura 2. A. Cultivos celulares derivados de *Lutzomyia spinicrassa*. B. Interacción de promastigotes de *Leishmania braziliensis* con células cultivadas de *Lu. spinicrassa*. Zapata et al. 2005.

Literatura citada

- ACERO, V.; GALEANO, E.; AYALA, M.; CASTELLANOS, J.; BELLO, F. 2006. Interacción de *Leishmania (L) chagasi* con la línea celular Lulo en diferentes condiciones ambientales. *Revista Colombiana de Entomología* 32 (2): 165-171.
- ARDILA, A.; ESCOBAR, J.; BELLO, F. J. 2005. Características de nuevos cultivos celulares derivados de tejidos embrionarios de *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *Biomédica* 25:65-75.
- BALL, G. H. 1956. Prolonged contraction of mosquito digestive tract in vitro with partial development of orocysts of *Plasmodium relictum*. *Exp. Parasitol.* 3: 358-367.
- BECKEL, W. E. 1956. Maintenance of adult mosquito tissue in a culture. *Nature (London)* 177 : 534.
- BELLO, F. J.; BOSHELL, J.; REY, G.; MORALES, A.; OLANO, V. 1995. Initiation of primary cell cultures from embryos of the mosquitoes *Anopheles albimanus* and *Aedes taeniorhynchus* (Diptera: Culicidae). *Mem. Inst. Oswaldo Cruz* 90 (4): 547-551.

- BELLO, F. J.; RODRÍGUEZ, J.; OLANO, V.; BOSHELL, J.; REY, G.; RAMÍREZ, W. 1996a. Características de una línea celular de crecimiento continuo del mosquito *Aedes taeniorhynchus* (Diptera: Culicidae). *Biomédica* 16: 32-40
- BELLO, F. J.; REY, G.; JIMÉNEZ, M. E.; MUNSTERMANN, L.; FERRO, C. 1996b. Iniciación de cultivos celulares primarios de *Lutzomyia longipalpis* (Diptera: Psychodidae). *Diógenes. Revista de Investigación en Ciencias y enseñanza de las Ciencias* 3: 155-166
- BELLO, F. J.; BROCHERO, H.; BOSHELL, J.; OLANO, V.; REY, G. 1997a. Establishment and characterization of a cell line from mosquito *Anopheles albimanus* (Diptera: Culicidae). *Mem. Do Inst. Oswaldo Cruz* 92: 123-128.
- BELLO, F. J.; JIMÉNEZ, M. E.; FERRO, C. 1997b. Iniciación de cultivos celulares primarios de *Lutzomyia shannoni* (Diptera: Psychodidae) y estudio citogenético preliminar de la especie. *Biomédica* 17: 49 -55.
- BELLO, F. J.; JIMÉNEZ, M. E.; RODRÍGUEZ, J. A.; CABRERA, O. L.; FERRO, C. 1998. Estudio de los cultivos celulares primarios de *Lutzomyia torvida* (Diptera: Psychodidae). *Diógenes* 5: 43-52.
- BELLO, F. J.; RODRÍGUEZ, J.; MORALES, A.; OLANO, V. 1999. Estudio de cultivos celulares primarios de *Psorophora confinnis* (Diptera: Culicidae). *Biomédica* 19 (2):127-135
- BELLO, F. J.; RODRÍGUEZ, J. A.; ESCOVAR, J.; OLANO, V.; MORALES, A.; GONZÁLEZ, M.; REY, G. 2001. A new continuous cell line from the mosquito *Psorophora confinnis* (Diptera: Culicidae) and its susceptibility to infections with some arboviruses. *Mem do Inst. Oswaldo Cruz* 96: 865-873.
- BELLO, F.; PALAU, M.; ESCOVAR, J.; CANO, R.; GARNICA, S. 2002. Análisis morfológico de dos líneas celulares y susceptibilidad a la infección con *Leishmania panamensis*. *Revista de Investigación. Departamento de Investigaciones, Universidad de La Salle* 2: 59-73.
- BELLO, F. J.; MEJÍA, A. J.; CORENA, M.; AYALA, M.; SARMIENTO, L.; ZÚÑIGA, C.; PALAU, M. 2005. Experimental infection of *Leishmania (L) chagasi* in a cell line derived from *Lutzomyia longipalpis* (Diptera: Culicidae). *Mem. Do Inst. Oswaldo Cruz* 100 (6): 519-525.
- CASTAÑEDA, N.; CASTELLANOS, J.; ZAPATA, A.; BELLO, F. 2007. Análisis de la susceptibilidad de una línea celular de *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) a la infección con los virus dengue 2 y fiebre amarilla. *Revista Acta Biológica* 12 (2): 49-59.
- CRUZ, M.; BELLO, F. J. 2012. Características de cultivos celulares primarios derivados de *Sarconesiopsis magellanica* (Le Guillou, 1842) (Diptera: Calliphoridae). *Revista U.D.C.A. Actualidad & Divulgación Científica* 15 (2): 313-321.
- DAY, M. F.; GRACE, T. D. C. 1959. Cultures of insect tissues. *Annu. Rev. Entomol* 4: 17-38.
- ECHEVERRY, L. C.; ZAPATA, A. C.; SEGURA, N. A.; BELLO, F. 2009. Estudio de cultivos celulares primarios derivados de *Lucilia sericata* (Diptera: Calliphoridae). *Rev. Cienc. Salud* 7: 17-28.
- ELIAS, C. B.; JARDIN, B.; KAMEN, A. 2007. Recombinant protein production in large-scale agitated bioreactors using the baculovirus expression vector system. *In: Murhammer D. W. (ed.) Methods in molecular biology series. Baculovirus and insect cell expression protocols. Springer, New York, 225-245 p.*
- FRESHNEY, R. I. 1987. Culture of animal cells a manual of basic technique, Second Edition. A. John Wiley & sons, Inc. Publications USA. 7 – 12 p, 197-206 p.
- GLASER, R. W. 1917. The growth of insect blood cells *in vitro*. *Psyche* 24: 1-6.
- GRACE, T. D. C. Establishment of four strains of cells from insect tissues grown in vitro. *Nature (London)* 195: 788-789; 1962.

- GU, J.; LIU, M.; DENG, Y.; PENG, H.; CHEN, X. 2011. Development of an efficient recombinant mosquito densovirus-mediated RNA interference system and its preliminary application in mosquito control. PLoS One. 6: e21329.
- GUY S. G.; CYNTHIA, L.; GOODMAN-DAVID S. 2009. Insect cell culture and applications to research and pest management. In Vitro Cell.Dev.Biol.-Animal 45:93–105.
- HARRISON, A. M.; RAE, I. F. 1997. General techniques of cell culture. Handbooks in practical animal cell biology. Cambrige University Press. 523 p.
- IGARASHI, A. I. 1985. Mosquito cell culture and study of Artrophod-borne togaviruses. Ad. Virus. Res. 30: 21-42.
- IKONOMOU, I.; SCHENEIDER, Y. J.; AGATHOS, S. N. 2003. Insect cell culture for industrial production of recombinant proteins. Appl. Microbiol. Biotechnol. 62: 1-20.
- KITAMURA, S. 1965. The *in vitro* cultivation of tissues from the mosquito *Culex pipiens* var. *molestus*. II. A improved culture medium useful for ovarian tissue culture. Kobe J. Med. Sci. 11 : 315-433.
- LYNN, D. 2001. Novel techniques to establish new insect cell lines. In vitro Cell. Dev. Biol. Animal. 37: 319-321.
- LYNN, D. E. 2007. Available lepidopteran insect cell lines. In: Murhammer D. W. (ed). Methods in molecular biology series. Baculovirus and insect cell expression protocols. Springer, New York, 117-144 p.
- MASTERS, J. R. W. 2001. Animal Cell Culture. A Practical Approach. Third edition. Oxford University Press. New York. 578 p.
- MATINDOOST, L.; CHAN, L. C.; QI, Y. M.; NIELSEN, L. K.; REID, S. 2012. Suspension culture titration: A simple method for measuring baculovirus titers. J Virol Methods 183: 201-9.
- MIRANDA, A.; SERRANO, W.; AYALA, M.; BELLO, F. 2005. Evaluación del proceso infectivo de *Leishmania chagasi* en la línea celular Lulo, con base en variables ambientales y físicoquímicas. Revista de medicina Veterinaria. 10: 23-38.
- MIRANDA, A.; SARMIENTO, L.; CALDAS, M. L.; ZAPATA, C.; BELLO, F. 2008. Morfología y citoquímica de cultivos celulares de *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) y susceptibilidad a *Leishmania panamensis* (Kinetoplastida: Trypanosomatidae). Revista de Biología Tropical 56: 447-458.
- PAROLA, A. D.; SCIOCCO-CAP, A.; GLIKMANN, G.; ROMANOWSKI, V. 2003. An immunochemical method for quantitation of *Epinotia aporema* granulovirus (EpapGV). J Virol Methods 112-2): 13-21.
- REY, G.; FERRO, C.; BELLO F. J. 2000. Establishment and characterization of a new continuous cell line from *Lutzomyia longipalpis* (Diptera: Psychodidae) and its susceptibility to infections with arboviruses and *Leishmania chagasi*. Mem. Do Inst. Oswaldo Cruz. 95(1): 103-110.
- SEGURA, N. A.; SANTAMARÍA, E.; CABRERA, O. L.; BELLO, F. 2012. Establishment and characterisation of a new cell line derived from *Culex quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae). Mem Inst Oswaldo Cruz. 107(1):89-95.
- TRAGER, W. J. 1938. Multiplication of the virus of equine encephalomyelitis in surviving mosquito tissue. Amer. J. Trop. Med. 18:337-393.
- TRAGER, W. J. 1953. Cultivation of virus grasserie in silkworm tissue. J. Exp. Med 61: 501–513.
- WYATT, S. S. 1956. Culture *in vitro* of tissue from the Silkworm *Bombix mori*. J. Gen Physiol 39: 841-852.
- YUNKER, C. E. 1987. Arboviruses in Arthropod cells. In vitro. Vol 1. Boca ratón, FL:CRC,: 25p.

ZAPATA, A. C.; CÁRDENAS, E.; BELLO, F. J. 2005. Characterization of cell cultures derived from *Lutzomyia spinicrassa* (Diptera: Psychodidae) and their susceptibility to infection with *Leishmania (Viannia) braziliensis*. Medical Science Monitor 11 (12): 457-464.

Red de vigilancia de la resistencia a insecticidas de uso en salud pública en Colombia

Liliana Santacoloma Varón¹

¹Bióloga Entomóloga, Magister en Ciencias agrarias énfasis en entomología. Laboratorio de Entomología, Instituto Nacional de Salud. lisantacoloma@gmail.com; lsantacoloma@ins.gov.co.

Introducción

En Colombia, la prevalencia de enfermedades de transmisión vectorial (ETV) como el dengue, malaria, chagas y leishmaniasis se ve favorecida por factores de tipo geográfico como la ubicación en la región tropical y la presencia de casi el 80% de los asentamientos humanos por debajo de los 1800 msnm. Lo anterior agravado por determinantes de tipo social y económico, tales como, la colonización, migración interna, cultivos ilícitos y explotación minera en las áreas rurales y en conglomerados urbanos, el crecimiento desorganizado y las deficiencias en programas de gestión y saneamiento básico, entre otras (Ministerio de Salud y Protección Social 2013). En este contexto, el dengue y la malaria son las enfermedades transmitidas por insectos que causan los mayores índices de morbimortalidad en las poblaciones humanas en áreas de riesgo en Colombia. Para el control de la malaria, el país adoptó las estrategias del programa “Hacer Retroceder la Malaria en el Mundo” propuesto por la Organización Mundial de la Salud, el cual se basa en: 1) la interrupción del ciclo infectivo de la enfermedad, mediante el diagnóstico y tratamiento oportuno, 2) el fortalecimiento de la vigilancia en salud pública a nivel local y, 3) el control selectivo de vectores (OMS 1994). Para el dengue las estrategias se centran en: 1) control integrado del vector, el cual incluye saneamiento del medio y control químico en situaciones de emergencia y en criaderos, en los cuáles no sea posible otro tipo de control, 2) cooperación intersectorial de los sectores públicos y privados y 3) participación social (OPS 1995, Ministerio de Protección Social 2005).

La medida de elección para el control de los vectores de malaria en zonas de alta transmisión consiste en la utilización de toldillos insecticidas de larga duración (TILD) y aspersión con productos químicos residuales al interior de las viviendas. Las moléculas utilizadas como ingrediente activo de los TILD son los piretroides deltametrina, alfacipermetrina y permetrina. Para las aplicaciones intradomiciliarias además de los piretroides mencionados se utiliza lambdacialotrina y el organofosforado fenitrotión. Con respecto al dengue, el control químico del *Aedes aegypti* adulto, se realiza aplicando insecticidas espaciales ultrabajovolumen como el organofosforado malatión y los piretroides deltametrina y lambdacialotrina, para el control focal de larvas se utiliza el organofosforado temefos y en menor medida, algunos inhibidores de crecimiento y de síntesis de quitina como el novalurón, diflubenzurón y piriproxifen.

La efectividad del control químico utilizado para cortar la transmisión de estas enfermedades, se puede afectar por la presencia de resistencia en las poblaciones del vector. Con

el propósito de obtener evidencias que apoyaran la toma de decisiones relacionadas con la selección adecuada de insecticidas por parte del programa nacional y los programas departamentales de control de vectores, en el año 2005 gracias a un proyecto multicéntrico, se creó la Red de Vigilancia de la Resistencia a Insecticidas (RVRI) de uso en salud pública, la cual está conformada por las unidades de entomología departamentales, los centros de investigación y universidades bajo la coordinación del Laboratorio de Entomología del Instituto Nacional de Salud. Desde entonces, se han obtenido resultados de resistencia de los vectores primarios de malaria (*Anopheles darlingi* Root, 1926, *Anopheles albimanus* Wiedemann, 1820, *Anopheles nuneztovari* Gabaldón, 1940) y del vector del dengue *Ae. aegypti* Linnaeus, 1762 de localidades priorizadas a las principales moléculas insecticidas utilizadas en el país y se han dilucidado algunos mecanismos de resistencia de tipo metabólico y modificación del sitio blanco, responsables de la presencia de resistencia en algunas poblaciones.

Metodologías aplicadas en la determinación de resistencia a insecticidas

Los insecticidas de salud pública evaluados por la Red VRI corresponden a los piretroides deltametrina, lambdacialotrina y permetrina, los organofosforados malatión y fenitrotrión, el organoclorado DDT, los carbamatos bendiocarb y propoxur. Adicionalmente se evalúa el temefos, larvicida de tipo organofosforado.

La determinación de la resistencia de mosquitos adultos a insecticidas se lleva a cabo utilizando dos metodologías, las pruebas biológicas OMS, 1981 y las pruebas de botella CDC, 1998. Las pruebas OMS consisten en papeles impregnados con una dosis única y específica de un insecticida que actúa como matriz, sobre la cual se exponen durante un tiempo único los mosquitos adultos muestreados a partir de las poblaciones de mosquitos, la mortalidad se mide a las 24 horas posterior a la exposición (OMS 1981a). La técnica de las botellas impregnadas, estandarizada por el Centro para el Control y Prevención de Enfermedades Tropicales de Atlanta (CDC), consiste en someter una muestra de mosquitos adultos sobre una superficie de vidrio (Brogdon y McAllister 1998) impregnada con una dosis diagnóstica. El objetivo de esta técnica es medir el tiempo que tarda la dosis diagnóstica de un insecticida en llegar al sitio blanco de acción en el organismo del mosquito (Ocampo 2000). Por otro lado, la resistencia de *Ae. aegypti* al larvicida temefos se determina mediante pruebas de resistencia de larvas de la OMS 1981, la cual consiste en exponer los individuos a una dosis predeterminada del producto, el cuál es disuelto previamente en agua (OMS 1981c).

Con el propósito de conocer los mecanismos enzimáticos responsables de la resistencia fisiológica a los insecticidas, se realizan pruebas colorimétricas (Brogdon 1984, Brogdon *et al.* 1997), utilizando un lector de ELISA (Thermo Labsystems®) que mide las densidades ópticas a longitudes de onda predeterminadas. A través de esta técnica se miden los niveles de enzimas esterasas inespecíficas (ENE), monooxigenasas del citocromo P450 (CIP450) y acetilcolinesterasa modificada (ACEM).

Con el propósito de conocer los mecanismos enzimáticos responsables de la resistencia, se realizan pruebas colorimétricas, utilizando un lector de Elisa.

Resultados y discusión

|

Desde la creación de la Red de VRI en 2005 hasta el año 2011 ha sido posible evaluar la susceptibilidad de poblaciones de *Ae. aegypti* de 172 localidades ubicadas en 23 departamentos (Figura 1).

Los resultados evidencian resistencia de todas las poblaciones de *Ae. aegypti* al organoclorado DDT. Con respecto a los piretroides, se presentan diferencias entre moléculas del mismo grupo, para lambdacialotrina el 52% (64/114) de las poblaciones evaluadas han evidenciado resistencia a este insecticida y el 28% (24/85) a deltametrina. Con respecto a los organofosforados, el 22% (22/101) de las poblaciones evaluadas han evidenciado resistencia al fenitrotión y 41% (55/135) a temefos (tablas 1-3, figura 1).

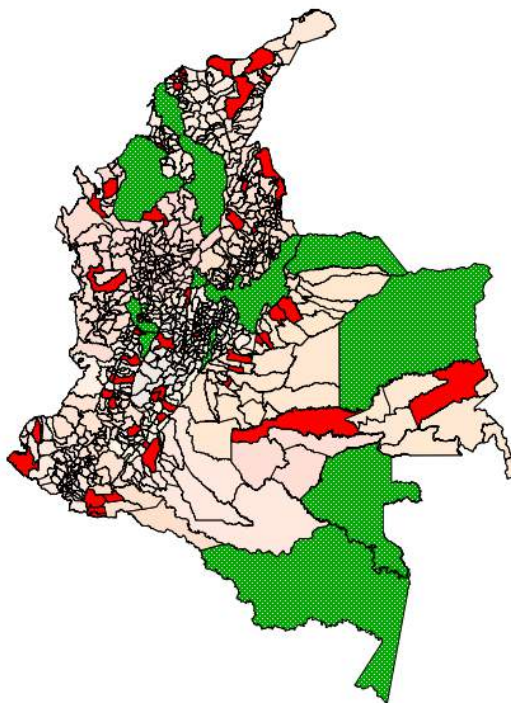


Figura 1. Ubicación de las poblaciones de *Aedes aegypti* evaluadas para susceptibilidad a insecticidas de uso en salud pública. (color rosado: localidades susceptibles; color rojo: localidades resistentes; color verde: sin resultados).

La resistencia al organoclorado DDT presente en la totalidad de poblaciones naturales de *Ae. aegypti* evaluadas hasta el momento en Colombia, permite suponer que las actuales poblaciones

del vector provienen de una población de Cúcuta en Norte de Santander a partir de la cual se reinfestó el país. Lo anterior, teniendo en cuenta que el país estuvo libre del vector después de la campaña 'antiaegypti' llevada a cabo entre los 1950s a 1970s (Cruz 2002) a excepción de este municipio que evidenció resistencia al DDT en 1956 (Busvine J.R y Coker W 1958, Mazzarri M y Georghiou G 1995). Con respecto a los mecanismos enzimáticos responsables de la resistencia al DDT, los estudios de resistencia en poblaciones colombianas de *Ae. aegypti* han encontrado asociación entre niveles altos de GTSs y la resistencia a esta molécula (Fonseca *et al.* 2006).

Los resultados compatibles con resistencia a lambdacialotrina se relacionan con la presión de selección ejercida con este insecticida, el cual ha sido una de las moléculas más utilizadas en los programas de control del dengue junto con el malatión, luego de la suspensión del uso del DDT (Santacoloma 2010). No obstante la presión ejercida con malatión, ninguna de las poblaciones evaluadas hasta el momento ha evidenciado resistencia a esta molécula, lo cual coincide con algunos autores que han encontrado mayores niveles de resistencia fisiológica a piretroides que a organofosforados. (Hamdan *et al.* 2005, Montada *et al.* 2005, Bisset *et al.* 2004, Bisset *et al.* 2003, Rawlins y Hing 1995). Estas diferencias probablemente se encuentran asociadas con los mecanismos enzimáticos responsables de la resistencia para cada molécula insecticida, en el caso particular de lambdacialotrina, en Colombia se ha encontrado asociación en poblaciones resistentes a esta molécula con el nivel elevado de esterasas inespecíficas (Santacoloma 2010).

La resistencia generalizada a temefos se relaciona con el uso como tratamiento focal de elección en zonas endémicas de Colombia. Los hallazgos de resistencia cruzada entre los piretroides deltametrina y cepermetrina con el organofosforado temefos en Brasil (Melo-Santos 2009) plantean la posibilidad de la existencia de resistencia cruzada entre lambdacialotrina y el larvicida temefos en Colombia, sin embargo, se requieren estudios que permitan resolver este interrogante.

Vectores de malaria

Durante los años 2005 - 2011, Colombia ha evaluado de manera periódica la susceptibilidad de poblaciones naturales de *An. albimanus*, *An. darlingi* y *An. nuneztovari*, procedentes de 38 localidades, ubicadas en 29 municipios de 13 departamentos, identificando problemas de resistencia en nueve (24%) del total de localidades evaluadas, siendo lambdacialotrina el insecticida con el mayor número de poblaciones resistentes (6/9), seguido de DDT (2/9), deltametrina (2/9) y fenitrotión (1/9). En todas las poblaciones con presencia de resistencia a dos insecticidas, al menos uno de ellos corresponde a lambdacialotrina. Lo anterior se explica por la presión ejercida con esta molécula, una de las más utilizados por los programas departamentales de control de vectores (Fonseca y Quiñones 2009; Santacoloma y Chaves 2012).

La mayor proporción de poblaciones resistencia a insecticidas de tipo piretroide en casi la totalidad de poblaciones resistentes 8/9, con respecto a los demás grupos evaluados, sugiere que se debe continuar con la vigilancia de la resistencia en localidades intervenidas con TILD. Esto con

el fin de conocer las moléculas que potencialmente puedan incluirse en un programa de rotación (figura 2, tabla 4).

Conclusiones

La implementación de la vigilancia de la resistencia a insecticidas de uso en salud pública constituye una medida preventiva que sumada al monitoreo de la calidad de las intervenciones químicas, permite preservar la eficacia de las moléculas insecticidas utilizadas en la interrupción de transmisión en casos de epidemia.

Los resultados generados por la red de Vigilancia de la resistencia a insecticidas han contribuido a la toma de decisiones relacionadas con la suspensión de algunas moléculas insecticidas utilizadas para el control de vectores y su utilización se ha condicionado a la evidencia de resultados de susceptibilidad. Sin embargo, el país requiere avanzar hacia el diseño de programas de rotación de insecticidas dentro del manejo integrado y selectivo de vectores.

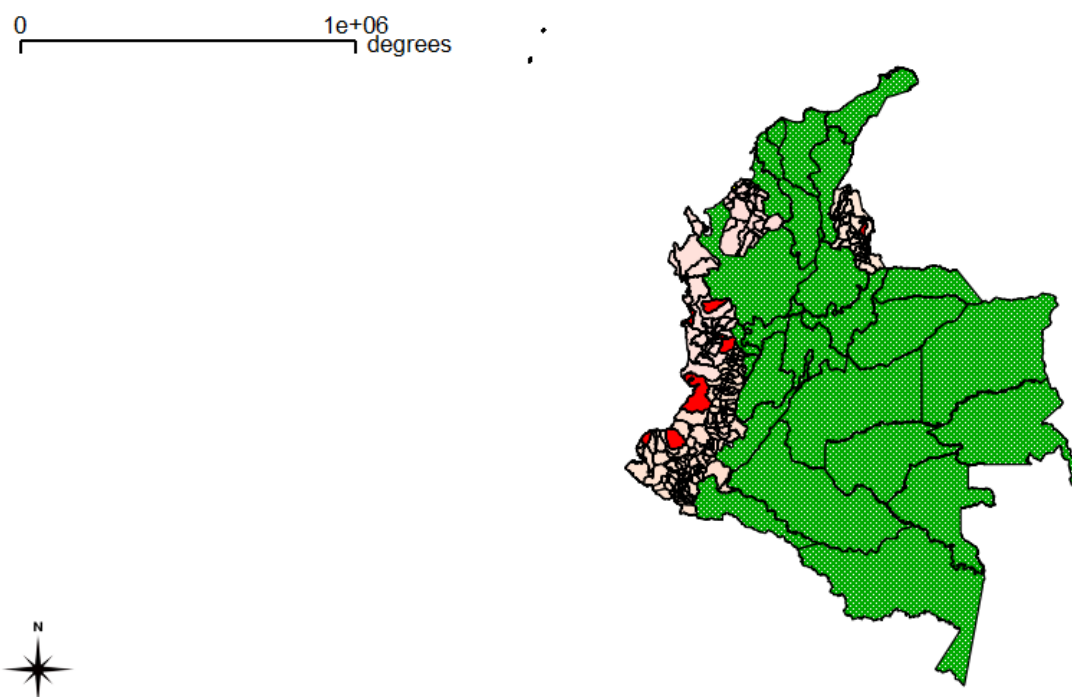


Figura 2. Ubicación de las poblaciones de malaria evaluadas para susceptibilidad a insecticidas de uso en salud pública. (color rosado: localidades susceptible; color rojo: localidades resistentes; color verde: sin resultados).

La evidencia de resistencia generada por la utilización prolongada de un mismo insecticida, plantea la necesidad de disminuir la presión de selección, mediante el fortalecimiento de otras medidas de control del vector como la destrucción de criaderos, el control físico, el uso de insecticidas biológicos y particularmente, mediante la implementación de estrategias de acción-participación a la comunidad que ha mostrado resultados favorables en varios países

Literatura citada

- BISSET, J. A.; RODRÍGUEZ, M. M.; CÁCERES, L. 2003. Niveles de resistencia a insecticidas y sus mecanismos en 2 cepas de *Aedes aegypti* de Panamá. Rev. Cubana Med. Trop. 55: 191-5.
- BISSET, J. A.; RODRÍGUEZ, M. M.; FERNÁNDEZ, D.; PÉREZ, O. 2004. Estado de la resistencia a insecticidas y mecanismo de resistencia en larvas del municipio Playa, colectadas durante la etapa intensiva contra *Aedes aegypti* en Ciudad de La Habana, 2001-2002. Rev. Cubana Med Trop 56: 61-66.
- BISSET, J. A.; RODRÍGUEZ, M. M.; FERNÁNDEZ, D.; PÉREZ, O. 2004. Estado de la resistencia a insecticidas y mecanismo de resistencia en larvas del municipio Playa, colectadas durante la etapa intensiva contra *Aedes aegypti* en Ciudad de La Habana, 2001-2002. Rev. Cubana Med. Trop. 56: 61-65.
- BROGDON, W. 1984. Microassay of acetylcholinesterase activity in small portions of single mosquito homogenates. Comp Biochem Physiol B.; 96: 339-42.
- BROGDON, W.; MCALLISTER, J.; VULULE, J. 1997. HEME peroxidase activity measured in single mosquitoes identifies individuals expressing and elevated oxidases for insecticide resistance. J Am Mosq Control Assoc. 13: 233-37.
- BROGDON, W.; McALLISTER, J. 1998. Simplification of adult mosquito bioassays through use of time-mortality determinations in glass bottles. J. Am Mosq Control Assoc. 14: 159-64.
- BUSVINE, J. R., COKER, W. 1958. Resistance patterns in DDT resistant *Aedes aegypti*. Bull WHO. (18): 651-656.
- CRUZ, R. R. 2002 Strategies for controlling dengue and *Aedes aegypti* in the Americas. Rev Cubana Med Trop. (54): 189--201.
- FONSECA, I.; QUIÑONES, M.; McALLISTER, J.; BROGDON, W. 2009. Mixed-function oxidases and esterases associated with cross-resistance between DDT and lambda-cyhalothrin in *Anopheles darlingi* Root 1926 populations from Colombia. Mem. Inst. Oswaldo Cruz 1: 18-26.
- FONSECA, I.; BRANT, T.; QUIÑONES, M. L.; BROGDON, W. G. 2006. Increased glutathione S-transferases associated to DDT resistance in *Aedes aegypti* from Colombia. Clark GG, Rubio-Palis Y, eds. J. Am. Mosq. Control Assoc. 22: 738.
- HAMDAN, H.; SOFIAN-AZIRUN, M.; AHMAD, N. 2005. Insecticide resistance development in *Culex quinquefasciatus* (Say), *Aedes aegypti* (L.) and *Aedes albopictus* (Skuse) larvae against malathion, permethrin and temephos. Trop. Biomed 22: 45-52.

- MAZZARRI, M.; GEORGHIOU G. 1995. Characterization of resistance to organophosphate carbamate and pyrethroid insecticides in field populations of *Aedes aegypti* from Venezuela. J. Am. Mosq. Control Assoc. (11): 315-22.
- MELO-SANTOS, M.; VARJAL-MELO, ARAUJO A.; GOMES, S.; PAIVA, S.; REGIS, FURTADO F.; MAGALHAES, T.; MACORIS M.; ANDRIGHETTI, M.; AYRES, C. 2009. Resistance to the organophosphate temephos: mechanisms, evolution and reversion in an *Aedes aegypti* laboratory strain from Brazil, *Acta Tropica*. 10.015.
- MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL (MPS) 2005. Hacia una Colombia equitativa e incluyente. Informe de Colombia, objetivos de desarrollo del milenio.153-160 p.
- MONTADA, D.; CASTEX, M.; SUÁREZ, S.; FIGUEREDO, D.; LEYVA, M. 2005. Estado de la resistencia a insecticidas en adultos del mosquito *Aedes aegypti* del municipio de Playa, Ciudad de la Habana, Cuba. Rev. Cubana Med. Trop. 57: 137-42.
- MPS, OPS. 2013. Estrategia de Gestión Integrada para la promoción, prevención y control de las enfermedades transmitidas por vectores en Colombia, 2012-2021 (sin publicar).
- OCAMPO, C.; BOGDON, W.; ORREGO, C.; TORO, G.; MONTOYA-LERMA; J. 2000. Insecticide susceptibility in *Anopheles pseudopunctipennis* from Colombia: comparison between bioassays and biochemical assays. J Am Mosquito Control Assoc 16: 331-338.
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS) 1981a. Instructions for determining the susceptibility or resistance of adult mosquitoes to organochlorine, organophosphorus and carbamate insecticides. Establishment of the base-line. WHO/VBC/81.805.
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS) 1981c. Instructions for determining the susceptibility or resistance of mosquitoes larvae to insecticide. Unpublished document.WHO/VBC/81.807.
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS) 1994. Una estrategia mundial para combatir el paludismo. Ginebra, OMS
- ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD (OPS).1995. Dengue y dengue hemorrágico en las américas: guías para su prevención y control. Washington, D.C. 108 p.
- RAWLINS, S.; HING, W. 1995. Resistance in some Caribbean populations of *Aedes aegypti* to several insecticides. J. Am. Mosq. Control Assoc. 11: 59-65.
- SANTACOLOMA, L.; TIBADUIZA, T.; GUTIÉRREZ, M.; BROCHERO, H. 2012. Sensibilidad de *Anopheles darlingi* Root 1840 a insecticidas en dos localidades de los departamentos de Santander y Caquetá, Colombia. Biomédica 32 (Supl): 22-28
- SANTACOLOMA VARÓN, L.; CHAVES CÓRDOBA, B.; BROCHERO, H. L. 2010. Susceptibilidad de *Aedes aegypti* a DDT, deltametrina y lambdacialotrina en Colombia. Rev. Panam. Pública 27 (1): 66-73.

Tabla 1. Poblaciones de *Aedes aegypti* de Colombia resistentes a lambdacialotrina, temefos y fenitrotión, años 2004 – 2007.

Departamento	Localidad	Lambdacialotrina	Temefos	Fenitrotión
Norte de Santander	Cúcuta A	X		
	Cúcuta- Ospina Perez		X	X
	Cúcuta B	X		
	Cúcuta C	X		X
	Los Patios-Nazaret	X	X	
	Tibú- La Esperanza	X	X	X
Antioquia	Turbo- Santa Fé			X
Atlántico	Malambo	X		
	Soledad- La Floresta	X		
	Soledad- Villa Katanga	X		
Chocó	Quibdó-Jardín	X		X
	Quibdó-Medrano	X		
	Quibdó-Las margaritas	X		
	Quibdó- Paraíso			X
	Quibdó- La Playita	X		
Putumayo	La Hormiga-Valle del Guanéz	X		X
	Doradal- San Miguel	X		X
	Orito		X	X
	Puerto Caicedo		X	X
Santander	Bucaramanga comuna 17	X		
	Sabana de Torres 1		X	
	Sabana de Torres 2		X	
Meta	Villavicencio Comuna 5	X	X	
	Villavicencio Comuna 7	X		
Caquetá	Florencia	X		
Guaviare	San José Comuna	X		
Cundinamarca	La Mesa 1	X		
	Girardot 1		X	
	Girardot 3		X	
Nariño	Tumaco	X	X	X
	Olaya Herrera	X		X
Tolima	Ibagué A	X		
Magdalena	Santa Marta A	X		
	Santa Marta B	X		
César	Valledupar - Primero de Mayo	X		
	Valledupar-A	X		
	Valledupar- La Nevada	X		
Guainía	Puerto Inírida	X		
Huila	Campoalegre		X	X
	Guadalupe		X	X
	La Plata		X	
	Neiva Comuna 1		X	
Valle del Cauca	Cartago		X	X
	Palmira		X	X
Cauca	Santander de Quilichao		X	

X: presencia de resistencia

Tabla 2. Poblaciones de *Aedes aegypti* de Colombia resistentes a lambdacialotrina, deltametrina temefos y fenitrotión, años 2008 – 2009.

Departamento	Localidad	Lambdacialotrina	Deltametrina	Temefos	Fenitrotión
Atlántico	Malambo- Montecarlo	X			
	Soledad- La Floresta	X			
	Soledad- Villa Katanga	X			
	Soledad-Los almendros			X	
	Soledad- Costa Hermosa			X	
	Barranquilla	X			
	Puerto Colombia			X	
	Juan de Acosta			X	
	Juan de Acosta	X			
	Sabanalarga			X	
	Sabanagrande			X	
	Galapa	X			
Caldas	La Dorada- Las Margaritas			X	
Casanare	Yopal comuna 5	X			
	Yopal comuna 3	X	X		
	Yopal comuna 2	X	X		
	Villanueva 1	X	X		
	Villanueva 2	X	X		
	Aguazul 1	X			
	Aguazul 2	x	X		
Guaviare	San José Sector 3			X	
	San José Sector 5			X	
Cundinamarca	La Mesa 1				
	Girardot 1				
	Girardot 3				
César	Valledupar - Primero de Mayo	X	X	X	
	Valledupar- La Nevada	X	X		
Huila	Neiva Comuna 6	X	X		X
	Neiva Comuna 9	X	X		X
	Neiva Comuna 10	X	X		X
	Neiva Comuna 1				
	Campoalegre				X
	Aipe				X
Valle del Cauca	Yumbo			X	
	Jamundi			X	
	Palmira comuna 7			X	
	Cartago comuna 8			X	
	Tuluá Comuna 1			X	
Cauca	Santander de Quilichao				
La Guajira	Fonseca	X			
	Riohacha			X	
Sucre	Corozal-El tendal			X	
	Corozal-Los Alpes			X	

X: presencia de resistencia

Tabla 3. Poblaciones de *Aedes aegypti* de Colombia resistentes a lambdacialotrina, deltametrina, Permetrina, temefos y fenitrotión, años 2010 – 2011.

Departamento	Localidad	Lambdacialotrina	Deltametrimina	Permetrina	Temefos	Fenitrotión
Norte de Santander	Ocaña				X	
	Cúcuta- Ospina Pérez	X		X		
	Cúcuta- Aeropuerto	X	X	X	X	
Antioquia	Caucasia			X		
	Tarazá	X		X		
	Soledad- Villa Katanga	X			X	
	Soledad –Floresta	X			X	
Atlántico	Soledad- Montecarlo	X	X	X		
	Soledad-Costa Hermosa				X	
	Soledad Almendro				X	
	Soledad-Pumarejo	X	X		X	
	Soledad El esfuerzo				X	
	Jua de Acosta	X			X	
	Galapa	X	X	X	X	
	Puerto Colombia- Pastrana	X	X	X	X	X
Meta	Villavicencio Comuna 8	X				
	Granada	X				
	Barranca de Upía	X				
	Castilla La Nueva	X		X		
	La Dorada- Las Ferias				X	
Caldas	Viterbo				X	
Guaviare	San José Centro				X	
La Guajira	Fonseca	X				
	Riohacha				X	
Cesar	Valledupar-Comuna 3			X		
	Valledupar- Comuna 5			X		
	Campoalegre					

X: presencia de resistencia

Tabla 4. Poblaciones de tres especies vectores de malaria en Colombia, resistentes a lambdacialotrina, deltametrina, DDT, malatión y fenitrotión, años 2005 – 2011

Departamento/ Localidad	Especie	Lambdacialotrina	Deltametrina	DDT	Malatión	Fenitrotión
Córdoba Broqueles- Moñitos	<i>An. albimanus</i>	X			X	
Norte de Santander Santa Rosa-El Zulia	<i>An. nuneztovari</i>	X				X
Chocó Encharcazón- Río Iró	<i>An. nuneztovari</i>	X	X			
Chocó Amé- Beté	<i>An. darlingi</i>	X		X		
Chocó La Italia- Sn José del Palmar	<i>An. nuneztovari</i>		X			
Chocó Panguí- Nuquí	<i>An. albimanus</i>	X				
Valle del Cauca Citronela- Buenaventura	<i>An. nuneztovari</i>	X				
Cauca Bella Vista- Guapi	<i>An. albimanus</i>			X		
Nariño Alto Guandipa - Mosquera	<i>An. albimanus</i>		X			

***Aedes aegypti* en área rural: Implicaciones en Salud Pública**

Víctor Alberto Olano¹, Sandra Lucía Vargas², María Inés Matiz³ y Juan Felipe Jaramillo⁴

¹ Especialización Entomología, Instituto de Salud y Ambiente. Universidad El Bosque Calle 131 No 7A-46. olanovictor@unbosque.edu.co.

² M.Sc. Salud Pública. Instituto de Salud y Ambiente. Universidad El Bosque. Calle 131 No. 7A-46. vargassandra@unbosque.edu.co. ³

Candidata a doctorado Microbiología. Instituto de Salud y Ambiente. Universidad El Bosque. Calle 131 No. 7A-46.

matizmaria@unbosque.edu.co. ⁴ Ingeniero Ambiental. Instituto de Salud y Ambiente. Universidad El Bosque. Calle 131 No. 7A-46.

jjaramillo@unbosque.edu.co

Introducción

La presencia de enfermedades transmitidas por vectores como el dengue, malaria, leishmaniasis, fiebre amarilla, enfermedad de Chagas y encefalitis equina, entre otras, tienen gran impacto no solo sobre la salud del hombre y sus animales domésticos, sino en el desarrollo socioeconómico de la sociedad debido a las pérdidas económicas que causa su permanente actividad.

El dengue, enfermedad emergente y reemergente representa actualmente un grave problema de salud pública en extensas áreas de las regiones tropicales y subtropicales de América, Asia Suroriental y el Pacífico, África y la región Mediterránea Oriental (OMS-TDR 2009). La Organización Mundial de la Salud (OMS) calcula que anualmente se pueden presentar 50 millones de casos de esta enfermedad en todo el mundo (OMS 2013).

En América, se ha convertido actualmente en la enfermedad viral más importante transmitida por mosquitos. En Colombia representa un problema prioritario en salud pública y su transmisión en el país es el producto de la interacción de factores ambientales, sociales, culturales y políticos o macrodeterminantes y de factores específicos relacionados con la dinámica de transmisión del virus como son el huésped, los agentes virales y los vectores o microdeterminantes. Entre los macrodeterminantes podemos mencionar las variables climáticas (temperatura, humedad relativa y pluviosidad), la urbanización no planificada, las condiciones y calidad de vida de la población, factores culturales como la práctica de almacenar agua y la débil respuesta institucional para las acciones regulares de promoción, prevención y control de la enfermedad. Entre los microdeterminantes se consideran factores relacionados con los serotipos virales circulantes, la infestación por *Aedes aegypti* de más de 90% del territorio nacional situado por debajo de los 2.200 msnm y el estado de susceptibilidad y resistencia del *Ae. aegypti* frente a los insecticidas utilizados para su control (Padilla *et al.* 2012).

Dengue en Colombia

Se estima que en el país existe una población de 23.932.381 personas en riesgo de enfermar por dengue, principalmente en las cabeceras municipales (Padilla *et al.* 2012). A partir de su reemergencia en la década de los 70 la transmisión de esta enfermedad se ha intensificado en el

país, presentándose actividad de la misma hasta los 1800 msnm. De esta manera, esta enfermedad ha mostrado una tendencia creciente en el número de municipios que registran casos de dengue, pasando de 390 municipios endémicos en el año 1999 a 743 en el 2010 (Padilla *et al.* 2012). En la siguiente tabla se presenta el número de casos de dengue, dengue grave y muerte por dengue que se han registrado en el país desde el año 1999 hasta el año 2010. Este último año registró la mayor epidemia por dengue en Colombia.

Tabla 1. Serie de casos de dengue, Colombia 1990 a 2010¹

Año	Dengue	Dengue Grave	Total	Muerte
1990	17.389	31	17.420	-
1991	15.103	99	15.202	-
1992	20.130	494	20.624	-
1993	25.585	302	25.887	-
1994	27.274	568	27.842	-
1995	51.059	1028	52.087	-
1996	33.155	1757	34.912	25
1997	20.340	3950	24.290	28
1998	58.011	5043	63.054	30
1999	20.326	1136	21.462	3
2000	22.805	1834	24.639	19
2001	55.282	6568	61.850	61
2002	77.129	5269	82.398	97
2003	53.205	4976	58.181	155
2004	22.004	2195	24.199	157
2005	38.320	4311	42.631	70
2006	32.896	5375	38.271	101
2007	38.803	4645	43.448	116
2008	35.030	4817	39.847	101
2009	44.364	7118	51.482	74
2010	147.426	9776	157.202	221

¹ Fuente: Instituto Nacional de Salud. Informe Quincenal Epidemiológico Nacional (IQEN). 17 (6). 30 de Agosto de 2012.

Con relación a áreas de procedencia de los casos de dengue que se registraron en el país durante el año 2010, el 85% de los casos procedían de la cabecera municipal, 8% de centro poblado y un 7% de área rural disperso, comportamiento similar observado para dengue grave con 83%, 9% y 8% respectivamente (Instituto Nacional de Salud 2010). De los pocos trabajos documentados, se encontró en una investigación realizada en Apartadó (Antioquia) que el 17,2% de los casos procedían del área rural (Arboleda *et al.* 2006). Existe evidencia de transmisión de dengue en

áreas rurales en países latinoamericanos como Perú (Troyes *et al.* 2006), México (Sosa y Santos 2008), Ecuador (Connors 2008), Bolivia (CEPAL 2010) y Paraguay (Carpineli *et al.* 2007).

***Aedes aegypti* en Colombia**

El mosquito *Ae. aegypti* es considerado en las Américas como el vector principal del virus del dengue y un potencial vector del virus de la fiebre amarilla urbana. A su vez, esta especie ha sido incriminada como posible vector urbano de la encefalitis equina venezolana (Morales *et al.* 1998). Este mosquito, originario de África, fue introducido al continente americano durante la época de la conquista y la colonia, adquiriendo en el hemisferio occidental hábitos domésticos, desarrollándose en depósitos artificiales fabricados por el hombre y, secundariamente, en depósitos naturales, en áreas urbanas. Esta especie de mosquito está asociada a la vivienda humana, aún en áreas rurales (Gast-Galvis 1982).

El *Ae. aegypti* es de hábitos domésticos y sus criaderos son las albercas, llantas, floreros, latas, canales de desagüe en los techos, bebederos de animales, tanques para almacenamiento de agua para consumo, recipientes de barro, cisternas dañadas sin tapas en los baños, botellas, cáscaras y cortezas de coco, botellas de vidrio rotas que se colocan en los muros divisorios de las casas, floreros de los cementerios y criaderos naturales como las axilas de las hojas de las plantas entre otros (Tinker y Olano 1993). Se le ha encontrado en algunas regiones del país criándose en sumideros de agua lluvia (Giraldo *et al.* 2008).

Este insecto en Colombia, se le ha registrado generalmente en áreas urbanas por debajo de los 1.800 metros, sin embargo, se ha encontrado en Málaga (Santander) a 2.200 metros (Suárez y Nelson 1981). Hasta el año 1997, se le encuentra en 29 departamentos del país con excepción de Amazonas, Vaupés y Guainía (Olano *et al.* 1997), situación que se mantiene hasta el año de 2005 cuando se le detecta en el departamento del Guainía (Flórez y Trujillo 2005). Para el año de 2008 se le registra en el departamento del Amazonas (Rojas y Brochero 2008). Finalmente es hallado en el departamento del Vaupés en el año 2009 ocasionando un brote de dengue a comienzos del 2010 (Padilla *et al.* 2012).

Con relación al hallazgo de *Ae. aegypti* en área rural en Colombia, el primer sitio en donde fue encontrado fue en la vereda Santa Bárbara, municipio de La Mesa (Cundinamarca), hallazgo que tuvo gran importancia por las implicaciones en los programas de control del insecto (Morales 1981). Por esta razón, se decide realizar una encuesta en áreas rurales de algunos departamentos del país, encontrándose infestación rural por *Ae. aegypti* en nueve municipios de Cundinamarca, uno del Tolima, uno del Huila, dos del Cesar y dos de Santander (Nelson *et al.* 1984). Estudios posteriores realizados a partir del año 1999 permitió detectar esta especie en la vereda San Judas y las Inspecciones de Policía San Antonio y La Paz del municipio de Anapoima (MP. Carrillo, Unidad de Entomología, Laboratorio de Salud Pública de Cundinamarca, Secretaría de Salud de Cundinamarca, com. pers.).

***Aedes aegypti* en área rural del municipio de Anapoima (Cundinamarca)**

Las autoridades municipales de Anapoima identifican como problemática la escasa información en relación con posible transmisión de dengue en áreas rurales de este municipio. Por lo tanto, se vio la necesidad de realizar un estudio que revelara la situación real tanto de casos de la enfermedad como de la presencia y distribución del insecto vector. Fue así como, el Instituto de Salud y Ambiente de la Universidad El Bosque, con el apoyo de la Fundación Lazos de Calandaima y la Alcaldía Municipal desarrolló esta investigación, entre los meses de abril a diciembre del 2010.

Objetivos del estudio

- Determinar la infestación por *Aedes aegypti* en escuelas y viviendas rurales de Anapoima
- Analizar la información sobre la procedencia de los casos probables de dengue en el área rural del municipio de Anapoima.

Metodología

El municipio de Anapoima tiene en promedio, una altitud de 700 m, precipitación de 1300 mm, temperatura de 26° C y una extensión de 124.2 Km² (Alcaldía de Anapoima). Cuenta con una población de 13.659 habitantes de los cuales el 58% viven en el área rural.

El estudio realizado fue de tipo descriptivo, en el cual para el levantamiento de la información se calculó una muestra probabilística por conglomerados de las 30 veredas (684 viviendas).

Se inspeccionaron todos los criaderos potenciales (depósitos con agua) naturales y artificiales para *Ae. aegypti* y otras especies de mosquitos. La información se registró en el formulario nacional “Encuesta larvaria en el área rural”, diseñado por el Ministerio de la Protección Social y el Instituto Nacional de Salud para vigilancia del *Ae. aegypti*, al cual se le hicieron algunas modificaciones. Las formas inmaduras y adultas recolectadas en campo se procesaron de acuerdo con la metodología de Mendoza *et al.* 2000. Para la identificación de las formas inmaduras y adultas se usaron varias claves taxonómicas (Forattini 1965; Lane 1953; Cova-García 1966; Kumm *et al.* 1996; González 2005).

Por medio de una encuesta, se registró la información sobre las condiciones de abastecimiento y prácticas de almacenamiento de agua, como también la disposición de los residuos sólidos.

Para el levantamiento de la información epidemiológica, se revisaron las fichas de notificación de casos de dengue 2010 en la Alcaldía de La Mesa y los casos notificados al SIVIGILA procedentes de Anapoima 2010, en las bases de datos de la Secretaría de Salud de Cundinamarca.

Resultados

Con relación a la distribución del *Ae. aegypti* en el área rural del municipio de Anapoima, todas las veredas del municipio con excepción de Providencia Mayor registran esta especie. En la figura 1 se presentan los índices de infestación del mosquito *Ae. aegypti* en las veredas e inspecciones del área rural de este municipio. En las veredas El Vergel, Providencia García y San Judas aun cuando no se detectó la especie *Ae. aegypti* en su fase inmadura se registró en su fase adulta. En casi todas las veredas y en las inspecciones de San Antonio y La Paz se presentan altos índices de infestación aélicos.

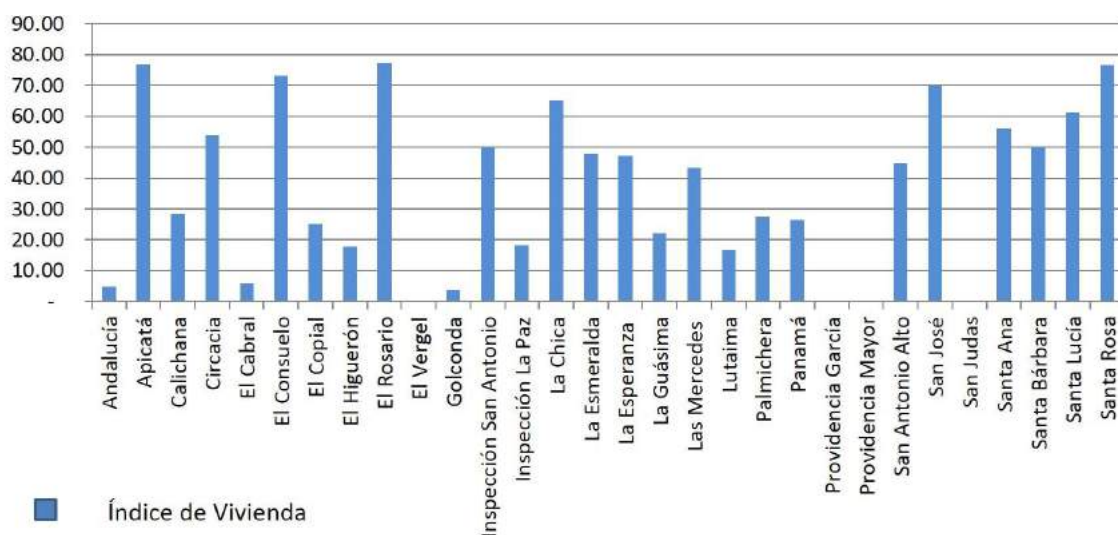


Figura 1. Índices de infestación por *Aedes aegypti* de las veredas e inspecciones de policía del área rural del municipio de Anapoima.

Con relación a los colegios y/o escuelas, se presentó infestación por larvas y/o adultos de *Ae. aegypti* en el 58% (11/19) de ellos; los depósitos más relevantes fueron los tanques bajos (tanques para almacenamiento de agua y albercas), los depósitos clasificados como diversos (latas, baldes, vasos desechables, botellas) y las llantas.

En relación a la situación de agua y saneamiento, se encontró que el 35% de las viviendas y el 40% de las escuelas son abastecidas por agua lluvia, mientras que el 65% de las viviendas y el 40% de las escuelas por acueducto. El 50% de las escuelas y viviendas abastecidas por acueducto no tienen un suministro diario del recurso. Por otro lado, el 70% de las viviendas y escuelas encuestadas disponen sus residuos a campo abierto.

Se registraron durante el 2010 un total de 69 casos probables de dengue, uno solo confirmado por IgM, de los cuales el 71% procedían de la cabecera municipal, el 14,5% de las inspecciones de policía (centro poblado) y el 14,5% del área rural. A su vez, el 57% no tenían

antecedentes de desplazamiento en los últimos 15 días y el 32% no se tenía información al respecto (fuente: Alcaldía de La Mesa).

¿Qué implicación en salud pública tienen estos resultados?

Es necesario partir de la definición sobre que es vigilancia en salud pública. La vigilancia en salud pública es un proceso sistemático y continuo de recolección, análisis e interpretación de la situación de salud, así como la divulgación e información de estos análisis para utilizarlos en la promoción, orientación, planificación y evaluación de la práctica en salud (Center for Diseases Control - CDC-, 1986). El objetivo de la vigilancia en salud pública de esta enfermedad es cuantificar y caracterizar el comportamiento del dengue para definir medidas de prevención y mecanismos de intervención y control oportuno.

En este sentido, los resultados reflejan fallas en el sistema de vigilancia en salud pública y poco compromiso para realizar acciones de prevención y control.

Se observaron las siguientes fallas en el sistema de vigilancia epidemiológica:

- Se realiza notificación de los casos pero hay problemas en la calidad de la información (fichas incompletas, errores en la información)
- Sobre la procedencia de los casos se encuentran inconsistencias (se relaciona cabecera municipal y corresponde a vereda o no se informa).
- El Laboratorio de Salud Pública de Cundinamarca confirmó que durante el año 2010 sólo recibió una muestra de IgM para dengue con procedencia de Anapoima, la cual fue positiva y corresponde solo al 1,4% del total de muestras que deberían ser confirmadas por el laboratorio.(No hay un seguimiento del departamento).
- Los pacientes consultan principalmente al centro de salud del municipio y al hospital de La Mesa, pero también lo hacen a otros municipios. La información de todos los sitios donde se consulta no se tabula ni se analiza a nivel local.
- Los contratos temporales de los técnicos de ETV que conlleva que haya meses en los cuales en el municipio no se contratan estos funcionarios, por lo tanto no se pueda llevar a cabo siempre la investigación de caso y de campo.

La vigilancia entomológica del *Ae. aegypti* en el país, se realiza generalmente en áreas urbanas y no en áreas rurales. Los resultados presentados en este trabajo presentan una alta infestación de este mosquito en viviendas del área rural del municipio de Anapoima, la cual es un factor de riesgo para la transmisión de dengue. Con relación a las escuelas y colegios se encontró que un alto porcentaje presentaba infestación por *Ae. aegypti*, sugiriendo que estos sitios pueden ser altamente productivos para este mosquito y jugar un importante papel en la transmisión de esta enfermedad.

Los altos índices de infestación de *Ae. aegypti* y la presencia de casos de dengue son los principales factores de riesgo para la transmisión de dengue en la zona rural de Anapoima. Sin embargo, la dinámica de transmisión es desconocida, ya que no está claro, si los casos de dengue notificados fueron autóctonos o importados.

La falta de un suministro continuo de agua para consumo humano obliga a las personas a almacenarla en forma inadecuada, lo que facilita la cría del vector. Adicionalmente la inapropiada disposición de los residuos sólidos proporciona también criaderos potenciales para el mosquito. Aunque esta situación es común en diferentes poblaciones de nuestro país, se hace mucho más crítica en las áreas rurales. Lo anterior, muestra la necesidad de fortalecer los programas estatales que buscan garantizar la cobertura de agua, saneamiento y buena disposición de los residuos sólidos en estas áreas, como también los programas de vigilancia y control del *Ae. aegypti*.

Aspectos adicionales tales como la capacitación permanente de los médicos rurales sobre manejo y vigilancia del dengue, como también fortalecer la vigilancia epidemiológica y por laboratorio de los casos probables de dengue procedentes del área rural, son actividades básicas para una adecuada vigilancia en salud pública. Adicionalmente, para un control integral del vector se hace necesario la articulación de diferentes sectores tales como salud, educación, obras públicas y medio ambiente.

Finalmente, si bien es cierto, la magnitud de la transmisión del dengue en áreas urbanas no es comparable con las áreas rurales esto no implica que no sea necesario mantener un sistema de vigilancia activo y eficiente (epidemiológico, por laboratorio y entomológico) en estas comunidades. Como se mencionó previamente, estudios recientes sugieren que se está presentando transmisión de esta enfermedad en áreas rurales en algunos países latinoamericanos, incluso ocasionando brotes y muerte por esta enfermedad. En Colombia, aun cuando solo se encontró un estudio en el cual algunos casos procedían del área rural, se tiene evidencia que se está presentando transmisión rural de esta enfermedad. Es necesario, por lo tanto, fortalecer la vigilancia en este sentido.

Literatura citada

- ALCALDÍA DE ANAPOIMA. Recuperado el 15 de mayo de 2013 de: <http://www.anapoima-cundinamarca.gov.co/nuestromunicipio.shtml?apc=mlxx-1-&m=f>
- ARBOLEDA M., CAMPUZANO M., RESTREPO B., CARTAGENA G. 2006. Caracterización clínica de los casos de dengue hospitalizados en la E.S.E. Hospital "Antonio Roldán Betancur", Apartadó, Antioquia, Colombia. *Biomédica*. 26(2): 286-294.
- CARPINELLI, M, PICAGUÁ, E, ROVIRA C, GIMÉNEZ V, FERREIRA L, RODAS J. 2009. Frecuencia de dengue durante el brote epidémico en individuos que acudieron al Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Salud (IICS), desde Febrero a Abril del 2007. *Mem. Inst. Investig. Cienc. Salud*, Vol. 5(2) 15-20

- COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (CEPAL). 2010. Evaluación de la epidemia de dengue en el Estado Plurinacional de Bolivia en 2009. Colección Documentos de proyectos.
- CONNORS R. 2008. Road access linked to dengue fever risk in rural Ecuador. ASTMH 57th Annual Meeting • NEW ORLEANS • DEC. 7-11
- COVA-GARCÍA P. 1966. Mosquitos de Venezuela. Ministerio de Sanidad y Asistencia Social. Caracas; 1966. Vol. I y Vol. II.
- FLÓREZ, L.; TRUJILLO, J. 2005. Brote de dengue clásico en el corregimiento de Barranco Minas, Guainía. Informe Quincenal Epidemiológico Nacional. (IQEN).
- FORATTINI, OP. 1965. Entomología Médica. Sao Paulo: Editora de Universidade de Sao Paulo: Vol. II y Vol. III.
- GAST-GALVIS, A. 1982. Historia de la fiebre amarilla en Colombia. Bogotá: Instituto Nacional de Salud: 1-95 p.
- GIRALDO-CALDERÓN, G.I.; PÉREZ M. MORALES, C.A.; OCAMPO, CB. 2008. Evaluación del Triflumurón y la mezcla de *Bacillus thuringiensis* más *Bacillus sphaericus* para el control de las formas inmaduras de *Aedes aegypti* y *Culex quinquefasciatus* en sumideros de Cali, Colombia. Biomédica; 28:224-33.
- GONZÁLEZ, R. 2005. Claves para la determinación de larvas y hembras de *Anopheles* de Colombia. Universidad del Valle. Departamento de Biología. Cali, Colombia.
- INSTITUTO NACIONAL DE SALUD. 2010. Comportamiento Epidemiológico del Dengue en Colombia. Año 2010. Informe Epidemiológico de Evento. <http://www.ins.gov.co/lineas-de-accion/Subdireccion-Vigilancia/Paginas/informes-de-evento.aspx>
- KUMM, H.; OSORNO-MESA, E.; BOSHALL-MANRIQUE, J. 1996. Studies on mosquitos of the genus *Haemagogus* in Colombia (Diptera: Culicidae). Biomédica; 16: 269-292.
- LANE J. 1953. Neotropical Culicidae. Sao Paulo: Editora de Universidade de Sao Paulo; 1953: Vol. I y Vol. II.
- MENDOZA, N. M.; NICHOLLS, R. S.; OLANO, VA.; CORTÉS L. J. 2000. Manejo integral de la malaria. Instituto Nacional de Salud.
- MORALES, A.; OLANO V. A.; FERRO C. 1998. Laboratorio de Entomología 1934-1997. En: Toro G, Hernández CA, Raad J. (Editores) Instituto Nacional de Salud 1917-1997. Una historia un compromiso, 77-94 p.
- MORALES, A. 1981. *Aedes aegypti* en zona rural del municipio de La Mesa (Cundinamarca) Colombia. Biomédica: 1:223-4
- NELSON, J. M.; SUÁREZ, M. F.; MORALES, A.; ARCHIVA, L.; GALVIS, E. *Aedes aegypti* in rural areas of Colombia. WHO/VBC/84.890.
- OLANO, V. A.; PADILLA J. C.; SÁENZ, R.; MORALES, A.; PINZÓN, E.; FERRO, C.; BROCHERO, H. 1998. Distribución del *Aedes aegypti* 1997. Informe Quincenal Epidemiológico Nacional. (IQEN).
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. 2009. Programa Especial para Investigación y Capacitación de Enfermedades Tropicales. Dengue: Guías para el diagnóstico, tratamiento, prevención y control. (TDR).
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. Datos y cifras de la población mundial en riesgo. Fecha de consulta: 15 de febrero de 2013. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs117/es/index.html>.
- PADILLA, J. C.; ROJAS, D. P.; SÁENZ-GÓMEZ, R. 2012. Dengue en Colombia: Epidemiología. De la reemergencia a la hiperendemia.

- ROJAS, Y.; BROCHERO, H. 2008. Hallazgo de *Aedes aegypti* (Linneus, 1762) en el casco urbano del corregimiento de La Pedrera, Amazonas, Colombia. Biomédica 28: 596.
- SOSA CABRERA, T. J.: SANTOS-PÉREZ M. 2008. Caracterización clínica y de laboratorio de un brote de dengue en un área rural de Campeche, México. Rev. Cubana Med. Trop. 60 (2).
- SUÁREZ, M. F.: NELSON M. J. 1981. Registro de altitud del *Aedes aegypti* en Colombia. Biomédica; 1:225
- TINKER, M.: OLANO, V. A. 1993. Ecología del *Aedes aegypti* en un pueblo de Colombia. Sur América. Biomédica: 13:71 p.
- TROYES, L.; VILLEGAS, Z.; TROYES, M. 2006. Expansión del *Aedes aegypti* a localidades rurales de Cajamarca. Rev. Perú. Med. Exp. Salud Pública. 23 Jul-sep.

Influencia del calentamiento global en la frecuencia y distribución de garrapatas

Jesús Alfredo Cortés Vecino¹ y Elkin Gustavo Forero Becerra²

¹ Ph.D. Laboratorio de Parasitología Veterinaria, Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá, Carrera 30 No. 45-03, Edificio 481, Bogotá D.C., Colombia. jacortesv@unal.edu.co. Autor de correspondencia. ² Estudiante de Doctorado en Medicina Veterinaria. Laboratorio de Biología y Control de Hematozoarios y Vectores, Instituto de Biotecnología Aplicada Agropecuaria (BIOAGRO), Departamento de Medicina Veterinaria, Universidad Federal de Viçosa, Campus Universitario, 36570-000, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. egforerob@unal.edu.co

Resumen. La frecuencia y distribución de las garrapatas en diferentes partes del mundo pueden ser afectadas por el cambio climático. Sin embargo, otros factores como la explosión demográfica, condiciones socioeconómicas, comercio internacional y cambios del paisaje, entre otros, pueden influir en la incidencia de las garrapatas y las enfermedades transmitidas por estas. Este trabajo presenta diferentes ejemplos de distribución, abundancia y frecuencia de las garrapatas en diferentes contextos geográficos, donde se evidencia la asociación de factores ambientales y antropogénicos con las dinámicas poblacionales de estos vectores y enfermedades asociadas.

Palabras clave: Garrapatas, cambio climático, enfermedades transmitidas por garrapatas.

Abstract. The frequency and distribution of the ticks worldwide may be affected by climate change. Nevertheless, other factors such demographic explosion, socio-economical conditions, international trading and landscape changes, among others, may influence on ticks incidence and tick-borne diseases. This study shows different cases of distribution, abundance and frequency of ticks in different geographical contexts, where the association between environmental and anthropogenic factors with these vectors and their associated diseases are evidenced.

Key words: Ticks, climate change, tick-borne diseases.

Las garrapatas son ectoparásitos hematófagos obligados (Bowman 2009), prácticamente de todos los vertebrados terrestres (principalmente mamíferos), aves, reptiles y algunos anfibios, y aunque han sido considerados parásitos cosmopolitas, numerosas especies están restringidas a regiones específicas (Needham y Teel 1991; Anderson 2002; Guglielmone *et al.* 2004; Hernández 2005; Pereira *et al.* 2008; Estrada-Peña 2008).

Se reconocen alrededor de 907 especies de garrapatas, distribuidas en todo el mundo, especialmente concentradas en las regiones tropicales y subtropicales (Davey *et al.* 1997; Wall y Shearer 2001; Horak *et al.* 2002; Barker y Murrell 2008). Para agrupar las garrapatas, se han reconocido tres familias (Ixodidae, Argasidae y Nuttalliellidae), dentro de la superfamilia

Ixodoidea, a su vez incluida dentro del suborden Ixodida. En la región Neotropical se encuentran alrededor de 117 especies de la familia Ixodidae, incluidas en cinco géneros (*Amblyomma*, *Rhipicephalus*, *Dermacentor*, *Ixodes* y *Haemaphysalis*) (Pereira *et al.* 2008).

En Oceanía, Europa, norte de Asia y China, la garrapata *Rhipicephalus appendiculatus* es la más importante, mientras que en América, Asia y África se reportan *R. (Boophilus) microplus*, *R. appendiculatus* y *Amblyomma hebraeum*. Es así que de las 81 especies reportadas en Estados Unidos, la más común en mamíferos pequeños corresponde a *Dermacentor variabilis* (Klompen *et al.*, 2000).

El género *Amblyomma* se encuentra ampliamente distribuido en Estados Unidos, México y Sudamérica; de otra parte, el género *Dermacentor* se encuentra en Canadá, Estados Unidos, México, Centro y Sur América y Oeste de la India. El género *Ixodes* se encuentra en Estados Unidos y Canadá (Hugh-Jones *et al.* 1992).

Los géneros *Rhipicephalus* y *Argas* se encuentran en todos los países tropicales del mundo y el género *Ornithodoros* se encuentra en California, Pacífico Mexicano, Kansas, Florida, Centro y Sur América; finalmente, el género *Otobius* se encuentra distribuido en América, India y África (Hugh-Jones, 1991).

La garrapata *R. (B.) microplus* se encuentra con mayor frecuencia y abundancia en zonas tropicales bajas en donde coexiste con *Amblyomma cajennense* (temperatura y humedad altas) (Duehnen y Otte 1994). *R. (B.) microplus*, es originaria de Asia, India y la Isla de Java; su expansión se debe a expediciones exploradoras registradas en la historia y comercio de animales. Ha sido registrada en Asia, Australia, África, Centro y Sur América, estableciéndose en áreas demarcadas dentro de los paralelos 32° norte y sur con algunos focos en los paralelos 35° norte y sur (Kessler y Schenk, 1998).

Las garrapatas poseen importancia sanitaria y económica debido al daño directo que causan al alimentarse para extraer sangre de su hospedador, a la transmisión de microorganismos patógenos como protozoarios, bacterias, rickettsias y virus, y a la inoculación de sustancias tóxicas a sus hospedadores (Guglielmone *et al.* 2004; Pereira *et al.* 2008).

Las garrapatas han sido incriminadas como vectores de múltiples y diversas enfermedades infecciosas en humanos y animales en el ámbito mundial, considerándose como el segundo grupo de vectores, después de los mosquitos (Anderson y Magnarelli 2008). Estos artrópodos adquieren la infección cuando se alimentan de hospederos infectados, y solamente pueden transmitir la infección a un hospedero susceptible en el siguiente estadio de desarrollo. Por lo anterior, el triángulo de interacciones hospedero-vector-patógeno es afectado, principalmente, por factores ambientales extrínsecos, tanto bióticos como abióticos (Randolph 2008).

La capacidad vectorial de las garrapatas se ve favorecida por varios aspectos. En primer lugar, se alimentan por períodos relativamente largos durante los cuales permanecen firmemente adheridas al hospedador y no se sueltan fácilmente (Harwood y James 1987). En segunda instancia, la picadura, usualmente indolora, pasa desapercibida hasta que la garrapata se ingurgita completamente de sangre. Como tercer punto, el ambiente en el intestino medio de las garrapatas

es menos hostil que en insectos hematófagos, ya que éstas poseen proteasas intracelulares, por lo que los patógenos ingeridos no están expuestos directamente a la acción proteolítica de estas enzimas (Anderson 2002). Esta característica les da ventajas como transmisores de patógenos y ubica a las garrapatas en los artrópodos que mayor cantidad de organismos transmiten (Morens *et al.* 2004). Finalmente, la inyección de la saliva para mantener el equilibrio hídrico de la garrapata, también sirve para deprimir el sistema inmunológico del hospedador, reduciendo sus defensas. Por lo anterior, las garrapatas han evolucionado hasta ser uno de los grupos más importantes de vectores de patógenos humanos y animales (Anderson y Magnarelli 2008).

Actualmente, muchas enfermedades, incluidas las transmitidas por garrapatas, están cambiando su frecuencia y distribución, hacia áreas periurbanas y no endémicas (Randolph, 2008), como resultado de factores mundiales como: migración y desplazamiento acelerado de poblaciones, crecimiento en el intercambio comercial de productos, expansión de la población humana hacia áreas inhabitadas, destrucción de los hábitats de animales y cambios del paisaje, cambios en el manejo y tecnologías de la producción animal, desarrollo de resistencia a antiparasitarios, ampliación de la frontera agrícola y disminución de la productividad del suelo en países en desarrollo, privatización de los servicios de salud pública y, finalmente, cambios ambientales como el calentamiento global (Kibirige 1997; Thiermann 2004; Nicholson *et al.* 2009). Este último aspecto tiene mayor relevancia gracias a su impacto en la opinión pública, dada la variedad de argumentos científicos que apoyan la idea de un cambio climático provocado por las actividades antropogénicas (Tett *et al.* 2002).

En este sentido, la variabilidad climática ha favorecido diversas hipótesis sobre los impactos y efectos potenciales en la transmisión de enfermedades infecciosas y la distribución de vectores asociados. Reiter (2010), define una tendencia hacia la identificación de las alteraciones climáticas que afectan el ciclo de transmisión de agentes infecciosos por vectores. Así, al usar un modelo de simulación climática, Olwoch *et al.* (2007) encontraron que más de 50% de las garrapatas del género *Rhipicephalus* mostraron un potencial para la expansión de sus rangos de distribución. Estrada-Peña (2001a), utilizando métodos geoestadísticos estandarizados e imágenes satelitales, en un período de 17 años, encontró un ciclo de calentamiento con un incremento del índice de vegetación normalizado y derivado, lo cual mostraba una tendencia al establecimiento de nuevos focos de garrapatas en zonas de bajas temperaturas para su desarrollo. No obstante, los factores ecológicos y comportamentales de los hospederos son más apropiados para explicar los cambios en la distribución de vectores como las garrapatas (Reiter 2010).

Se hace necesario precisar que la ampliación de la distribución geográfica de una garrapata hacia regiones donde su presencia y patogenia es desconocida representa un alto grado de incertidumbre, tanto para el conocimiento específico de las causas del fenómeno como para las posibilidades de su control a largo plazo. En este sentido, se debe tener en cuenta que la probabilidad de transmisión de enfermedades se incrementa cuando aumenta la densidad poblacional y se amplía su rango geográfico a nuevas poblaciones de hospedadores (Thornton *et al.* 2009). Ante un panorama de tal magnitud se deben considerar, cuando menos, dos factores

con respecto al cambio en la distribución del vector: la temporalidad del suceso y la posibilidad de mitigar sus efectos.

La distribución geográfica y la frecuencia de presentación de las garrapatas, así como de los microorganismos que transmiten, está condicionada por la disponibilidad de hospedadores susceptibles, el tipo de hábitat y las condiciones climáticas (Beugnet y Marié 2009, Shaw *et al.* 2001; Estrada-Peña 2005).

No obstante, la simple identificación de la presencia de la garrapata no indica que pueda cumplir su ciclo de vida de manera eficiente bajo las condiciones ambientales de una región en específico, con lo cual, el riesgo potencial de establecerse como ectoparásito es variable. Por lo anterior, se ha considerado que la variación de la temperatura ambiental puede tener efectos significativos sobre diferentes hábitats de garrapatas. Los críticos de esta afirmación aseguran que existen otros cambios ambientales, adicionales al cambio climático, como el deterioro de los ecosistemas, la pérdida de biodiversidad y el agotamiento del ozono en la estratósfera (Semenza y Menne 2009). Polley y Thompson (2009) argumentan que las variaciones geográficas relacionadas con el cambio climático en animales y plantas se expresan como variaciones altitudinales y/o latitudinales con expansiones o contracciones de la distribución, así como variaciones en los patrones de migración, para el caso de los hospedadores. Los autores sugieren que un cambio en la abundancia de ectoparásitos y/o de hospedadores, puede alterar las relaciones parasitarias, modificando la prevalencia y la intensidad de la infección en el hospedador y la capacidad reproductiva en el vector, lo que finalmente redunda en un cambio en la composición del ecosistema.

Se han desarrollado modelos para relacionar los cambios ambientales y la dinámica poblacional de los hospedadores con las densidades poblacionales de garrapatas en un determinado período de tiempo y en áreas geográficas específicas. Esto con el fin de caracterizar hábitats adecuados para las garrapatas y proyectar las regiones y épocas del año que serán favorables para su incremento poblacional. En este sentido, se requiere el desarrollo de modelos epidemiológicos que incluyan densidad de vectores y sistemas de información geográfica, en conjunto con modelos climáticos, para evaluar el efecto de cambios en variables ambientales y antrópicas, así como el impacto de diferentes medidas de control implementadas o planeadas (Beugnet y Marié 2009). De este modo, el principal propósito de un modelo que describa la variabilidad estacional de una población de garrapatas es correlacionar la densidad estacional de las garrapatas con las variables ambientales. Por ejemplo, en las estaciones que modifican negativamente las condiciones del hábitat, las garrapatas sobrevivirán en baja densidad en relación con el hospedador por un largo período de tiempo, lo que podría ser insuficiente para mantener una respuesta inmune y, así, no se alcanzaría la estabilidad enzoótica. Por lo tanto, el uso de garrapaticidas debería concentrarse en aquellas estaciones que cambian las características del hábitat, propiciando un incremento en el número de estadios larvales de las garrapatas (Estrada-Peña, 2001b). Sin embargo, los modelos deben ser interpretados con cautela, antes de

afirmar categóricamente la diseminación de una garrapata y de la enfermedad transmitida por ella. Muchos modelos son alimentados con series de información meteorológica y con insumos como el índice de vegetación normalizado y derivado, pero tienen poca ó ninguna información biológica que cubra la complejidad de los ciclos de las garrapatas y de la transmisión de un determinado patógeno por las mismas.

De otro lado, no se debe olvidar que factores sociales diversos, pueden contribuir y aún ser más relevantes que el clima, en afectar la distribución de garrapatas y enfermedades transmitidas por ellas. Si se enfoca exclusivamente el cambio climático, se pueden ignorar tales factores y se obtienen proyecciones menos precisas. Algunos factores sociales y económicos a considerar, enunciados por Torremorell (2010) son: alteración del hábitat, presencia de especies invasoras, agricultura, viajes y migración, resistencia a plaguicidas y medicamentos, malnutrición, urbanismo y calentamiento urbano, densidad de población, calidad de servicios de salud, pobreza y educación. A lo anterior se suman aspectos que pueden afectar el microclima e influir en la dispersión y el establecimiento de una especie de garrapata, estos pueden ser sitios con pendientes, vegetación, residuos orgánicos y capa subyacente del suelo, entre otros.

Las garrapatas son animales ectotérmicos y, por lo tanto, sensibles a los cambios ambientales, de manera que pequeñas variaciones sobre el promedio de temperatura, humedad y brillo solar, pueden ser suficientes para afectar su abundancia, distribución y capacidad vectorial. Se ha señalado que un diagnóstico más frecuente de hemoparásitos en perros en áreas no endémicas de Europa está asociado con una nueva distribución y/o densidad de garrapatas (Randolph 2008). Gothe (1999) encontró, entre 1995 y 1998, casos de ehrlichiosis canina e infestación por *Rhipicephalus sanguineus* en perros que nunca habían salido de Alemania. En Suecia, el rango de distribución geográfica de *Ixodes ricinus*, se ha extendido hacia el norte y se ha relacionado con los cambios en la temperatura durante varias estaciones, que son favorables para la sobrevivencia, actividad y desarrollo de la garrapata (Lindgren *et al.*, 2000).

A partir de entrevistas y reportes anecdóticos, Kutz *et al.* (2009) resaltan la posibilidad que la garrapata del invierno *Dermacentor albipictus* ha expandido su rango geográfico en el norte de Canadá como una consecuencia del cambio climático en esa región, aunque otros factores podrían estar involucrados, tal como un aumento en la densidad de alces en tales áreas debido a incendios forestales en su hábitat natural. Los autores argumentan que los incendios forestales pueden aumentar en frecuencia como consecuencia del cambio climático, lo que influenciaría la ecología de las garrapatas de múltiples formas.

Asimismo, se ha relacionado el incremento del promedio de la temperatura con una expansión de las poblaciones de *I. ricinus* a altitudes superiores en la República Checa en las últimas dos décadas. Al respecto, en la península escandinava y en el norte de Europa se ha registrado una mayor incidencia de casos de encefalitis transmitida por garrapatas desde mediados de los años ochenta, probablemente debido a un período prolongado de estaciones propicias para la actividad de garrapatas (Semenza y Menne 2009).

En el mismo sentido, la borreliosis de Lyme (causada por *Borrelia burgdorferi*), la cual es transmitida por las garrapatas *I. ricinus* e *Ixodes persulcatus*, puede cambiar su distribución hacia latitudes y altitudes superiores, debido al cambio climático y a la modificación subsecuente de las poblaciones de sus hospederos vertebrados. Así, en un escenario futuro el norte de Europa será más lluvioso y menos frío y, por ende, propicio para el desarrollo de las garrapatas, contrario a lo que sucedería en el sur del continente con un clima más cálido y seco (Tett *et al.* 2002).

En otro caso, el cambio climático podría ayudar a explicar un brote de fiebre viral hemorrágica del Congo-Crimea en Turquía, la cual es transmitida por las garrapatas del género *Hyalomma*. Finalmente, el incremento en la temperatura ambiental podría ser uno de los factores involucrados en la distribución geográfica, nueva y estimada, de las rickettsiosis transmitidas por garrapatas en Europa y Estados Unidos (Semenza y Menne 2009).

Sin embargo, se ha señalado que el cambio climático no puede explicar la completa heterogeneidad del cambio epidemiológico. Tal es el caso de la encefalitis transmitida por garrapatas (ETG) en los países bálticos de Europa (Estonia, Letonia y Lituania). Por ejemplo, factores como el incremento en las densidades de grandes animales silvestres o en el índice de pobreza observado están correlacionados con la incidencia de ETG en ocho países de Europa en 1993 (Randolph 2010). De hecho el cambio en el uso de la tierra compite con el cambio climático por la perturbación en la función y estructura de los ecosistemas en muchas partes del mundo (lo que es particularmente cierto para las enfermedades humanas), aunque en los polos el cambio climático podría ser considerado como la fuerza dominante del cambio de hábitat (Kutz *et al.* 2009).

Adicionalmente, se ha señalado que la introducción del Uapití (*Cervus* sp.) en la región de Yukon (Alaska), favoreció el mantenimiento y amplificación de las garrapatas *D. albipictus* convirtiéndose así en un reservorio para especies nativas como el Alce (*Alces* sp.) y el Caribú (*Rangifer* sp.). Lo anterior señala que la introducción de nuevos hospederos puede alterar las relaciones parasitológicas por la introducción de nuevos parásitos y también por cambiar la abundancia y distribución de las especies parásitas endémicas (Kutz *et al.* 2009). Por lo tanto, el cambio climático podría no ser el factor más significativo para explicar los recientes patrones temporales en la epidemiología de las garrapatas.

Históricamente, la distribución y frecuencia de la garrapata *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*, especie de mayor prevalencia en bovinos en Colombia, había estado limitada a zonas del trópico bajo y medio con altitudes entre 0 y 1.500 msnm, aunque algunos reportes habían identificado su presencia en predios ubicados hasta los 2.600 msnm en el municipio de Roncesvalles (Tolima) (Betancourt 1973, Hernández y Valero 1977). A pesar de lo anterior y después de realizar una revisión exhaustiva de los registros históricos en el país, no se encontró evidencia de registro de presencia ni distribución de esta garrapata en el Altiplano Cundiboyacense, zona de alta vocación ganadera y una de las principales áreas de producción lechera en Colombia. Sin embargo, en un estudio llevado a cabo durante 2009, en un rango de altitud de 2.000 a 3.000 msnm, en diferentes zonas del Altiplano Cundiboyacense, se encontró que

el rango de altitud de fincas con mayor porcentaje de predios infestados por esta garrapata estuvo entre 2.200 y 2.400 msnm (Cortés Vecino 2011). Se registró por primera vez la presencia de dicha especie a una altitud de 2.903 msnm. Adicionalmente, el 13,89% del total de las fincas seleccionadas en rangos de altitud superiores a 2.400 msnm, también presentaron el ectoparásito; consecuentemente, estos resultados sugieren el desplazamiento de esta especie hacia altitudes en donde anteriormente no se consideraba posible (Evans 1978, Cortés Vecino *et al.* 2010).

En conclusión, las condiciones ambientales influyen de manera directa y crítica sobre el desarrollo y ciclo de vida de las garrapatas, pero aún no existe evidencia suficiente para incriminar al cambio climático como el principal responsable de las variaciones en la distribución geográfica y abundancia estacional de estos artrópodos. Por lo mismo, la modelización de las respuestas de poblaciones de garrapatas, en tiempos y espacios predeterminados, frente al calentamiento global debe incluir los factores adicionales de origen antropogénico.

Literatura citada

- ANDERSON, J. F. 2002. The natural history of ticks. *The Medical Clinics of North America* 86 (2): 205-218.
- ANDERSON, J. F.; MAGNARELLI, L.A. 2008. Biology of ticks. *Infectious Disease Clinics of North America* 22 (2): 195-215.
- BARKER, S. C.; MURRELL, A. 2008. Systematics and evolution of ticks with a list of valid genus and species names. En: *Ticks: biology, disease and control*. Bowman, A.S.; Nutall, P. (Eds.) Cambridge: Cambridge University Press. 1-39 p.
- BETANCOURT, J. A. 1973. Incidencia y distribución de garrapatas de bovinos en algunas áreas de Colombia. *Memorias VII Congreso Panamericano de Medicina Veterinaria y Zootecnia*. Bogotá. 52 p.
- BEUGNET, F; MARIÉ, J. L. 2009. Emerging arthropod-borne diseases of companion animals in Europe. *Veterinary Parasitology* 163(4): 298-305.
- BOWMAN, D. D. 2009. Arthropods. Chapter 2. En: *Georgi's Parasitology for Veterinarians*. 48-57 p.
- CORTÉS VECINO, J. A. 2011. Bioecología, distribución y comportamiento de *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Acari: Ixodidae) en el Altiplano Cundiboyacense, Colombia. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional de Colombia. 341 p.
- CORTÉS VECINO, J. A.; BETANCOURT ECHEVERRI, J. A.; ARGÜELLES CÁRDENAS, J.; PULIDO HERRERA, L.A. 2010. Distribución de garrapatas *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* en bovinos y fincas del Altiplano cundiboyacense (Colombia). *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 11 (1): 73-84.
- DAVEY, R. B.; AHRENS, E. H.; GEORGE, J. E. 1997. Comparative effectiveness of coumaphos treatments applied by different for the control of *Boophilus microplus* (Acari: Ixodidae). *Journal of Agriculture Entomology* 14 (1): 45-54.
- DUEHNEN, W.; OTTE, E. 1994. Infestación con garrapatas y su control en Córdoba, Colombia. Proyecto Colombo – Alemán ICA-GTZ. 67 p.
- ESTRADA-PEÑA, A. 2001a. Climate warming and changes in habitat suitability for *Boophilus microplus* (Acari: Ixodidae) in Central America. *Journal of Parasitology* 87 (5): 978-987.

- ESTRADA-PEÑA, A. 2001b. Forecasting habitat suitability for ticks and prevention of tick-borne diseases. *Veterinary Parasitology* 98: 111-132.
- ESTRADA-PEÑA, A. 2005. Effects of Habitat Suitability and Landscape Patterns on Tick (Acarina) Metapopulation Processes. *Landscape Ecology* 20(5): 529-541.
- ESTRADA-PEÑA, A. 2008. Climate, niche, ticks, and models: what they are and how we should interpret them. *Parasitology Research* 103 s(1): S87-S95.
- EVANS, D.E. 1978. *Boophilus microplus* ecological studies and a tick fauna synopsis related to the developing cattle industry in the Latin American and Caribbean region. Ph.D. Thesis. Cnaa/North East London Polytechnic (now Life Science Department, University of East London), United Kingdom. 283 p.
- GOTHE, R. 1999. *Rhipicephalus sanguineus* (Ixodidae): frequency of infestation and ehrlichial infections transmitted by this tick in dogs in Germany. *Wiener Tierärztliche Monatsschrift* 86: 49-56.
- GUGLIELMONE A. A; BECHARA, G. H; SZABÓ, M. P; BARROS, D. M; FACCINI, J. L; LABRUNA, M. B; DE LA VEGA, R; ARZUA, M; CAMPOS, M; FURLONG, J; MANGOLD, A. J; MARTINS, J; RODRÍGUEZ, M; VENZA, J. M; ESTRADA, A. 2004. Garrapatas de importancia médica y veterinaria: América Latina y El Caribe. Publication by the International Consortium on Ticks and Tick – borne Diseases (ICTTD – 2). The Netherlands. 44 p.
- HARWOOD, R.; JAMES, M. 1987. Garrapatas y enfermedades asociadas con ellas. Capítulo 16. En: *Entomología Médica y Veterinaria*. Limusa, México. pp. 429-483
- HERNANDEZ, F. 2005. Manual de ganadería doble propósito. El manejo integrado en el control de garrapatas. Universidad del Zulia. Maracaibo – Venezuela. 384 – 391 p.
- HERNÁNDEZ-QUIJANO, J. A.; VALERO-BAUTISTA, G. 1977. Incidencia de garrapatas en bovinos del Departamento del Tolima. Trabajo presentado a la Universidad del Tolima como requisito parcial para optar al grado de Médico Veterinario Zootecnista. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad del Tolima. 57 p.
- HORAK, I. G.; CAMICAS, J. L.; KEIRANS, J. E. 2002. The Argasidae, Ixodidae and Nutalliellidae (Acari: Ixodida): a world list of valid ticks names. *Experimental and Applied Acarology* 28 (1-4): 27-54.
- HUGH-JONES, M. 1991. The remote recognition of ticks habitats. *Journal of Agriculture Entomology* 8 (4): 309-315.
- HUGH-JONES, M.; BARRE, N.; NELSON, G.; WEHNES, K.; WARNER, J.; GARVIN, J.; GARRIS, G. 1992. Landsat tm Identification of *Amblyomma variegatum* (Acari: Ixodidae) habitats in Guadeloupe. *Remote Sens Environmental* 40: 43-55.
- KESSLER, R.H.; SCHENK M.A.M. 1998. Carrapato, tristeza parasitária e tripanossomose dos bovinos. EMBRAPA – CNPQC. Brazil. 9-47 p.
- KIBIRIGE, J. 1997. Population growth, poverty and health. *Social Science & Medicine* 45 (2): 247-59.
- KLOMPEN, J. S. H.; BLACK, W. C.; KEIRANS, J. E.; NORRIS, D. E. 2000. Systematic and biogeography of hard ticks, a total evidence approach. *Cladistics* 16: 79-102.
- KUTZ, S.; JENKINS, E.; VEITCH, A.; DUCROCQ, J.; POLLEY, L.; ELKIN, B.; LAIR, S. 2009. The Arctic as a model for anticipating, preventing, and mitigating climate change impacts on host-parasite interactions. *Veterinary Parasitology* 163: 217-228.
- MORENS, D. M.; FOLKERS, G. K.; FAUCI, A. S. 2004. The challenge of emerging and re-emerging infectious diseases. *Nature* 430 (6996): 242-249 p.

- NEEDHAM, G. R.; TEEL, P. D. 1991. Off host physiological ecology of ixodid ticks. *Annual Review of Entomology* 36: 659-681
- NICHOLSON, W. L.; SONENSHINE, D. E.; LANE, R. S.; UILENBERG, G. 2009. Ticks (Ixodida). En: MULLEN, G.R.; DURDEN, L.A.; editores. *Medical and Veterinary Entomology*. 2nd Ed. San Diego: Academic Press; 493-542 p.
- LINDGREN, E.; TÄLLEKLINT, L.; POLFELDT, T. 2000. Impact of climatic change on the northern latitude limit and population density of the disease-transmitting European tick *Ixodes ricinus*. *Environmental Health Perspectives* 108(2): 119-123.
- OLWOCH, J.; VAN JAARSVELD, A. S.; SCHOLTZ, C.H.; HORAK, I. G. 2007. Climate change and genus *Rhipicephalus* (Acari: Ixodidae) in Africa. *Onderstepoort Journal of Veterinary Research* 74: 45-72.
- PEREIRA, M. C.; LABRUNA, M. B.; SZABÓ, M. P. J.; KLAFFE, G. M. *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*: biologia, controle e resistência. São Paulo: MedVet Livros. 2008. 159 p.
- POLLEY, L.; THOMPSON, A. 2009. Parasite zoonoses and climate change: molecular tools for tracking shifting boundaries. *Trends in Parasitology* 25 (6): 285-291.
- RANDOLPH, S. E. 2008. Dynamics of tick-borne disease systems: minor role of recent climate change. *Revue Scientifique et Technique (International Office of Epizootics)* 27 (2): 367-381.
- REITER, P. 2008 Climate change and mosquito-borne disease: knowing the horse before hitching the cart. *Revue Scientifique et Technique (International Office of Epizootics)* 27 (2): 383-398.
- SEMENZA, J; MENNE, B. 2009. Climate change and infectious diseases in Europe. *The Lancet infectious diseases* 9: 365-75.
- SHAW, S. E.; DAY, M. J.; BIRTLES, R. J.; BREITSCHWERDT, E. B. 2001. Tick-borne infectious diseases of dogs. *Trends in Parasitology* 17 (2): 74-80.
- TETT, S. F. B.; JONES, G. S.; STOTT, P. A.; HILL, D. C.; MITCHELL, J. F. B.; ALLEN, M. R.; *et al.* 2002. Estimation of natural and anthropogenic contributions to twentieth century temperature change. *Journal of Geophysical Research* 107 (4306) ACL 10-1–ACL 10-24, 27.
- THIERMANN, A. 2004. Emerging diseases and implications for global trade. *Revue Scientifique et Technique (International Office of Epizootics)* 23 (2): 701-708.
- THORNTON, P. K.; VAN DE STEEG, J.; NOTENBAERT, A.; HERRERO, M. 2009. The impacts of climate change on livestock and livestock systems in developing countries: A review of what we know and what we need to know. *Agricultural systems* 101: 113-127.
- TORREMORELL, M. 2010. Climate change and animal diseases (II) Pfizer Animal Health, 333p
- WALL, R.; SHEARER, D. 2001. Ticks (Acari). Chapter 3. In: *Veterinary Ectoparasites: biology, pathology, and control*. 2nd Ed. Oxford: Blackwell Science Ltd. 55-82 p.

Simposio 10.

Control biológico

Coordinador: Fernando Cantor, Ph. D.
Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, D.C.

Participantes:

Daniel Carrillo, Ph. D., Rita E. Duncan, M. Sc., y Jorge E. Peña, Ph. D.
Alejandro Calixto, Ph. D., Marvin K. Harris, Ph. D. y Bastiaan M. Drees, Ph. D.
Geraldo Andrade Carvalho, Ph. D. y Andrea de Fátima Torres, Ph. D.
Angie Niño, cand. M. Sc. y Ronald Cave, Ph. D.
Fernando Cantor, Ph. D. y Daniel Rodríguez, Ph. D.

Prospectos para el control biológico del ácaro rojo de las palmeras *Raoiella indica* Hirst. (Acari: Tenuipalpidae)

Daniel Carrillo¹, Rita E. Duncan² y Jorge E. Peña³

¹ Ph. D. University of Florida, Tropical Research and Education Center, Homestead, FL 33031. dancar@ufl.edu

² M. Sc. University of Florida, Tropical Research and Education Center, Homestead, FL 33031. ritad@ufl.edu

³ Ph. D. University of Florida, Tropical Research and Education Center, Homestead, FL 33031. jepena@ufl.edu

Resumen. El ácaro rojo de las palmeras *Raoiella indica* Hirst. (Acari: Tenuipalpidae) es una especie polífaga que recientemente invadió la Región Neotropical. Se han realizado búsquedas de enemigos naturales de *R. indica* en diferentes partes del mundo. El ácaro depredador *Amblyseius largoensis* se ha reportado en asociación con *R. indica* en varias regiones del mundo. Este depredador es considerado el enemigo natural con mayor potencial para ser utilizada en programas de control biológico. Varios aspectos de la biología y el potencial depredador de esta especie han sido estudiados. Se requiere el diseño de tácticas para incrementar las poblaciones naturales de *A. largoensis* e integrar el control químico con el control biológico.

Palabras clave: Ácaros, especie invasora, depredadores, Phytoseiidae, *Amblyseius largoensis*.

Abstract. The red palm mite *Raoiella indica* Hirst. (Acari: Tenuipalpidae) is a polyphagous species that recently invaded the Neotropical region. Surveys for natural enemies of *R. indica* have been conducted in different parts of the world. The predatory mite *Amblyseius largoensis* has been reported in association with *R. indica* in several places in the world. This predator is considered the natural enemy with more potential for use in biological control programs. Various aspects of the biology and the potential of this predator have been studied. The design of management tactics to increase *A. largoensis* populations and integration of biological and chemical control strategies are needed.

Key words: Mites, invasive species, native predators, Phytoseiidae, *Amblyseius largoensis*.

Introducción

El ácaro rojo de las palmeras, *Raoiella indica* tiene un amplio rango de plantas hospederas, principalmente palmas (Arecaceae), pero también algunas plantas de las familias Pandanaceae, Musaceae, Heliconiaceae, Zingiberaceae y Strelitziaceae (Coco *et al.* 2009; Carrillo *et al.* 2012a). Su principal hospedero es el cocotero, *Cocos nucifera* L. donde la infestaciones pueden alcanzar los 4000 individuos por pina (Peña *et al.* 2009). Las infestaciones en otras plantas son menores pero

igualmente problemáticas por su importancia como especies nativas y/o ornamentales (Carrillo *et al.* 2012a; Godim *et al.* 2013).

Antes de su arribo al nuevo mundo *R. indica* se reportaba solo en regiones tropicales y subtropicales de África y Asia [Omán (Elwan 2000), Egipto (Sayed 1942), Israel (Gerson *et al.* 1983), Isla de Mauricio (Moutia 1958), Filipinas (Gallego *et al.* 2003), India (Taylor *et al.* 2012), Benin y Tanzania (Zannou *et al.* 2010)]. En el 2004, *R. indica* fue detectada en Martinica (Etienne y Flechtmann 2006) y rápidamente colonizó las islas del Caribe, Florida (USA-FDACS 2007), Venezuela (Vásquez *et al.* 2008), Brasil (Marsaro *et al.* 2009), Colombia (Carrillo *et al.* 2011) y México (NAPPO 2009)].

El establecimiento de *R. indica* en el Caribe ha ocasionado aproximadamente un 50% de reducción en la producción de coco (CARDI 2010). Este ácaro continua colonizando nuevas regiones en el Neotrópico donde una gran diversidad de plantas pueden ser afectadas (Godim *et al.* 2013). Se han identificado opciones de control químico para manejar poblaciones de *R. indica* (Peña y Rodríguez 2012). Sin embargo, el control biológico con enemigos naturales es visto como la única opción de manejo que puede mitigar los daños ocasionados por *R. indica* al largo plazo a una escala regional.

Enemigos naturales de *R. indica*

Desde su llegada al Neotrópico *R. indica* se convirtió en blanco de programas de control biológico clásico mediante la búsqueda de enemigos naturales en varias regiones de África y Asia (Hoy 2012; Taylor *et al.* 2012; Domingos *et al.* 2013). Paralelamente, se realizaron esfuerzos para identificar los enemigos naturales presentes en áreas invadidas por *R. indica* en el Neotropico (Peña *et al.* 2009; Carrillo *et al.* 2011; Domingos *et al.* 2013; Vásquez y De Moraes 2013). En Carrillo *et al.* (2012c) se encuentra una revisión de toda la información disponible acerca de los enemigos naturales de *R. indica* en diferentes partes del mundo. Veintiocho especies de artrópodos depredadores, incluyendo ácaros e insectos, se han encontrado asociados a *R. indica* en varias regiones de Asia, África, y el Neotropico. El mayor número de reportes se encuentra en la India con 12 especies en los estados de Karnataka, Kerala, y Bengal Occidental (Puttarudriah y ChannaBasavanna 1956; Kapur 1961; Puttaswamy y Rangaswamy 1976; Daniel 1981; Somchoudhry y Sarkar 1987; Nangia y ChannaBasavanna 1989; YadavBabu y Manjunatha 2007; Sheeja y Ramani 2009; Taylor *et al.* 2012). Aparte de la India, los únicos reportes de depredadores de *R. indica* en el Asia provienen de las Filipinas (Gallego *et al.* 2003). En África se han reportado dos especies de depredadores en la Isla de Mauricio, Benin y Tanzania (Zannou *et al.* 2010; Hoy 2012; Domingos *et al.* 2013). En el nuevo mundo se han reportado nueve especies de depredadores y cuatro ácaropatógenos (Carrillo *et al.* 2012c.). De acuerdo a la información disponible, *R. indica* tiene un complejo de enemigos naturales diferente en cada región, y una sola especie, *Amblyseius largoensis* (Muma) (Acari: Phytoseiidae), se encuentra en todas las regiones hasta ahora exploradas.

Caracterización biológica de *Amblyseius largoensis*

Las poblaciones de *A. largoensis* sobre plantas de cocotero aumentaron después de la llegada de *R. indica* al Caribe (Peña *et al.* 2009). La respuesta numérica de *A. largoensis* motivó estudios detallados sobre el potencial de esta especie como agente de control biológico de *R. indica*. Un estudio inicial determinó que *A. largoensis* puede completar su ciclo de desarrollo y reproducirse alimentándose únicamente de *R. indica*. El depredador mostró mejores parámetros reproductivos cuando fue criado en una dieta de *R. indica*, comparado con otros artrópodos que se encuentran en plantas de cocotero (Carrillo *et al.* 2010). Estudios adicionales determinaron que *A. largoensis* presenta una respuesta funcional tipo II mostrando un incremento en el número de presas consumidas en respuesta a incrementos en la densidad poblacional de *R. indica* (Figura 1). El número máximo de consumo de presas fue de 45 huevos de *R. indica*/día. Con este nivel consumo de presa la ovoposición del depredador (i.e. respuesta numérica) alcanza un máximo de (2.36 ± 0.11) huevos/día; media $\pm$ error estándar) Figura 1, Carrillo y Peña 2012). También se demostró que *A. largoensis* tiene una marcada preferencia por huevos de *R. indica* comparado con otros estadio de desarrollo (Carrillo y Peña 2012).

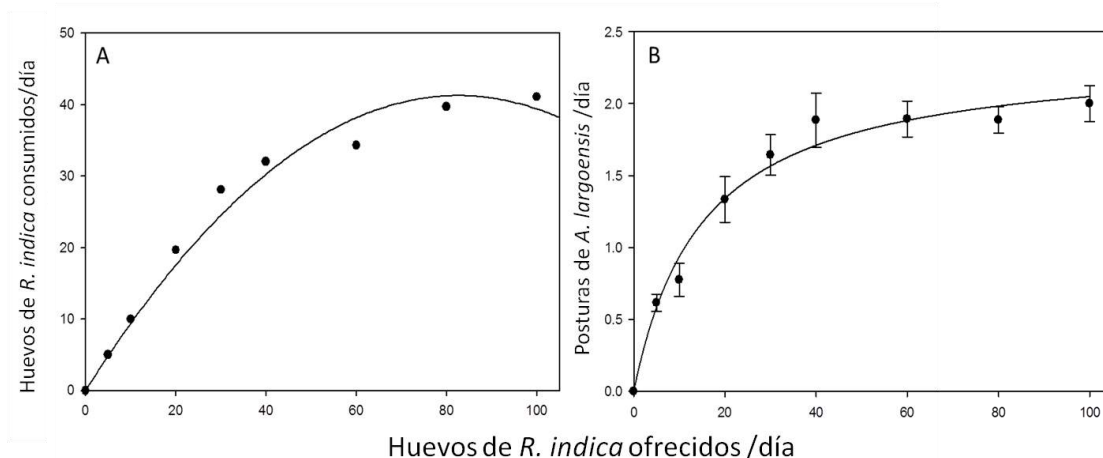


Figura 1. Respuesta funcional (A) y numérica (B) de *A. largoensis* a incrementos en la densidad de huevos de *R. indica*.

Para entender mejor la respuesta del depredador a la llegada de la especie invasora, se evaluaron poblaciones de *A. largoensis* con diferente tiempo de asociación con *R. indica* (Carrillo *et al.* 2012b). Poblaciones que nunca antes estuvieron asociadas a *R. indica* aceptaron la nueva presa y consumieron un alto número de huevos de *R. indica* comparado con el consumo otras presas utilizadas comúnmente (i.e. ácaros Tetranychidos). Sin embargo, se observó una variación en el consumo de larvas y ninfas de *R. indica*. Los depredadores experimentados (i.e. con un periodo largo de asociación a *R. indica*) presentaron un consumo mayor de larvas y ninfas de *R. indica* comparado con depredadores inexperimentados (i.e. sin asociación previa con *R. indica*), sugiriendo que *A. largoensis* puede “aprender” a ser un mejor depredador de *R. indica* (Carrillo *et*

al. 2012b). Estos resultados motivaron la búsqueda de biotipos o razas de *A. largoensis* más eficientes como depredadores de *R. indica* en la isla de Mauricio (Hoy 2012) y Reunión en África (Domingos *et al.* 2013). Sin embargo, las posibilidades de liberación de estas poblaciones como agentes de control biológico clásico son bajas por los posibles efectos negativos que puedan tener sobre las poblaciones locales de *A. largoensis* y/o otros artrópodos nativos.

Una alternativa a la introducción de poblaciones exóticas de *A. largoensis* es el manejo de las poblaciones locales para incrementar el control que ejercen sobre *R. indica*. Un estudio que combinó técnicas de exclusión y liberación de depredadores permitió obtener proporciones diferentes de *A. largoensis* en relación a la densidad de *R. indica* en palmas de coco. Esto permitió determinar que es necesaria una proporción de 1:10 *A. largoensis*: *R. indica* para obtener un control eficiente de *R. indica* (Figura 2).

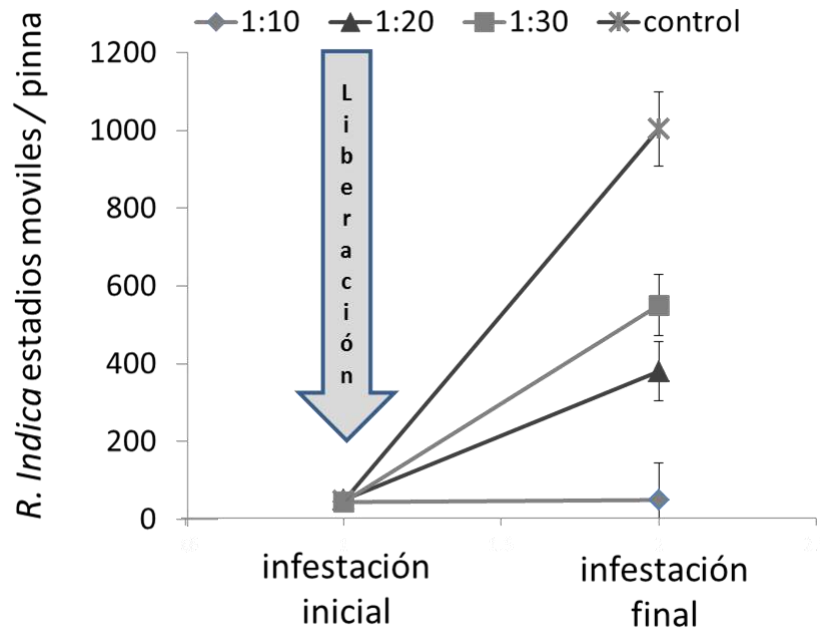


Figura 2. Efecto de liberación de *A. largoensis* en cuatro proporciones de depredador: presa (0= control, 1:10, 1:20, 1:30 *A. largoensis*: *R. indica*) sobre densidades de estados móviles de *R. indica* (media $\pm$ error estándar representado por las barras de error), (figura tomada de Carrillo *et al.* 2012d).

En conjunto, los resultados de estudios descritos anteriormente indican que *A. largoensis* tiene potencial para ser usado como agente de control biológico de *R. indica*. Sin embargo, es necesario aumentar las poblaciones de *A. largoensis* para alcanzar un control eficaz de *R. indica*. Una alternativa es la de combinar el control químico y biológico. Assis *et al.* (2013) identificó acaricidas selectivos para *A. largoensis* (i.e. fenpyroximate y spiroticlofen) que pueden servir para reducir las poblaciones de *R. indica* y favorecer el control biológico por parte de *A. largoensis*. Adicionalmente, los autores de este manuscrito están investigando la provisión de polen como una alternativa para incrementar las poblaciones de *A. largoensis* (Jacas *et al.* 2013). La provisión

de polen de como alimento suplementario para *A. largoensis* en palmas de cocotero infestadas por *R. indica*, produce un incremento la fecundidad de *A. largoensis*, y consecuentemente, un incremento de las poblaciones del depredador pro fronda de cocotero (Figura 3, Jacas *et al.* 2013). Sin embargo, la búsqueda de enemigos naturales de *R. indica* debe continuar para identificar factores de mortalidad complementarios a *A. largoensis*.

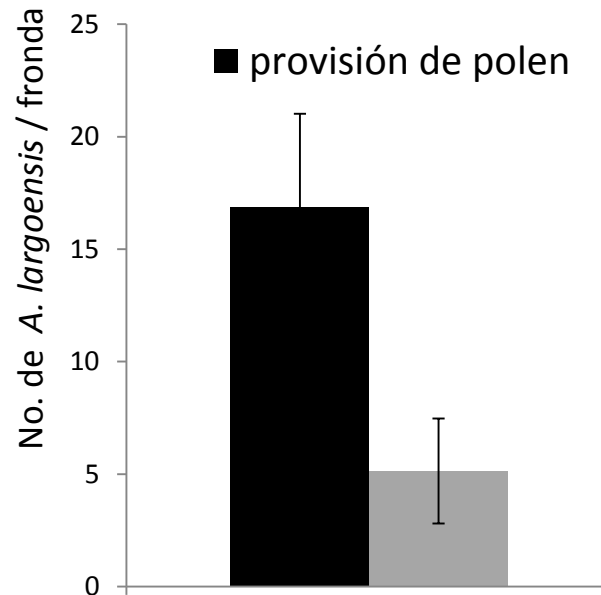


Figura 3. Efecto de la provisión de polen como alimento suplementario para *A. largoensis* en palmas de cocotero infestadas por *R. indica* (media $\pm$ error estándar representado por las barras de error).

Literatura citada

- ASSIS, C. P. O.; DE MORAIS, E. G. F.; GONDIM, M. G. C. JR. 2012. Toxicity of acaricides to *Raoiella indica* and their selectivity for its predator, *Amblyseius largoensis* (Acari: Tenuipalpidae: Phytoseiidae). *Experimental and Applied Acarology* DOI 10.1007/s10493-012-9647-5.
- CARDI. 2010. Caribbean Agricultural Research and Development Institute. Natural resource management, invasive species. Available via DIALOG. <http://www.cardi.org/default.asp?id=46>.
- CARRILLO, D.; PEÑA, J. E. 2012. Prey-stage preferences and functional numerical responses of *Amblyseius largoensis* (Acari: Phytoseiidae) to *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae). *Experimental and Applied Acarology* 57: 361-372.
- CARRILLO, D.; AMALIN, D.; HOSEIN, F.; RODA, A.; DUNCAN, R. E.; PEÑA, J. E. 2012a. Host plant range of *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae) in areas of invasion of the new world. *Experimental and Applied Acarology* 57: 271-289.
- CARRILLO, D.; DE COSS, M. E.; HOY, M. A., PEÑA, J. E. 2012b. Variability in response of four populations of *Amblyseius largoensis* (Acari: Phytoseiidae) to *Raoiella indica* (Acari:

- Tenuipalpidae) and *Tetranychus gloveri* (Acari: Tetranychidae) eggs and larvae. Biological Control 60(1): 39-45.
- CARRILLO, D.; FRANK, J. H.; RODRIGUES J. C. V.; PEÑA, J. E. 2012c. A review on the natural enemies of the red palm mite, *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae). Experimental and Applied Acarology 57: 347-360.
- CARRILLO, D.; NAVIA, D.; FERRAGUT, F.; PEÑA, J. E. 2011. First report of *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae) in Colombia. Florida Entomologist 94(2): 370-371.
- CARRILLO, D.; PEÑA, J. E.; HOY, M. A.; FRANK, J. H. 2010. Development and reproduction of *Amblyseius largoensis* (Acari: Phytoseiidae) feeding on pollen, *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae), and other microarthropods inhabiting coconuts in Florida, USA. Experimental and Applied Acarology 52: 119-129.
- CARRILLO, D.; PEÑA, J. E.; DUNCAN, R. E.; SANTOS, K. 2012d. Efecto de liberaciones de *Amblyseius largoensis* (Acari: Phytoseiidae) sobre *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae). Primer Congreso Latinoamericano de Acarología, Puebla, México, Mayo 20-23, 2012. Publicado en Estrada *et al.* [eds], Acarología Latinoamericana. 2012. ISBN 978607-7150480
- COCCO, A.; HOY, M. A. 2009. Feeding, reproduction, and development of the red palm mite (Acari: Tenuipalpidae) on selected palms and banana cultivars in quarantine. Florida Entomologist 92: 276-291.
- DANIEL, M. 1981. Bionomics of the predaceous mite *Amblyseius channabasavanni* (Acari: Phytoseiidae) predaceous on the palm mite. In: Channabasavanna GP (ed) Contributions to Acarology in India. Anubhava Printers, Bangalore, 167-172 p.
- DOMINGOS, C. A.; OLIVEIRA, L. O.; DE MORAIS, E. G.; NAVIA, D.; DE MORAES, G. J.; GONDIM, M. G. C. JR. 2013. Comparison of two populations of the pantropical predator *Amblyseius largoensis* (Acari: Phytoseiidae) for biological control of *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae). Experimental and Applied Acarology 60 (1): 83-93.
- ELWAN, A. 2000. A survey of the insect and mite pests associated with date palm trees in Al-Dakhliya region, Sultanate of Oman. Egypt Journal of Agricultural Research 78:653-664
- ETIENNE, J.; FLECHTMANN, C.H.W. 2006. First record of *Raoiella indica* (Hirst, 1924) (Acari: Tenuipalpidae) in Guadeloupe and Saint Martin, West Indies. International Journal of Acarology 32: 331-332.
- GALLEG0, C. E.; ATERRADO, E. D.; BATOMALAUQUE, C. G. 2003. Biology of the false spider mite, *Rarosiella cocosae* Rimando, infesting coconut palms in Camiguin, northern Mindanao (Philippines). Philippines Entomologists 17 (2): 187.
- GERSON, U. A.; VENEZIAN, D.; BLUMBERG. 1983. Phytophagous mites on date palms in Israel. Fruits 38:133-135.
- GODIM, M. G. C. JR.; CASTRO, T. M. M.; MASARO, A. L. JR.; NAVIA, D.; MELO, J. W. S.; DEMITE, P. R.; DE MORAES, G. J. 2013. Can the red palm mite threaten the Amazon vegetation? Systematics and Biodiversity 10:4 527-535.
- HOY, M.A. 2012. Overview of a classical biological control project directed against the red palm mite in Florida. Experimental and Applied Acarology 57: 381-393.
- JACAS, J. A.; CARRILLO, D.; PEÑA, J. E. 2013. Does pollen provisioning improve the performance of *Amblyseius largoensis* (Acari: Phytoseiidae) as a biocontrol agent against the red palm mite, *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae)? enviado a Biological Control.

- KAPUR, A. P. 1961. A new species of *Stethorus* Weise (Coleoptera: Coccinellidae), feeding on Arecanut palm mites in Kerala, Southern India. *Entomophaga* 6(1):35-38
- MARSARO, JR. A.L.; NAVIA, D.; GONDIM, J.R. M. G.; SILVA, F. R.; MORAES, G. J. 2009. Chegou ao Brasil - o ácaro vermelho das palmeiras *Raoiella indica*. *Cultivar, Hortaliças e Frutas* 57:31
- MOUTIA, L. A. 1958. Contribution to study of some phytophagous acarina and their predators in Mauritius. *Bulletin of Entomological Research* 49: 59-75.
- NANGIA, N.; CHANNABASAVNNA, G. P. 1989. Feeding potential of *Amblyseius tetranychivorus* (Acari : Phytoseiidae), an indigenous predator on selected tetranychid and tenuipalpid mites. *Indian Journal of Acarology* 10: 75-81.
- NAPPO. 2009. North American Plant Protection Organization. Detection of the red palm mite (*Raoiella indica*) in Cancun and Isla Mujeres, Quintana Roo, Mexico. Available via DIALOG: <http://www.pestalert.org/oprDetail.cfm?oprID=406> [Accessed 30 December 2010]
- PEÑA, J. E.; RODRIGUES, J. C. V.; RODA, A.; CARRILLO, D.; OSBORNE, L. S. 2009. Predator-prey dynamics and strategies for control of the red palm mite (*Raoiella indica*) (Acari: Tenuipalpidae) in areas of invasion in the Neotropics. *Proceedings of the 2nd Meeting of IOBC/WPRS, Work Group Integrated Control of Plant Feeding Mites*. Florence, Italy 9-12 March 2009. 69-79 p.
- PUTTARUDRIAH, M.; CHANNABASAVANNA, G. P. 1956. Some Beneficial coccinellids of Mysore. *Journal of Bombay Natural History Society* 54: 156-159.
- PUTTASWAMY; RANGASWAMY, H. R. 1976. *Stethorus keralicus* Kapur (Coleoptera: Coccinellidae), a predator of the areca palm mite. *Current Research* 5: 27-28.
- RODRIGUES, J.C.V.; PEÑA, J. E. 2012. Chemical control of the red palm mite, *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae) in banana and coconut. *Experimental and Applied Acarology* 57 317-329.
- SAYED, T. 1942. Contribution to the knowledge of acarina in Egypt: The genus *Raoiella* Hirst (Pseudotetranychinae:Tetranychidae). *Bulletin de la Societe Fouad 1er D'Entomologie*. 26: 81-91.
- SHEEJA, U. M.; RAMANI, N. 2009. Feeding potential of *Lasioseius* sp. (Acari Mesostigmata), a promising predator of the red palm mite *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae). *Karnataka Journal of Agricultural Science* 23(3):698-700.
- SOMCHOUDHRY, A. K.; SARKAR, P. K. 1987. Observations on natural enemies found in association with coconut mite, *Raoiella indica* Hirst. *Bulletin of Entomology* 28:104-107.
- TAYLOR, B.; RAHMAN, P. M.; MURPHY, S. T.; SUDHEENDRAKUMAR, V. V. 2012. Population dynamics of the red palm mite (*Raoiella indica*) and phytoseiid predators on two host palm species in southwest India. *Experimental and Applied Acarology* 57: 331-345.
- VÁSQUEZ, C.; DE MORAES, G. J. 2013. Geographic distribution and host plants of *Raoiella indica* and associated mite species in northern Venezuela. *Experimental and Applied Acarology* 60: 73-82.
- VÁSQUEZ, C.; QUIRÓS, D. G. M.; APONTE, O.; SANDOVAL, D. M. F. 2008 First report of *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae) in South America. *Neotropical Entomology* 37: 739-740
- YADAVBABU, R. K.; MANJUNATHA, M. 2007. Seasonal Incidence of Mite Population in Arecanut. *Karnataka Journal of Agricultural Science* 20 (2):401-402
- ZANNOU, I. D.; NEGLOH, K.; HANNA, R.; HOUADAKPODE; SABELIS, M. W. 2010. Mite diversity in coconut habitat in west and east Africa, in: XIII Abstract book of the XIII International Congress of Acarology, Recife, Brazil 23-27 August 2010. 295 p.

The role of natural enemies for the management of the Red Imported Fire Ant, *Solenopsis invicta* Buren (Hymenoptera: Formicidae)

Alejandro A. Calixto¹, Marvin K. Harris² and Bastiaan M. Drees³

¹ Ph.D. Research Scientist, Dow AgroSciences. 33245 Mandrake Rd., Wesley Chapel, Florida 33543 – USA.

¹ Ph.D. Emeritus Professor, Texas A&M University. Department of Entomology, College Station, Texas 77843 – USA.

¹ Ph.D. Professor, Texas A&M University. Department of Entomology, College Station, Texas 77843 – USA.

Abstract. Management of the Red Imported Fire Ant (RIFA) has evolved since their accidental introduction into the United States and currently use integrated pest management concepts to design, evaluate and implement control and suppression programs. Although eradication is the management goal in certain isolated infestation areas, in larger infestations where reinvasion of managed areas is likely, localized goals vary dramatically and are influenced by specific environmental factors, regulatory requirements, liability from human stinging incidents, sensitivity in ecological sites or by economic considerations. Management of RIFA traditionally involves control by broad-spectrum insecticides. The absence of natural enemies and the lack of strong interspecific competition explain the dominance and higher abundance of RIFA in the United States relative to that in their native South America. Recent efforts have been made to preserve, increase and introduce natural enemies of RIFA in the United States, including several ant species, parasitoids and several ant diseases. These efforts have proved to be successful in certain areas by maintaining RIFA's densities below economic thresholds for extended periods that has resulted in a reduction of the use of selective insecticides. These efforts have only been successful in these areas where chemical control is combined with the natural enemies. Future efforts at biological control are likely to be more effective if they focus on other types of natural enemies and are adopted in RIFA management programs.

Key words: Interspecific interactions, competition, parasitism, insecticide baits, sustainable management.

The Red Imported Fire Ant

Solenopsis invicta Buren, known as the Red Imported Fire Ant (RIFA), is a species native to South America who was accidentally introduced into the United States > 70 years ago through Mobile, Alabama and has since spread throughout the Southern United States infesting more than 130 million ha (Callcott and Collins 1996; Vinson 1997). Two colony forms are found in invaded areas: the monogyne (single queen) and the polygyne (multiple queens) form. Monogyne colonies, characterized by a nest containing a single queen with strongly territorial workers, were predominant for decades following the original invasion in Alabama. In the early 1970's, polygyne

colonies were detected and since have become the predominant form (Glancey *et al.* 1973; Porter *et al.* 1991). Each polygyne colony contains many queens and fewer workers than monogyne colonies but polygyne colony densities per ha are double or triple those of monogyne (Porter *et al.* 1997). Foraging territories and workers are shared among related polygyne colonies. RIFA prefers disturbed habitats where they rapidly establish and proliferate. These key factors hinder the management of this invasive species, increasing the cost of management and increasing the risk to humans and animals (Macom and Porter 1996; Wojcik *et al.* 2001; Drees *et al.* 2012).

Chemical control

Insecticides, in particular toxic baits, remain as the primary tool for effective RIFA management in the United States (Drees *et al.* 2002; Riggs *et al.* 2002; Barr *et al.* 2005; Aubuchon *et al.* 2006). They are the most cost-effective means of controlling this invasive. Toxic baits for RIFA control are typically small granules (~1mm) derived from defatted corncob and mixed with soybean oil and the active ingredient (an insecticide dissolved in the oil). The most common active ingredients found in these baits are those carrying metabolic inhibitors, growth regulators and neurotoxins (i.e. hydramethylnon, methoprene, indoxacarb, fipronil, spinosad). Ant workers are attracted to the bait and carry it back to the colony, where it is fed to the larvae, workers, and queen(s). Although active ingredients have different modes of action, they all serve to break the life cycle of the colony, resulting in its death. Fast-acting short residual baits kill the queen and, to varying degrees, worker ants (Barr *et al.* 2005). The fast-acting baits (neurotoxins) differ from slower acting insecticide baits i.e. growth regulators) in their mode of action. These baits pose very little toxic threat to people and animals as they are broadcast at very low rates (typically 0.6 kg/ha). These baits are not considered selective for RIFA and their impact on non-target ants have been extensively studied (Calixto 2008). These studies indicate that a proper use of these toxic baits can help in the recovery of selected native ant species allowing them to compete with RIFA. Understanding the effects these baits have on the ant community is critical for development of sustainable RIFA management practices in the United States.

Natural enemies

Co-occurring ants. One of the major factors regulating ant densities is interspecific competition (Hölldobler and Wilson 1990). Recent field studies conducted in South America indicate that interspecific competition with other ants appears to be a much stronger factor regulating RIFA densities than mortality ascribed to parasitic flies (Phoridae) (Porter *et al.* 1997; Morrison and Porter 2005; Holway 1999; Feener 2000; LeBrun *et al.* 2007). Resident ants play an important role for the sustainable management of fire ants in the US. Many species coexist with fire ants but also contribute (via competition and predation) to the sustainable management of fire ants. They are also highly compatible with insecticide bait programs in particular areas where fire ants are

abundant, where the removal of at least 80% fire ants in the system has been followed by an increase of nearly 25% on resident ant abundance. This increase significantly reduced the reinvasion and establishment of new queens and colonies by 10% via competition and predation (Calixto *et al.* 2007a; Calixto *et al.* 2007b; Calixto 2008).

Biological control agents. Recent efforts to introduce and maintain natural enemies of introduced *Solenopsis* fire ants in the U.S., including parasitoids of the genus *Pseudacteon* spp. (Diptera: Phoridae) (Puckett *et al.* 2007; Gilbert *et al.* 2008; Callcott *et al.* 2011), the fire ant disease, *Kneallhazia solenopsae* (Microsporidia: Tubulinosematidae) (Williams *et al.* 2003), and several viruses SINV – 1, 2 and 3 (Valles y Strong 2005; Hashimoto y Valles 2008; Valles y Hashimoto 2009). Collectively, these natural enemies are expected to provide sustainable suppression of fire ant population levels using classical biological control approaches (Williams *et al.* 2003), although, if these natural enemies are used alone, levels of RIFA suppression required in sensitive urban and ecological environments may not be achievable. However, established natural enemies may help reduce the need for frequent insecticide applications required to maintain control (Oi *et al.* 2008, Vander Meer *et al.* 2007). Some of these natural enemies are inter-related. For example, phorid flies have shown potential to carry and transfer microsporidians and viruses from host to host (Valles y Porter 2007; Oi *et al.* 2009; Valles *et al.* 2009).

Final remarks

There is no single best Integrated Pest Management (IPM) program for RIFA. Programs using IPM concepts will vary due to multiple factors including presence and abundance of RIFA and other ant species, level and seasonality of control desired, established natural enemies in the management area, registered insecticide products for the use sites involved, environmental concerns, and cost of application(s) to include time and labor. Optimally, elegant IPM programs would be target-specific, threshold driven and designed around the conservation and introduction of natural enemies and the manipulation of other ecological variables adding to the regulation of RIFA populations. With eradication unlikely to succeed in areas larger than isolated spot infestations, containment and suppression using chemical control and natural enemies become overriding goals.

Literatura cited

- AUBUCHON, M. D.; G. R. MULLEN; M. D. EUBANKS. 2006. Efficacy of broadcast and perimeter applications of S-methoprene bait on the red imported fire ant in grazed pastures. *Journal of Economic Entomology* 99: 621–625.
- BARR, C. L., DAVIS, T., FLANDERS, K., SMITH, W., HOOPER-BUI, L., KOEHLER, P., VAIL, K., GARDNER, W., DREES, B. M.; FUCHS, T. W. 2005. Broadcast baits for fire ant control, B-6099. College Station, TX: Texas Cooperative Extension, Texas A&M University System.

- CALIXTO, A.; M. K. HARRIS; A. KNUTSON; C. L. BARR. 2007. Responses of Native Ants to *Solenopsis invicta* Buren Reduction using Broadcast Baits. *Environmental Entomology* 36: 1112-1123.
- CALIXTO, A.; M. K. HARRIS; C. L. BARR. 2007. Resurgence and Persistence of *Dorymyrmex flavus* Mc Cook Following Reduction of *Solenopsis invicta* Buren with a Broadcast Bait. *Environmental Entomology* 36: 549-554.
- CALIXTO, A. 2008. Implications of relative ant abundance and diversity for the management of *Solenopsis invicta* Buren with broadcast baits. Ph.D. dissertation. Texas A&M University, College Station, Texas, USA.
- CALLCOTT, A. M.; H. L. COLLINS. 1996. Invasion and range expansion of imported fire ants (Hymenoptera: Formicidae) in North America from 1918–1995. *Florida Entomologist* 79: 240-251.
- CALLCOTT, A. M. A.; S. D. PORTER; R. D. WEEKS JR.; L. C. GRAHAM; S. J. JOHNSON; L. E. GILBERT. 2011. Fire ant decapitating fly cooperative release programs (1994-2008): Two *Pseudacteon* species, *P. tricuspidis* and *P. curvatus*, rapidly expand across imported fire ant populations in the southeastern United States. *Journal of Insect Science*, 11,19 (available online: insectscience.org/11.19).
- DREES, B. M.; C. L. BARR; S. B. VINSON; D. KOSTROUN; B. SPARKS; D. POLLET; D. SHANKLIN; K. LOFTIN; K. VAIL; R. E. GOLD; M. E. MERCHANT; N. RIGGS; E. HICKMAN; P. NESTER K. FLANDERS; P. M. HORTON; D. OI; P. G. KOEHLER AND R. WRIGHT. 2002. Managing imported fire ants in urban areas. Texas Cooperative Extension, B-6043.
- DREES, B. M.; CALIXTO, A. A.; NESTER, P. R. 2012. Integrated pest management concepts for red imported fire ants *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae). *Insect Science*. doi: 10.1111/j.1744-7917.2012.01552.x
- FEENER, D. H. JR. 2000. Is the assembly of ant communities mediated by parasitoids? *Oikos* 90: 79–88.
- GLANCEY, B. M.; C. H. CRAIG; C. E. STRINGER; P. M. BISHOP. 1973. Multiple fertile queens in colonies of the imported fire ant, *Solenopsis invicta*. *Journal of the Georgia Entomological Society* 8: 237-238.
- GILBERT, L. E., C. L. BARR; A. CALIXTO; J. L. COOK; B. M. DREES; E. G. LEBRUN; R. J. W. PATROCK; R. PLOWES; S. D. PORTER; R. T. PUCKETT. 2008. Introducing phorid fly parasitoids of red imported fire ant workers from South America to Texas: Outcomes vary by region and by *Pseudacteon* species released. *Southwest. Entomol.* 33: 15-29.
- HASHIMOTO, Y.; S. M. VALLES. 2008. Infection characteristics of *Solenopsis invicta* virus 2 in the red imported fire ant, *Solenopsis invicta*. *Journal of Invertebrate Pathology* 99: 136-140.
- HOLWAY, D. A. 1999. Competitive mechanisms underlying the displacement of native ants by the invasive Argentine ant. *Ecology* 80: 238-251.
- HOLLOBLER, B.; E. O. WILSON. 1990. *The Ants*. Belknap Press. Cambridge, MA.
- LEBRUN, E. G., C. V. TILLBERG, A. V. SUAREZ, P. FOLGARAIT, C. R. SMITH AND D. A. HOLWAY. 2007. An experimental study of competition between fire ants and Argentine ants in their native range. *Ecology* 88:63-75.
- MACOM, T. E.; S. D. PORTER. 1996. Comparison of polygyne and monogyne red imported fire ant (Hymenoptera: Formicidae) population densities. *Annals of the Entomological Society of America*. 89: 535-543.

- MORRISON, L. W.; S. D. PORTER. 2005. Testing for population-level impacts of introduced *Pseudacteon tricuspidis* flies, phorid parasitoids of *Solenopsis invicta* fire ants. *Biological Control*, 33, 9-19.
- OI, D. H.; D. F. WILLIAMS; R. M. PEREIRA; P. HORTON; T. S. DAVIS; A. H. HYDER; H. T. BOLTON; Z. B.C.; S. D. PORTER; A. L. HOCH; M. L. BOSWELL; G. WILLIAMS. 2008. Combining biological and chemical controls for the management of red imported fire ants (Hymenoptera: Formicidae). *American Entomologist*, 54: 44-53.
- OI, D. H.; S. D. PORTER; S. M. VALLES; J. A. BRIANO; L. A. CALCATERRA. 2009. *Pseudacteon* decapitating flies (Diptera: Phoridae): Are they potential vectors of the fire ant pathogens *Kneallhazia* (= *Thelohania*) *solenopsae* (Microsporidia: Thelohaniidae) and *Vairimorpha invictae* (Microsporidia: Burenellidae)? *Biological Control* 48: 310-315.
- PORTER, S. D.; A. P. BHATKAR; R. MULDER; S. B. VINSON; D. J. CLAIR. 1991. Distribution and density of polygyne fire ants (Hymenoptera: Formicidae) in Texas. *Journal of Economic Entomology* 84: 866-874.
- PORTER, S. D.; D. F. WILLIAMS; R. S. PATTERSON; H. G. FOWLER. 1997. Intercontinental differences in the abundance of *Solenopsis* fire ants (Hymenoptera: Formicidae): escape from natural enemies? *Environmental Entomology* 26: 373-384.
- PORTER, S. D.; D. F. WILLIAMS; R. S. PATTERSON; H. G. FOWLER. 1997. Intercontinental differences in the abundance of *Solenopsis* fire ants (Hymenoptera: Formicidae): escape from natural enemies? *Environmental Entomology* 26: 373-384.
- PUCKETT, R. T.; A. CALIXTO; C. L. BARR; M. K. HARRIS. 2007. Passive traps for monitoring *Pseudacteon* parasitoids of *Solenopsis* fire ants. *Env. Entomol.* 36: 584-588.
- RIGGS, N. L.; L. LENNON; C. L. BARR; B. M. DREES; S. CUMMINGS; C. LARD. 2002. Community-wide red imported fire ant programs in Texas (ed., B. M. Drees). *Southwestern Entomologist Supplement No. 25*: 31-42.
- VALLES, S. M.; C. A. STRONG. 2005. *Solenopsis invicta* virus-1A (SINV-1A): Distinct species or genotype of SINV-1? *Journal of Invertebrate Pathology*, 88, 232-237.
- VALLES, S. M.; S. D. PORTER. 2007. *Pseudacteon* decapitating flies: potential vectors of a fire ant virus? *Florida Entomologist* 90: 268-270.
- VALLES, S. M.; Y. HASHIMOTO. 2009. Isolation and characterization of *Solenopsis invicta* virus 3, a new positive-strand RNA virus infecting the red imported fire ant, *Solenopsis invicta*. *Virology* 388: 354-361.
- VALLES, S. M., D. H. OI, S. D. PORTER. 2009. *Kneallhazia* (= *Thelohania*) *solenopsae* infection rate of *Pseudacteon curvatus* flies determined by multiplex PCR. *Florida Entomologist* 92: 344-349.
- VANDER MEER, R. K.; PEREIRA; R. M.; PORTER; S. D.; VALLES, S. M.; OI, D. H. 2007. Areawide suppression of invasive fire ant populations. *Proceedings of the International Conference on Area-Wide Control of Insect Pests, IAEA 2005*.
- VINSON, S. B. 1997. Invasion of the red imported fire ant (Hymenoptera: Formicidae): spread, biology and impact. *American Entomologist* 43: 23-29.
- WILLIAMS, D. F.; OI, D. H.; PORTER; S. D.; PEREIRA; R. M.; J. A. BRIANO. 2003. Biological control of imported fire ants (Hymenoptera: Formicidae). *American Entomologist*, 49: 150-163.
- WOJCIK, D. P., C. R. ALLEN, R. J. BRENNER, E. A. FORYS, D. P. JOUVENAZ AND R. S. LUTZ. 2001. Red imported fire ants: impact on biodiversity. *American Entomologist* 47: 16-23.

Seletividade de produtos usados em cafeeiros para *Chrysoperla externa* (Hagen) (Neuroptera: Chrysopidae) e *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant (Coleoptera: Coccinellidae)

Geraldo Andrade Carvalho¹ e Andrea de Fátima Torres²

¹D. Sc. Prof. Departamento de Entomologia / Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil, gacarval@den.ufla.br.

²D.Sc. Departamento de Entomologia / Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil, andreaftorres@ig.com.br.

Resumo. Avaliaram-se os efeitos dos produtos fitossanitários e suas respectivas dosagens (g do ingrediente ativo / L de água) clorpirifós (2,25), cloridrato de cartape (1,66), piriproxifem (0,33), profenofós/lufenurum (1,33/0,13), fenpropatrina (0,40), triazofós/deltametrina (0,70/0,02) e zetacipermetrina (0,05), utilizados na cafeicultura, para as diferentes fases de desenvolvimento de *Chrysoperla externa* (Hagen) e *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant. Os parâmetros avaliados foram a sobrevivência de espécimes após a aplicação dos produtos, a duração das fases de desenvolvimento, além do efeito sobre características reprodutivas dos predadores tratados em todas as fases de desenvolvimento. Cloridrato de cartape, piriproxifem, fenpropatrina e zetacipermetrina foram seletivos para ovos e larvas de *C. externa*, enquanto que clorpirifós, profenofós/lufenurum e triazofós/deltametrina mostraram-se tóxicos. A fase de pupa não sofreu influência dos compostos testados. Cloridrato de cartape e piriproxifem foram classificados como inócuos, profenofós/lufenurum foi levemente nocivo e clorpirifós, fenpropatrina, triazofós e zetacipermetrina foram nocivos para os adultos desse predador. Para *C. montrouzieri*, todos os inseticidas, quando aplicados em ovos e larvas de primeiro instar do predador, foram nocivos. Fenpropatrina, zetacipermetrina e cloridrato de cartape reduziram a sobrevivência das larvas tratadas no primeiro ao quarto instar. Clorpirifós e profenofós/lufenurum foram nocivos às larvas tratadas no primeiro e segundo instares. Clorpirifós, piriproxifem e profenofós/lufenurum foram inócuos às pupas de *C. montrouzieri*, enquanto que cloridrato de cartape, fenpropatrina e zetacipermetrina foram levemente nocivos. Fenpropatrina foi nocivo e piriproxifem inócuo aos adultos de *C. montrouzieri*, e os demais inseticidas foram levemente nocivos.

Palavras-chave: Inseticidas, pragas. Café, crisopídeos, coccinelídeos, seletividade.

Abstract. The objective of this study was to evaluate the toxicity of pesticides and their respective rates (g active ingredient/L of water) were chlorpyrifos (2.25), cartap hydrochloride (1.66), pyriproxyfen (0.33), profenofos/lufenuron (1.33/0.13), fenpropathrin (0.40), triazophos/deltamethrin (0.70/0.02) and zetacipermethrin (0.05), used in coffee, for the different development stages of *Chrysoperla externa* (Hagen) and *Cryptolaemus montrouzieri*

Mulsant. The parameters evaluated were the survival of specimens after the application of the product, the duration of the stages of development, and the effect on reproductive traits of predators treated at all stages of development. Cartap hydrochloride, pyriproxyfen, fenpropathrin and zetacipermethrin were selective the eggs and larvae of *C. externa*, while chlorpyrifos, profenofos/lufenuron and triazophos/deltamethrin proved toxic. The pupal stage was not markedly affected by the compounds tested. Cartap hydrochloride and pyriproxyfen were classified as harmless, profenofos/lufenuron were slightly harmful and chlorpyrifos, fenpropathrin, triazophos and zetacipermethrin were harmful to adults of this predator. Regarding *C. montrouzieri*, all insecticides, when applied to eggs and first instar larvae of the predator, were harmful. Fenpropathrin, zetacipermethrin and cartap hydrochloride reduced survival of the treated larvae at first to fourth instar. Chlorpyrifos and profenofos/lufenuron were harmful to larvae treated in the first and second instars. Chlorpyrifos, profenofos/lufenuron and pyriproxyfen were harmless to pupae of *C. montrouzieri* while cartap hydrochloride, fenpropathrin and zetacipermethrin were slightly harmful. Fenpropathrin was harmful and pyriproxyfen harmless to adults of *C. montrouzieri*, the other insecticides were slightly harmful.

Key words: Insecticides, pest, coffee, lacewings, ladybugs, selectivity.

Introdução

A cultura cafeeira apresenta-se como uma das mais importantes do Brasil, com uma área em produção aproximada, para a safra de 2013, de 2,37 milhões de hectares, sendo cerca de 1,25 milhão só no estado de Minas Gerais, responsável por 51,3% do total da produção nacional (Companhia Nacional de Abastecimento – Conab 2013).

Existe uma grande diversidade de insetos pragas que podem atacar as lavouras cafeeiras, causando perdas em produtividade e qualidade, como o bicho-mineiro-do-cafeeiro *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville & Perrottet, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae), a broca-do-café *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Cucurilionidae: Scolytinae), a cigarra *Quesada gigas* (Olivier, 1790) (Hemiptera: Cicadidae), o ácaro-vermelho-do-cafeeiro *Oligonychus ilicis* (McGregor, 1919) (Acari: Tetranychidae), o ácaro-branco *Polyphagotarsonemus latus* (Banks, 1904) (Acari: Tarsonemidae), o ácaro-da-leprose *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes, 1939) (Acari: Tenuipalpidae) e as cochonilhas-farinhentas (Hemiptera: Pseudococcidae) cujas principais espécies são *Dysmicoccus texensis* (Tinsley, 1900), *Planococcus citri* (Risso, 1813), *Planococcus minor* (Maskell) e *Pseudococcus longispinus* (Targioni Tozzetti, 1867) (Santa-Cecília *et al.* 2009; Silva *et al.* 2010).

Geralmente, essas pragas são controladas por meio da aplicação de produtos fitossanitários de largo espectro de ação e de alta toxicidade aos inimigos naturais (Okumura *et al.* 2003; Souza *et al.* 2007). Os produtos fitossanitários, apesar de serem fundamentais para a

produção agrícola, têm sido alvo de crescente preocupação, em virtude de seu potencial de risco ambiental. As aplicações de produtos de alta toxicidade e não seletivos aos inimigos naturais podem favorecer os desequilíbrios nos agroecossistemas, além de causar intoxicações ao homem.

Para maior sustentabilidade da cultura, faz-se necessária, entre outras técnicas disponíveis, a associação entre os métodos de controle químico e biológico, sendo possível com a utilização de produtos fitossanitários que apresentam seletividade aos inimigos naturais, seja ecológica ou fisiológica. A seletividade fisiológica consiste no uso de inseticidas que sejam mais tóxicos à praga do que a seus inimigos naturais. Já a seletividade ecológica relaciona-se a formas de utilização dos inseticidas de modo a minimizar a exposição dos inimigos naturais aos produtos (Ripper *et al.* 1951; Degrande *et al.* 2002; Foerster 2002).

Dentre os inimigos naturais presentes no agroecossistema cafeeiro, destacam-se os insetos da família Chrysopidae, que compreende um grande número de espécies, sendo *Chrysoperla externa* (Hagen) a mais comum. São insetos de alta taxa reprodutiva, com grande capacidade de busca e relativamente fáceis de serem criadas em laboratório (Murata *et al.* 2006). As larvas desses predadores apresentam comportamento predatório durante toda a sua fase composta por três instares (Fonseca *et al.* 2001).

Os crisopídeos são predadores generalistas, podendo se alimentar de ovos e pequenas lagartas de lepidópteros, pulgões, cochonilhas, moscas-brancas, psilídeos, entre outros, em várias culturas (Gonçalves-Gervásio; Santa-Cecília 2001; Silva *et al.* 2002). Existem relatos de que este predador é eficaz para o controle de *P. citri*, *L. coffeella* e ácaros pragas nos agroecossistemas cafeeiros, podendo ser utilizado para a regulação populacional dessas pragas (Ecole *et al.* 2002; Pedro Neto *et al.* 2008).

Outros inimigos naturais de ocorrência constante nessa cultura são os coccinélídeos, predadores de um grande número de insetos pragas. A espécie de joaninha *Cryptolameus montrouzieri* Mulsant (Coleoptera: Coccinellidae), nativa da Austrália, tem sido utilizada comercialmente em muitos programas de controle biológico clássico de várias espécies de cochonilhas, principalmente *P. citri* e *Maconellicoccus hirsutus* (Green, 1908) (Hemiptera: Pseudococcidae) alimentando-se de cochonilhas em todas as fases de desenvolvimento (Sanches *et al.* 2000).

Diante da importância que a cafeicultura representa para o país, pesquisadores da Universidade Federal de Lavras, em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (Embrapa Café), com o Consórcio Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras (CBP&D-café) e Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), vêm desenvolvendo pesquisas voltadas ao estudo da seletividade dos principais grupos químicos de inseticidas utilizados na cafeicultura, a várias espécies de inimigos naturais, sendo que o estudo realizado mais recentemente, que gerou uma tese de doutorado, defendida em 2013, no Departamento de Entomologia da UFLA, objetivou avaliar a toxicidade de alguns inseticidas recomendados para o controle do *L. coffeella*, para as diferentes fases de desenvolvimento dos predadores *C. externa* e *C. montrouzieri*, cujos principais resultados serão apresentados neste trabalho.

Material e métodos

Os experimentos foram realizados em laboratório a $25 \pm 2^\circ\text{C}$, UR de $70 \pm 10\%$ e fotofase de 12 horas. Os produtos utilizados em suas respectivas dosagens em g de i.a./L de água, registrados para o controle de *Leucoptera coffeella*, na cultura cafeeira, nas maiores dosagens recomendadas (Brasil, 2009), foram: clorpirifós (2,25), cloridrato de cartape (1,66), piriproxifem (0,33), profenofós/lufenurom (1,33/0,13), fenpropatrina (0,40), triazofós/deltametrina (0,70/0,02) e zetacipermetrina (0,05). A testemunha foi constituída apenas por água destilada.

Criação de manutenção de *C. externa*

A criação foi iniciada com adultos coletados no Câmpus da UFLA, sendo grupos de 40 insetos colocados em gaiolas cilíndricas de PVC de 20 cm de diâmetro por 20 cm de altura, revestidas com papel-filtro branco, que serviu como substrato para as oviposições. As gaiolas foram mantidas em sala climatizada.

A extremidade superior de cada gaiola foi vedada com tecido tipo filó e a inferior apoiada em uma placa de Petri forrada com papel-filtro. As gaiolas foram distribuídas em prateleiras de metal e a alimentação dos insetos foi constituída de lêvedo de cerveja + mel, utilizando-se proporção de 1 g do produto comercial para 1 mL de mel, adicionando-se água destilada até a obtenção de uma consistência pastosa. Essa dieta foi pincelada em tiras de Parafilm[®] que foram penduradas no interior das gaiolas. A água foi fornecida por meio de um chumaço de algodão umedecido colocado sobre o tecido que recobre as gaiolas.

Criação da cochonilha *P. citri*

Foi instalada uma criação da cochonilha *P. citri* em laboratório objetivando a produção de insetos necessários à criação e multiplicação de *C. montrouzieri*. As cochonilhas foram distribuídas em abóboras *Cucurbita maxima* Linnaeus, variedade Cabotchá, as quais foram mantidas no interior de gaiolas confeccionadas em madeira (60 cm de comprimento x 35 cm de altura x 35 cm de largura), sendo fechadas na parte superior com uma placa de vidro e mantidas em sala climatizada.

Durante o desenvolvimento da cochonilha ocorreu a degeneração das abóboras, e tão logo elas apresentaram esse sintoma, foram substituídas sempre que necessário. Para a substituição, uma abóbora nova foi colocada em contato com a já infestada para que os insetos migrassem de uma abóbora para outra.

Criação de *C. montrouzieri*

Os insetos utilizados para a implementação da criação de laboratório foram fornecidos pela Embrapa/Mandioca e Fruticultura, em Cruz das Almas/BA. Cerca de 40 adultos do predador foram

mantidos em gaiolas de PVC, de 20 cm de diâmetro por 20 cm de altura, vedadas com filme plástico transparente e dispostas em estantes de aço, em sala climatizada. A cada dois dias, os predadores foram alimentados com uma massa cotonosa contendo ovos, ninfas e adultos da cochonilha *P. citri*, que foram criadas em abóboras *Cucurbita maxima* Linnaeus, variedade Cabotchá. Para o fornecimento de água foi disposto um chumaço de algodão umedecido no interior de cada gaiola.

As posturas do predador, presentes na massa cotonosa produzida pela cochonilha, foram retiradas a cada dois dias e transferidas para placas de Petri de 10 cm de diâmetro, forradas com papel-filtro e vedadas com filme plástico transparente, para o desenvolvimento das fases de larva, pupa e adulta. Após a emergência, os adultos foram transferidos para novas gaiolas de PVC, dando início a outro ciclo de desenvolvimento do inseto.

Efeitos dos inseticidas sobre as fases imaturas de *C. externa* e *C. montrouzieri*

Os predadores nas diferentes fases de desenvolvimento, com 24 horas após a oviposição, eclosão ou mudança de instar, foram colocados em placas de Petri de 15 cm de diâmetro para os produtos fitossanitários serem pulverizados por meio de torre de Potter, com um volume de aplicação de $1,5 \pm 0,5 \text{ mg/cm}^2$ e pressão de 15 lb/pol^2 . Em seguida, foram individualizados em placas de Petri de 5 cm de diâmetro e vedadas com filme de PVC laminado. As larvas sobreviventes foram alimentadas *ad libitum*, a cada dois dias, com ovos de *Anagasta kuehniella* (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae), para *C. externa*, e *P. citri*, para *C. montrouzieri*.

Os parâmetros avaliados foram a viabilidade dos ovos, duração do período embrionário, sobrevivência e duração dos instares larvais, sobrevivência e duração da fase de pupa, para as duas espécies de predadores.

Efeitos dos inseticidas sobre adultos de *C. externa* e *C. montrouzieri*

Adultos dos predadores com 1 a 2 dias de idade, obtidos da criação de manutenção, foram separados por sexo, colocados em placas de Petri de 15 cm de diâmetro, forradas com papel-filtro, onde receberam os produtos em pulverização, conforme metodologia utilizada nos experimentos anteriores. Após as pulverizações, cada casal foi transferido para gaiola cilíndrica de PVC (10 cm de diâmetro e 10 cm de altura), revestida com papel-filtro, colocada sobre placa de Petri forrada com o mesmo tipo de papel e vedada na parte superior com tecido tipo filó. A alimentação dos adultos de *C. externa* foi constituída de lêvedo de cerveja + mel, enquanto que para os adultos de *C. montrouzieri* foi oferecido, a cada dois dias, cochonilhas *P. citri*.

As avaliações da mortalidade de adultos iniciaram-se às 24 horas após as pulverizações.

Efeitos dos inseticidas sobre os parâmetros reprodutivos das fêmeas provenientes das diferentes fases de desenvolvimento dos predadores tratados

Formou-se um número variável de casais em função da disponibilidade de machos e fêmeas dos predadores, sobreviventes das pulverizações com os inseticidas nas diferentes fases de desenvolvimento, sendo que o número mínimo foi de cinco casais para cada tratamento. Cada casal foi mantido em gaiola de PVC (10 cm de diâmetro e 10 cm de altura), revestida com papel-filtro, colocada sobre placa de Petri forrada com o mesmo tipo de papel e vedada na parte superior com tecido tipo filó.

Para *C. externa*, a viabilidade dos ovos foi avaliada a cada três dias, por um período de até 28 dias após o período de pré-oviposição. A cada avaliação foram coletados, ao acaso, 96 ovos. Para *C. montrouzieri*, a viabilidade dos ovos foi avaliada até 20 dias após o fim do período de pré-oviposição, coletando-se, ao acaso, 30 ovos em cada tratamento, ovipositados na massa cotonosa produzida pela cochonilha, a cada semana.

Os ovos dos predadores foram individualizados em placas utilizadas em microtitulação. Foi colocado um ovo por compartimento e as placas foram vedadas com filme plástico de PVC e mantidas em sala climatizada conforme os experimentos anteriores, até a eclosão das larvas.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado. Foram avaliados o período de pré-oviposição, a fecundidade das fêmeas e a viabilidade dos ovos.

Análises estatísticas

Os dados de sobrevivência, viabilidade, duração das fases de desenvolvimento e parâmetros reprodutivos (período de pré-oviposição, número e viabilidade dos ovos) foram submetidos à análise de variância e as comparações entre médias dos tratamentos foram realizadas por meio do teste de agrupamento de Scott e Knott a 5% de significância (Scott; Knott 1974) com a utilização do programa estatístico Sisvar (Ferreira 2000).

Classificação dos inseticidas quanto à toxicidade segundo escala da IOBC

Os produtos foram enquadrados em classes de toxicidade conforme as recomendações sugeridas por Hassan e Degrande (1996), em que classe 1 = inócuo ($E < 30\%$), classe 2 = levemente nocivo ($30\% \leq E \leq 80\%$), classe 3 = moderadamente nocivo ($80\% < E \leq 99\%$) e classe 4 = nocivo ($E > 99\%$), em função do efeito sobre os parâmetros reprodutivos e mortalidade do predador. O efeito total (E%) de cada compostos foi calculado pela fórmula proposta por Vogt (1992): $E = 100 - (100 - Mc) \times R_1 \times R_2$, sendo E= efeito total (%); Mc% = mortalidade total, corrigida em função do tratamento testemunha (Abbott 1925); R_1 = razão entre as médias diárias de ovos colocados por fêmea tratada e não tratada; R_2 = razão entre as médias de ovos viáveis colocados por fêmea tratada e não tratada.

Resultados e discussão

Seletividade de inseticidas a *C. externa*

Baseado nos resultados obtidos nos trabalhos de Torres (2013), no que se refere a mortalidade dos predadores nas diferentes fases de desenvolvimento, oviposição média a cada três dias, viabilidade dos ovos colocados e efeito total, os produtos foram enquadrados em classes de toxicidade, as quais estão apresentadas na Tabela 1.

Os produtos cloridrato de cartape, piriproxifem e zetacipermetrina foram enquadrados como levemente nocivos (classe 2) e fenpropatrina foi considerado como inócuo (classe 1) aos ovos diretamente tratados de *C. externa*. Já os inseticidas clorpirifós, profenofós/lufenurom e triazofós/deltametrina foram altamente prejudiciais aos ovos desta espécie de predador, sendo enquadrados como nocivos (classe 4). Para as larvas de primeiro e segundo instares diretamente tratadas, clorpirifós e triazofós/deltametrina foram enquadrados como nocivos (classe 4); profenofós/lufenurom como moderadamente nocivo (classe 3) para larvas de segundo instar e os demais inseticidas mostraram-se seletivos ao predador. Todos os compostos testados sobre larvas de terceiro instar tratadas foram considerados como seletivos a *C. externa*, com exceção a clorpirifós, que foi classificado como nocivo (classe 4).

Clorpirifós e triazofós/deltametrina foram enquadrados na classe 2 de toxicidade, sendo considerados levemente nocivos para pupas. Os demais produtos testados foram classificados como inócuos, portanto, seletivos às pupas de *C. externa*; desta forma, observa-se que os insetos na fase de pupa não sofreram influência negativa acentuada dos compostos testados.

Em virtude dos altos índices de mortalidade provocados por clorpirifós, fenpropatrina, triazofós/deltametrina e zetacipermetrina, estes foram considerados como nocivos (classe 4) aos adultos de *C. externa*. Profenofós/lufenurom foi classificado como levemente nocivo (classe 2), enquanto que cloridrato de cartape e piriproxifem foram enquadrados na classe toxicológica 1, sendo considerados inócuos a adultos desse predador, podendo ser recomendados em programas de manejo integrado de pragas na cultura cafeeira visando a preservação dessa espécie de crisopídeo.

Alguns autores também estudaram a seletividade de inseticidas a algumas espécies de crisopídeos. Godoy *et al.* (2004b) aos testarem o piretroida deltametrina (0,0125 g i.a./L de água), classificaram este composto como levemente nocivo (classe 2) para ovos de *C. externa*, sendo este resultado semelhante ao encontrado nesse estudo para os piretroides fenpropatrina e zetacipermetrina. Vilela *et al.* (2010) observaram que fenpropatrina (0,15 g i.a./L de água) também mostrou-se seletivo a ovos desse predador.

A sensibilidade de larvas de primeiro e segundo instares tratadas com clorpirifós também foi observada por Silva *et al.* (2005), os quais classificaram este composto como sendo nocivo a *C. externa*. Moura *et al.* (2011) e Moura *et al.* (2012) também verificaram menor tolerância das fases imaturas deste predador aos efeitos dos produtos fitossanitários, neste caso, os inseticidas (g i.a./L

de água) carbaril (1,73), fenitrotiona (0,75) e metidationa (0,4) mostraram-se nocivos a larvas de primeiro ao terceiro instar.

Godoy *et al.* (2004a) observaram que os inseticidas (g i.a./L) abamectina (0,0054), lufenurom (0,0375), óxido de fenbutatina (0,4), tebufenozide (0,12), tiaclopride (0,036) e deltametrina (0,0125) foram seletivos a pupas de *C. externa*, sustentando a afirmação de que esta fase de desenvolvimento do predador mostra-se mais tolerante aos efeitos de alguns compostos químicos.

Tabela 1. Número de casais, mortalidade (%), mortalidade corrigida (%), oviposição média diária, viabilidade dos ovos (%), efeito total (E%) e classificação dos produtos em função da escala de toxicidade proposta pela IOBC, de espécimes oriundos de ovos, larvas, pupas e adultos de *Chrysoperla externa* tratados com os produtos fitossanitários. Continua...

OVOS							
Tratamento	Casais	M%¹	Mc%²	R₁³	R₂⁴	E(%)⁵	Classe⁶
Clorpirifós	-	81,8	78,2	-	-	100,0	4
Cloridrato de cartape	6	41,7	30,1	24,3	94,8	34,7	2
Piriproxifem	6	53,7	44,5	26,2	98,2	42,1	2
Profenofós/ lufenurom	-	80,6	76,7	-	-	100,0	4
Fenpropatrina	5	35,9	23,1	24,7	95,2	26,7	1
Triazofós/deltametrina	-	91,2	89,4	-	-	100,0	4
Zetacipermetrina	6	49,7	39,7	25,7	98,3	38,2	2
Testemunha	6	16,6	-	25,3	97,5	-	-
LARVAS 1º INSTAR							
Tratamento	Casais	M%¹	Mc%²	R₁³	R₂⁴	E(%)⁵	Classe⁶
Clorpirifós	-	100,0	100,0	-	-	100,0	4
Cloridrato de cartape	6	43,0	33,2	24,8	94,6	35,6	2
Piriproxifem	6	41,3	31,2	26,4	95,7	28,5	1
Profenofós/lufenurom	-	77,8	74,0	-	-	100,0	4
Fenpropatrina	5	70,9	65,9	25,0	94,7	66,8	2
Triazofós/deltametrina	-	100,0	100,0	-	-	100,0	4
Zetacipermetrina	5	50,6	42,1	25,1	97,7	41,6	2
Testemunha	6	14,7	-	24,7	98,5	-	-
LARVAS 2º INSTAR							
Tratamento	Casais	M%¹	Mc%²	R₁³	R₂⁴	E(%)⁵	Classe⁶
Clorpirifós	-	100,0	100,0	-	-	100,0	4
Cloridrato de cartape	6	21,4	15,2	25,1	98,2	24,0	2
Piriproxifem	6	21,2	14,9	26,8	98,5	18,3	2
Profenofós/ lufenurom	6	37,3	32,3	20,7	97,4	50,4	3
Fenpropatrina	5	32,2	26,8	27,2	100,0	27,6	2

Triazofós/deltametrina	-	100,0	100,0	-	-	100,0	4
Zetacipermetrina	5	28,7	23,0	26,5	97,8	27,4	2
Testemunha	5	7,4	-	27,5	100,0	-	-

LARVAS 3º INSTAR

Tratamento	Casais	M% ¹	Mc% ²	R ₁ ³	R ₂ ⁴	E(%) ⁵	Classe ⁶
Clorpirifós	-	82,0	80,1	-	-	87,8	4
Cloridrato de cartape	5	28,3	22,6	27,4	97,5	21,1	1
Piriproxifem	6	16,9	10,3	26,9	100,0	7,9	1
Profenofós/ lufenurum	6	19,6	13,2	19,3	87,5	44,1	2
Fenpropatrina	5	12,1	5,1	26,5	96,6	7,3	1
Triazofós/deltametrina	5	45,4	41,1	20,1	82,5	62,7	2
Zetacipermetrina	6	16,9	10,3	26,6	100,0	8,9	1
Testemunha	6	7,4	-	26,2	100,0	-	-

PUPAS

Tratamento	Casais	M% ¹	Mc% ²	R ₁ ³	R ₂ ⁴	E(%) ⁵	Classe ⁶
Clorpirifós	-	37,5	34,2	17,3	87,7	49,6	2
Cloridrato de Cartape	5	10,0	5,3	19,5	88,7	17,3	1
Piriproxifem	6	7,5	2,6	19,9	92,7	9,3	1
Profenofós/lufenuron	6	5,0	0,0	20,9	88,3	6,9	1
Fenpropatrina	5	5,0	0,0	18,6	89,7	15,8	1
Triazofós/deltametrina	-	25,0	21,0	15,9	95,3	39,6	2
Zetacipermetrina	5	7,5	2,6	22,5	91,2	0,85	1
Testemunha	6	5,0	-	20,1	98,6	-	-

ADULTOS

Tratamento	Casais	M% ¹	Mc% ²	R ₁ ³	R ₂ ⁴	E(%) ⁵	Classe ⁶
Clorpirifós	-	100,0	100,0	-	-	100,0	4
Cloridrato de Cartape	6	15,0	10,5	17,1	87,4	13,9	1
Piriproxifem	6	10,0	5,3	16,9	91,6	5,7	1
Profenofós/lufenuron	6	15,0	10,5	17,1	66,8	34,2	2
Fenpropatrina	-	100,0	100,0	-	-	100,0	4
Triazofós/deltametrina	-	85,0	84,2	-	-	100,0	4
Zetacipermetrina	-	77,5	76,3	-	-	100,0	4
Testemunha	6	5,0	-	17,5	88,8	-	-

¹Mortalidade (%) acumulada obtida ao longo do desenvolvimento do predador.²Mortalidade (%) corrigida pela fórmula de Abbott (1925).³Número médio de ovos/dia/fêmea.⁴Viabilidade (%) dos ovos coletados no período de quatro semanas consecutivas.⁵Efeito total (%) do produtos sobre o predador.⁶Classe de toxicidade preconizada por Hassan e Degrande (1996), sendo: classe 1 = inofensivo ou levemente nocivo (E<30%), classe 2 = levemente nocivo (30≤E≤79%), classe 3 = moderadamente nocivo (80<E≤99%) e classe 4 = nocivo (E>99%).

A sensibilidade dos adultos deste predador também foi observada por diversos autores. Godoy *et al.* (2010) constataram alta toxicidade do tiametoxam (0,05 g i.a./L água) para adultos de *C. externa* e *Ceraeochrysa cubana* (Hagen, 1861), que resultou em sobrevivência média de 22,7 e 0%, respectivamente. Moura *et al.* (2010) classificaram os compostos (g i.a./L água) carbaril (1,73), fenitrotiom (0,75) e metidatim (0,4) como nocivos a adultos de *C. externa* (classe 4). Carvalho *et al.* (2011) classificaram os inseticidas (g i.a./L água) triazofós (0,600) e carbosulfam (0,100) como nocivos (classe 4) a adultos de *C. cubana*, enquanto que os piretroides fenpropatrina (0,120) e bifentrina (0,020), apesar de apresentarem taxas de mortalidade relativamente altas com médias de 60% e 55%, respectivamente, foram classificados na classe 2 (levemente nocivos).

3.2 Seletividade de inseticidas a *C. montrouzieri*

Os resultados obtidos por Torres (2013) estão representados na tabela 2. Todos os inseticidas testados foram classificados como nocivos a ovos e larvas de primeiro instar de *C. montrouzieri*. Larvas de segundo instar diretamente tratadas também mostraram-se sensíveis à pulverização dos compostos, uma vez que apenas clorpirifós e piriproxifem foram enquadrados como moderadamente nocivos.

Os resultados evidenciam que as larvas de terceiro e quarto instares mostraram-se mais tolerantes aos efeitos dos compostos quando comparadas às demais fases imaturas do predador. Apenas os piretroides fenpropatrina e zetacipermetrina foram nocivos (classe 4) a *C. montrouzieri*. Cloridrato de cartape mostrou-se moderadamente nocivo (classe 3) para larvas de terceiro instar e levemente nocivo (classe 2) para larvas de quarto. Já clorpirifós, piriproxifem e profenofós/lufenurom foram seletivos às larvas de terceiro e quarto instares da joaninha.

Os produtos clorpirifós, piriproxifem e profenofós/lufenurom foram considerados inócuos (classe 1), enquanto que cloridrato de cartape, fenpropatrina e zetacipermetrina foram classificados como levemente nocivos (classe 2) para pupas diretamente tratadas. Referente aos adultos tratados, piriproxifem foi considerado inócuo (classe 1); fenpropatrina nocivo (classe 4) e os demais inseticidas foram enquadrados na classe 2, levemente nocivos.

alta mortalidade dos embriões pode ser explicada pelo fato de que essa joaninha possui hábito de ovipositar no interior da massa cotonosa da cochinilha, como uma estratégia de proteção dos ovos. Como os ovos foram retirados dessa massa para serem tratados, provavelmente pode ter favorecido a penetração de alguns produtos no seu interior, afetando diretamente os embriões, uma vez que os ovos de *C. montrouzieri* apresentam o córion visivelmente delgado, quase transparente e muito delicado, sendo essa fragilidade também descrita por Lima *et al.* (1992) para ovos de *Zagloba beaumont* Casey, 1899 (Coleoptera: Coccinellidae).

Tabela 2. Número de casais, mortalidade (%), mortalidade corrigida (%), oviposição média diária, viabilidade dos ovos (%), efeito total (E%) e classificação dos produtos em função da escala de toxicidade proposta pela IOBC, de espécimes oriundos de ovos, larvas, pupas e adultos de *Cryptolaemus montrouzieri* tratados com os produtos fitossanitários. Continua...

OVOS							
Tratamento	Casais	M%¹	Mc%²	R₁³	R₂⁴	E(%)⁵	Classe⁶
Clorpirifós	-	100,0	100,0	-	-	100,0	4
Cloridrato de cartape	-	100,0	100,0	-	-	100,0	4
Piriproxifem	-	100,0	100,0	-	-	100,0	4
Profenofós/ lufenurom	-	100,0	100,0	-	-	100,0	4
Fenpropatrina	-	100,0	100,0	-	-	100,0	4
Zetacipermetrina	-	100,0	100,0	-	-	100,0	4
Testemunha	6	10,0	-	-	-	-	-
LARVAS 1° INSTAR							
Tratamento	Casais	M%¹	Mc%²	R₁³	R₂⁴	E(%)⁵	Classe⁶
Clorpirifós	-	89,1	100,0	-	-	100,0	4
Cloridrato de cartape	-	100,0	100,0	-	-	100,0	4
Piriproxifem	-	100,0	100,0	-	-	100,0	4
Profenofós/ lufenurom	-	100,0	100,0	-	-	100,0	4
Fenpropatrina	-	100,0	100,0	-	-	100,0	4
Zetacipermetrina	-	100,0	100,0	-	-	100,0	4
Testemunha	5	33,3	-	-	-	-	-
LARVAS 2° INSTAR							
Tratamento	Casais	M%¹	Mc%²	R₁³	R₂⁴	E(%)⁵	Classe⁶
Clorpirifós	5	79,9	71,6	2,7	58,6	91,1	3
Cloridrato de cartape	-	89,4	85,0	-	-	-	4
Piriproxifem	5	77,6	68,3	3,2	71,2	89,9	3
Profenofós/lufenurom	-	82,5	75,2	-	-	100,0	4
Fenpropatrina	-	100,0	100,0	-	-	100,0	4
Zetacipermetrina	-	100,0	100,0	-	-	100,0	4
Testemunha	6	29,3	-	5,2	97,3	-	-
LARVAS 3° INSTAR							
Tratamento	Casais	M%¹	Mc%²	R₁³	R₂⁴	E(%)⁵	Classe⁶
Clorpirifós	6	25,0	14,3	3,7	82,9	43,2	2
Cloridrato de cartape	5	70,0	65,7	3,4	74,6	81,2	3
Piriproxifem	5	60,0	54,3	4,1	89,9	63,6	2
Profenofós/ lufenurom	6	25,1	14,4	4,5	92,0	23,3	1
Fenpropatrina	-	87,5	85,7	-	-	100,0	4
Zetacipermetrina	-	100,0	100,0	-	-	100,0	4
Testemunha	6	12,5	-	4,8	96,3	-	-
LARVAS 4° INSTAR							
Tratamento	Casais	M%¹	Mc%²	R₁³	R₂⁴	E(%)⁵	Classe⁶
Clorpirifós	6	19,9	7,5	4,6	97,3	20,0	1
Cloridrato de cartape	5	40,3	31,1	3,8	89,4	54,8	2
Piriproxifem	6	16,7	3,8	5,1	93,5	11,4	1
Profenofós/ lufenurom	5	58,6	52,2	3,5	91,1	68,6	2

Fenpropatrina	-	100,0	100,0	-	-	100,0	4
Zetacipermetrina	-	100,0	100,0	-	-	100,0	4
Testemunha	6	13,4	-	5,3	97,7	-	-
PUPAS							
Tratamento	Casais	M% ¹	Mc% ²	R ₁ ³	R ₂ ⁴	E(%) ⁵	Classe ⁶
Clorpirifós	6	30,0	24,5	3,5	93,3	27,1	1
Cloridrato de cartape	5	36,7	31,7	3,6	91,5	33,4	2
Piriproxifem	6	20,0	13,7	3,4	93,2	19,1	1
Profenofós/ lufenurom	6	16,7	10,1	3,6	92,0	11,9	1
Fenpropatrina	4	46,7	42,5	2,9	69,9	65,5	2
Zetacipermetrina	5	63,3	60,4	2,8	71,1	75,8	2
Testemunha	6	7,3	-	3,6	93,9	-	-
ADULTOS							
Tratamento	Casais	M% ¹	Mc% ²	R ₁ ³	R ₂ ⁴	E(%) ⁵	Classe ⁶
Clorpirifós	5	31,7	29,4	3,6	69,9	51,0	2
Cloridrato de cartape	5	63,3	61,8	2,8	78,1	76,9	2
Piriproxifem	5	26,7	24,2	4,0	91,3	23,7	1
Profenofós/lufenurom	5	33,3	31,0	3,9	80,9	40,0	2
Fenpropatrina	-	80,0	79,3	-	-	100,0	4
Zetacipermetrina	5	56,7	55,2	2,8	88,1	69,5	2
Testemunha	6	3,3	-	4,0	90,7	-	-

¹ Mortalidade (%) obtida no tratamento.

² Mortalidade (%) no tratamento corrigida pela fórmula de Abbott (1925).

³ Número médio de ovos/dia/fêmea durante os primeiros 20 dias após o início do período de pré-oviposição.

⁴ Viabilidade (%) dos ovos coletados no período de quatro semanas consecutivas logo após o período de pré-oviposição.

⁵ Efeito total (%) do produtos sobre o predador.

⁶ Classe de toxicidade preconizada por Hassan & Degrande (1996), sendo: classe 1 = inofensivo ou levemente nocivo (E<30%), classe 2 = levemente nocivo (30≤E≤79%), classe 3 = moderadamente nocivo (80≤E≤99%) e classe 4 = nocivo (E>99%).

A maior sensibilidade de ovos de coccinélídeos também foi observada em estudos realizados por Rocha *et al.* (2010), quando avaliaram a seletividade dos inseticidas (g i.a./L de água) tiаметoxam (0,5), imidaclopride (0,7) e dimetoato (0,48) e encontraram viabilidade média de 26,6; 13,3 e 66,6%, respectivamente, para *C. montrouzieri*. Ao tratarem *Cycloneda sanguinea* (Linnaeus, 1763) (Coleoptera: Coccinellidae) com os inseticidas (g i.a./L de água) clorpirifós (1,6), lambdacialotrina (0,08) e teflubenzurom (0,15), Cosme *et al.* (2007) constataram viabilidade média de 41,7; 0,0 e 33,3%, respectivamente. Pedroso *et al.* (2012) encontraram mortalidade de 100% também para *C. sanguinea*, quando utilizaram clotianidina (0,33) e imidaclopride/β-ciflutrina (0,33/0,042), assim como Youn *et al.* (2003) para acetamipride (0,40) e imidaclopride (0,50) quando testados sobre *Harmonia axyridis* (Pallas, 1773) (Coleoptera: Coccinellidae).

A alta mortalidade para larvas de primeiro instar tratadas, pode ser justificada pelo fato de que a espessura da cutícula pode ter influenciado a penetração dos compostos. As larvas recém-eclodidas, com cerca de 24 horas, utilizadas neste experimento, apresentaram-se muito pequenas

e com a cutícula recém-sintetizada, além de ainda não possuírem a pulverulência branca que recobre o seu corpo, característica inerente às larvas de *C. montrouzieri*, que pode servir como proteção dos insetos.

Rocha *et al.* (2011) ao avaliarem os produtos (g i.a./L de água) tiametoxam (0,5), imidaclopride (0,7), óleo mineral (13,3), endossulfam (2,63) e dimetoato (0,48), concluíram que os inseticidas provocaram mortalidade média de 100,0; 100,0; 60,0; 86,7 e 100,0%, respectivamente, confirmando a maior sensibilidade das larvas recém-eclodidas de *C. montrouzieri*. Cosme *et al.* (2007) observaram alta mortalidade de larvas de primeiro instar de *C. sanguinea*, com médias de 0,0 e 30,0%, quando tratadas com clorpirifós (1,6 g i.a./L de água) e lambdacialotrina (0,08 g i.a./L de água), respectivamente.

Pedroso *et al.* (2012) ao tratarem larvas de terceiro instar de *C. sanguinea*, observaram que os produtos (g i.a./L de água) clorfenapir (1,2), clotianidina (0,33) e β -ciflutrina (0,042) não permitiram que nenhuma larva sobrevivesse, enquanto que para triflumurom (0,048) e espinosade (0,24) a sobrevivência média foi de 96,0 e 94,0%, respectivamente.

Rocha *et al.* (2011) constataram que as larvas de quarto instar de *C. montrouzieri* tratadas via pulverização com tiametoxam (0,5), imidaclopride (0,7), endossulfam (2,63) e dimetoato (0,48) tiveram a sua sobrevivência diminuída com médias de 6,7; 40,0; 53,3 e 40,0%, respectivamente, cinco dias após a sua aplicação. Em trabalho realizado por Cosme *et al.* (2007) teflubenzurom (0,15 g i.a./L de água) permitiu que 90,0% das larvas de quarto instar de *C. sanguinea* tratadas sobrevivessem.

Planes *et al.* (2012) classificaram os produtos (g i.a./L p.c.) clorpirifós (480) e espirotetramato (150) como moderadamente nocivo (classe 3) e inócuo (classe 1), respectivamente, quando adultos desta espécie de predador foram diretamente tratados. Já em trabalhos realizados por Rocha *et al.* (2010) ficou evidente a sensibilidade dos adultos de *C. montrouzieri* aos compostos (g i.a./L de água) tiametoxam (0,5), imidacloprido (0,7) e endossulfam (2,63) que foram classificados como nocivos e dimetoato (0,48) como moderadamente nocivo.

Conclusões

Cloridrato de cartape, piriproxifem, fenpropatrina e zetacipermetrina foram seletivos a ovos e larvas de *C. externa*, enquanto que clorpirifós, profenofós/lufenurom e triazofós/deltametrina foram tóxicos. A fase de pupa de *C. externa* não sofreu influência dos compostos testados. Cloridrato de cartape e piriproxifem foram classificados como inócuos; profenofós/lufenurom foi levemente nocivo e clorpirifós, fenpropatrina, triazofós e zetacipermetrina foram nocivos para os adultos de *C. externa*. Todos os inseticidas quando aplicados em ovos e larvas de primeiro instar de *C. montrouzieri* foram nocivos. Fenpropatrina, zetacipermetrina e cloridrato de cartape reduziram a sobrevivência das larvas tratadas nos diferentes instares. Clorpirifós e profenofós/lufenurom foram nocivos às larvas tratadas no primeiro e segundo instares de *C. montrouzieri*. Clorpirifós, piriproxifem e profenofós/lufenurom foram inócuos às pupas de *C.*

montrouzieri, enquanto que cloridrato de cartape, fenpropatrina e zetacipermetrina foram levemente nocivos. Fenpropatrina foi nocivo e piriproxifem inócuo aos adultos de *C. montrozuieri*, e os demais inseticidas foram levemente nocivos.

Referências

- ABBOTT, W. S. A. 1925. Method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology* 18: 265-267.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Agrofit: Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários. Brasília, DF, 2009. Disponível em: <http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: [10 jun. 2009].
- CARVALHO, G. A.; CARVALHO, C. F.; FERREIRA, M. N. 2011. Toxicidade de acaricidas a ovos e adultos de *Ceraeochrysa cubana* (Hagen, 1861) (Neuroptera: Chrysopidae). *Ciência e Agrotecnologia* 35 (1): 165-171.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de café: safra 2013. Primeira estimativa: Janeiro/2013. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_01_09_17_43_49_boletim_cafe_janeiro_2013.pdf> Acesso em: [13 mar. 2013].
- COSME, L. V.; CARVALHO, G. A.; MOURA, A. P. 2007. Efeitos de inseticidas botânico e sintéticos sobre ovos e larvas de *Cycloneda sanguinea* (Linnaeus) (Coleoptera: Coccinellidae) em condições de laboratório. *Arquivos do Instituto Biológico* 74 (3): 251-258.
- DEGRANDE, P. E.; REIS, P. R.; CARVALHO, G. A.; BELARMINO, L. C. 2002. Metodologia para avaliar o impacto de pesticidas sobre inimigos naturais. p. 71-93. In: Parra, J. R. P.; Botelho, P. S. M.; Corrêa-Ferreira, B.S.; Bento, J. M. S. Controle Biológico no Brasil: parasitoides e predadores. Manole. São Paulo. Brasil. 626 p.
- ECOLE, C. C.; SILVA, R. A.; LOUZADA, J. N. C.; MORAES, J. C.; BARBOSA, L. R.; AMBROGI, B. G. 2002. Predação de ovos, larvas e pupas do bicho-mineiro-do-cafeeiro, *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville & Perrottet, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae) por *Chrysoperla externa* (Hagen, 1861) (Neuroptera: Chrysopidae). *Ciência e Agrotecnologia* 26 (2): 318-324.
- FERREIRA, D. F. 2000. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows. Versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. Anais... São Carlos: UFSCar, p. 255-258.
- FOERSTER, L. A. 2002. Seletividade de inseticidas a predadores e parasitoides. p. 95-114. In: Parra, J. R. P.; Botelho, P. S. M.; Corrêa-Ferreira, B.S.; Bento, J.M.S. Controle Biológico no Brasil: parasitoides e predadores. Manole. São Paulo. Brasil. 626 p.
- FONSECA, A. R.; CARVALHO, C. F.; SOUZA, B. 2001. Capacidade predatória e aspectos biológicos das fases imaturas de *Chrysoperla externa* (Hagen, 1861) (Neuroptera: Chrysopidae) alimentada com *Schizaphis graminum* (Rondani, 1852) (Hemiptera: Aphididae) em diferentes temperaturas. *Ciência e Agrotecnologia* 25 (2): 251-263.
- GODOY, M. S.; CARVALHO, G. A.; MORAES, J. C.; COSME, L. V.; GOUSSAIN, M. M.; CARVALHO, C. F.; MORAIS, A. A. 2004a. Seletividade de seis inseticidas utilizados em citros a pupas e adultos de *Chrysoperla externa* (Hagen) (Neuroptera: Chrysopidae). *Neotropical Entomology* 33 (3): 359-364.

- GODOY, M. S.; CARVALHO, G. A.; MORAES, J. C.; JÚNIOR, M. G.; MORAIS, A. A.; COSME, L. V. 2004b. Seletividade de inseticidas utilizados na cultura dos citros para ovos e larvas de *Chrysoperla externa* (Hagen) (Neuroptera: Chrysopidae). *Neotropical Entomology* 33 (5): 639-646.
- GODOY, M. S.; CARVALHO, G. A.; CARVALHO, B. F.; LASMAR, O. 2010. Seletividade fisiológica de inseticidas em duas espécies de crisopídeos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 45 (11): 1.253-1.258.
- GONÇALVES-GERVÁSIO, R. C. G.; SANTA-CECÍLIA, L. V. C. 2001. Consumo alimentar de *Chrysoperla externa* sobre as diferentes fases de desenvolvimento de *Dysmicoccus brevipes*, em laboratório. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 36 (2): 387-391.
- HASSAN, S. A.; DEGRANDE, P. E. 1996. Methods to test the side effects of pesticides on *Trichogramma* p. 63-74. In: Parra, J.R.P.; Zucchi, R. (eds.) *Curso de controle biológico com Trichogramma*. FEALQ. Piracicaba. Brasil. 324 p.
- LIMA, I. M. M.; VEIGA, A. F. S. L.; PADOVAN, I. P.; OLIVEIRA, J. V. 1992. Morfologia do ovo e das formas imaturas de *Zagloba beaumonti* Casey (Coleoptera: Coccinellidae). *Revista Brasileira de Zoologia* 9 (3-4): 187-196.
- MOURA, A. P.; CARVALHO, G. A.; BOTTON, M. Residual effect of pesticides used in integrated apple production on *Chrysoperla externa* (Hagen) (Neuroptera: Chrysopidae) larval. *Chilean Journal of Agricultural Research*, Chillán, v. 72, n. 2, p. 217-223, Apr./June 2012.
- MOURA, A. P.; CARVALHO, G. A.; MOSCARDINI, V.F.; LASMAR, O.; REZENDE, D.T.; MARQUES, M.C. 2010. Selectivity of pesticides used in integrated apple production to the lacewing, *Chrysoperla externa*. *Journal of Insect Science* 10 (121): 1-20.
- MOURA, A. P.; CARVALHO, G. A.; COSME, L. V.; ALVES, E.; BOTTON, M.; SILVA, P. S. 2011. Toxicological and ultrastructural analysis of the impact of pesticides used in temperate fruit crops on two populations of *Chrysoperla externa* (Neuroptera, Chrysopidae). *Revista Brasileira de Entomologia* 55 (3): 411-418.
- MURATA, A.T.; CAETANO A. C.; BORTOLI, S. A.; BRITO C. H. 2006. Capacidade de consumo de *Chrysoperla externa* (Hagen, 1861) (Neuroptera: Chrysopidae) em diferentes presas. *Caatinga* 19 (3): 304-309.
- OKUMURA, A. S. K.; NEVES, P. M. O. J.; POSSANGNOLO, A. F.; CHOCOROSQUI, V. R.; SANTORO, P. H. 2003. Controle da broca-do-café, *Hypothenemus hampei* Ferrari em terreiros de secagem de café. *Semina Ciências Agrárias* 24 (2): 277-282.
- PEDRO NETO, M.; CARVALHO, C. F.; REIS, P. R.; SANTA-CECÍLIA, L. V. C.; SOUZA, B.; ALCÂNTARA, E.; SILVA, R. A. 2008. Aspectos biológicos de *Chrysoperla externa* (Hagen) predando *Oligonychus ilicis* (McGregor) e *Planococcus citri* (Risso). *Coffee Science* 3 (2): 85-93.
- PEDROSO, E. C.; CARVALHO, G. A.; LEITE, M. I. S.; REZENDE, D. T. 2012. Seletividade de inseticidas utilizados na cultura algodoeira a ovos e larvas de terceiro instar de *Cycloneda sanguinea*. *Arquivos do Instituto Biológico* 79 (1): 61-68.
- PLANES, L.; CATALAN, J.; TENA, A.; PORCUNA, J. L.; JACAS, J. A.; IZQUIERDO, J.; URBANEJA, A. 2012. Lethal and sublethal effects of spirotetramat on the mealybug destroyer, *Cryptolaemus montrouzieri*. *Journal of Pest Science*. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/content/g701p91618165227/fulltext.pdf>>. Acesso em: [30 ago. 2012].
- RIPPER, W. E.; GREENSLADE, R. M.; HARTLEY, G. S. 1951. Selective insecticides and biological control. *Journal of Economic Entomology*, College Park, v. 44, n. 4, p. 448-458.

- ROCHA, L. C. D.; CARVALHO, G. A.; MOSCARDINI, V. F.; REZENDE, D. T. 2011. Seletividade de inseticidas utilizados em cultura cafeeira para larvas de *C. montrouzieri* Mulsant. *Ciência Rural* 41 (6): 939-946.
- ROCHA, L. C. D.; CARVALHO, G. A.; MOURA, A. P.; MOSCARDINI, V. F.; REZENDE, D. T.; SANTOS, O. M. 2010. Seletividade fisiológica de inseticidas utilizados em cultura cafeeira sobre ovos e adultos de *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant. *Arquivos do Instituto Biológico* 77 (1): 119-127.
- SANCHES, N. F.; SILVA, E. S.; CARVALHO, R. S. 2000. Biological aspects of exotic predator *Cryptolaemus montrouzieri* (Coleoptera: Coccinellidae), reared on *Planococcus citri* in laboratory. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF ENTOMOLOGY, 21, 2000, Foz do Iguaçu. Abstracts... Londrina: EMBRAPA Soja, 415 p.
- SANTA-CECÍLIA, L. V. C.; CORREA, L. R. B.; SOUZA, B.; PRADO, E.; ALCANTRA, E. 2009. Desenvolvimento de *Planococcus citri* (Risso, 1813) (Hemiptera: Pseudococcidae) em cafeeiros. *Acta Scientiarum. Agronomy* 31 (1): 13-15.
- SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A. 1974. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. *Biometrics* 30: 507-512.
- SILVA, G. A.; CARVALHO, C. F.; SOUZA, B. 2002. Aspectos biológicos de *Chrysoperla externa* (Hagen, 1861) (Neuroptera: Chrysopidae) alimentada com lagartas de *Alabama argillacea* (Hübner, 1818) (Lepidoptera: Noctuidae). *Ciência e Agrotecnologia* 26 (4): 682-698.
- SILVA, R. A.; CARVALHO, G. A.; CARVALHO, C. F.; REIS, P. R.; PEREIRA, A. M. A. R.; COSME, L. V. 2005. Toxicidade de produtos fitossanitários utilizados na cultura do cafeeiro a larvas de *Chrysoperla externa* (Hagen, 1861) (Neuroptera: Chrysopidae) e efeitos sobre as fases subseqüentes do predador. *Neotropical Entomology* 34 (6): 951-959.
- SILVA, R. A.; SOUZA, J. C.; REIS, P. R.; SANTA-CECÍLIA, L. V. C. 2010. Sintomas de injúrias causadas pelo ataque de pragas em cafeeiro. pp. 107-142. In: Guimarães, R. J.; Mendes, A. N. G.; Baliza, D. P. *Semiologia do cafeeiro: sintomas de desordens nutricionais, fitossanitárias e fisiológicas*. 1th ed. Editora UFLA. Lavras. Brasil. 215 p.
- SOUZA, J. C.; REIS, P. R.; RIBEIRO, J. A.; SANTA-CECÍLIA, L. V. C.; SILVA, R. A. 2007. Controle químico da cochonilha-da-raiz, *Dysmicoccus texensis* (Tinsley, 1900) em cafeeiro (*Coffea arabica* L.). *Coffee Science* 2 (1): 29-37.
- TORRES, A. F. 2013. Toxicidade de inseticidas utilizados na cafeicultura às espécies predadoras *Chrysoperla externa* (Hagen) (Neuroptera: Chrysopidae) e *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant (Coleoptera: Coccinellidae). 2013. 127 p. Tese (Doutorado em Entomologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- VILELA, M.; CARVALHO, G. A.; CARVALHO, C. F.; VILAS BOAS, M. A. 2010. Ação de acaricidas utilizados em cafeeiro sobre ovos e fases subseqüentes do desenvolvimento de crisopídeos. *Coffee Science* 5 (1): 10-16.
- VOGT, H. Untersuchungen zu nebenwirkungen von insektiziden und akariziden auf *Chrysoperla carnea* Sthep. (Neuroptera: Chrysopidae). 1992. Mededelingen Faculteit Landbouwkundige 57 (2b): 559-567.
- YOUN, Y. N.; SEO, M. J.; SHIN, J. G.; JANG, C.; YU, Y. M. Toxicity of greenhouse pesticides to multicolored Asian lady beetles, *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae). 2003. *Biological Control* 28 (2): 164-170.

Evaluation of the green lacewing *Chrysoperla rufilabris* Burmeister (Neuroptera: Chrysopidae) as a biological control agent of the yellowmargined leaf beetle *Microtheca ochroloma* Stål (Coleoptera: Chrysomelidae)

Angie Niño¹ and Ronald Cave²

¹Graduate student, Entomology and Nematology Department, University of Florida, anino@ufl.edu.

²Associate Professor of Entomology, Entomology and Nematology Department, University of Florida, Indian River Research and Education Center, Ft. Pierce, FL, rdcave@ufl.edu.

Florida ranked second in 2011 among the states in fresh market vegetable production, accounting for 11% of the harvest area and 9% of production (USDA/NASS 2012). Among the vegetables produced, crucifers constitute a large and important group which includes broccoli, cabbage, cauliflower, collards, kale, mustard, radish, turnips, and some Asian vegetables (e.g. bok choy, Chinese broccoli) (Webb 2010; Lamberts *et al.* 2011). Crucifer crops are conventionally and organically cultivated for various purposes including human food (cooked or fresh), oil, medicinal benefits (Fenwick *et al.* 1982), and animal fodder. Since 1990, the demand for organic food has increased 20% or more per year and around 73% of the fresh production is sold in traditional markets (Nguyen *et al.* 2008).

According to the standards of the National Organic Program (Ferguson 2004; Nguyen *et al.* 2008), arthropod pest management in organic crops must incorporate ecological approaches to manage pest problems, including augmentation or introduction of natural enemies, development of suitable habitat for natural enemies, and non-synthetic control methods (Ferguson 2004; Zehnder *et al.* 2007). Since the use of synthetic pesticides is not an alternative for organic growers, it is vital to develop projects that provide information about more eco-friendly control strategies.

The yellowmargined leaf beetle, *Microtheca ochroloma* Stål (Coleoptera: Chrysomelidae), has become a major pest of turnips, mustard, and Chinese cabbage in organic farms (Webb 2010). This invasive species, native from Argentina, was first detected in United States in 1945 and is now established in several states, including Texas, Louisiana, Mississippi, Alabama, Georgia, North Carolina, and Florida (Chamberlin and Tippins 1948). This insect is a problem for organic growers because: 1) it is active during cool seasons (late fall, winter, and early spring) when crucifers are produced in Florida and the state becomes an important supplier for other parts of the country due to a reduced production of other states (Olson 2011); 2) adults and larvae feed on leaves which are the marketed part of the plant, thus reducing the quality of the product (Chamberlin and Tippins 1948; Ameen and Story 1997); 3) it is an invasive species, and no effective, host-specific natural enemy is present in Florida; and 4) organic growers are not allowed to use foliar insecticides which are commonly used to control this pest (Bowers 2003).

In search for a more eco-friendly alternative, Montemayor and Cave (2009) examined crucifer plants in organic farms to find native natural enemies that could be used against *M. ochroloma*. A variety of generalist predators were observed preying on the beetle, including *Podisus maculiventris* Say (Hemiptera: Pentatomidae), *Hippodamia convergens* Say (Coleoptera: Coccinellidae), and *Chrysoperla rufilabris*. My laboratory and field studies evaluated the generalist predator, *Chrysoperla rufilabris*, commonly known as the green lacewing. This predator is often used in augmentative programs (Ridgway and Jones 1968; New 1975), it is commercially available, and it has been successfully used against other foliage-feeding beetles, including the Colorado potato beetle (*Leptinotarsa decemlineata* Say) (Nordlund 1991).

Green lacewing larvae feed on a diversity of prey, principally small, soft-bodied arthropods (Tauber *et al.* 2000). Although *Chrysoperla rufilabris* larvae have been observed on crucifers infested by *M. ochroloma*, and laboratory bioassays confirmed that they feed on larvae and eggs of the pest (Montemayor and Cave 2009), no information is available about the suitability of yellowmargined leaf beetle as a nutritional resource for the predator's development. Therefore, my overall research goal was to understand the effectiveness of *C. rufilabris* as an applied biological control agent for the management of the yellowmargined leaf beetle in organic farms. I focused on: (1) quantifying the developmental time and predation rate of *C. rufilabris* larvae feeding on eggs and larvae of *M. ochroloma* at four different temperatures; (2) evaluating the prey selection preference of *C. rufilabris* when exposed to immature stages (eggs and larvae) of *M. ochroloma* and the green peach aphid, *Myzus persicae* Sulzer (Hemiptera: Aphididae); and (3) evaluating the performance of *C. rufilabris* feeding on *M. ochroloma* larvae under field conditions in an organic farm.

Developmental time and consumption rate of *C. rufilabris* was evaluated at 10, 15, 20, and 25°C. No larvae of *C. rufilabris* survived beyond first instar at 10°C. Mean developmental time decreased from 75.5 ± 1.7 d and 54.0 ± 1.6 d at 15°C to 26.6 ± 0.6 d and 21.4 ± 0.7 d at 25°C when fed eggs and larvae, respectively. The mean number of prey killed daily increased from 8.4 eggs and 4.0 larvae at 15°C to 18.6 eggs and 10.2 larvae at 25°C. However, the predator daily killing rate differed among stadia, *C. rufilabris* third instars killed about 93% more eggs and first instars of *M. ochroloma* than *C. rufilabris* first instars. The total number of eggs killed per larva decreased with temperature. At 15°C, larvae of *C. rufilabris* killed more eggs than at 25°C due to a longer period of time required by the predator to develop at lower temperatures. On the other hand, the total number of *M. ochroloma* first instars killed was similar regardless the temperature. Predator survivorship was highly affected by low temperatures; *C. rufilabris* survivorship was reduced by 80% at 15°C.

For the prey preference study, equal numbers of each prey type were offered to the predator in a Petri dish and the number of prey killed within 24h was counted. The predator showed a 5.2-fold preference for aphids over *M. ochroloma* eggs and larvae. When eggs and larvae were offered, *C. rufilabris* did not show any preference.

Four treatments were evaluated in the field experiments: (1) plants confined in cages with predators; (2) plants confined in cages without predators; (3) uncaged plants with predators; and (4) uncaged plants without predators. A lower number of larvae of *M. ochroloma* were found on caged plants with predators, four weeks after predator's release. Caged plants with predators had about three times less *M. ochroloma* larvae than uncaged plants with predators. The number of beetle larvae on uncaged plants did not differ between treatments. Similarly, leaf defoliation was lower in caged plants with predators. *Microtheca ochroloma* consumed tree time more foliage area on uncaged plants without predators than on caged plants with predators. Foliage area loss did not vary between uncaged plants with and without predators. The data from caged plants without predator were not included in the analysis because during the experiment, the plants were infested with aphids and the plant leaves were covered with honeydew which did not allow *M. ochroloma* larvae to feed on the plant tissue or move among the leaves. Differences among the treatments might be more related to the effect of the cages, if predators had any impact on *M. ochroloma* populations, no evidence of additional mortality caused by the predator was apparent. Further studies are needed to determine the effectiveness of *C. rufilabris* to control *M. ochroloma* in the field.

Literatura cited

- AMEEN, A. O.; STORY, R. N. 1997. Feeding preferences of larval and adult *Microtheca ochroloma* (Coleoptera: Chrysomelidae) for crucifer foliage. *Journal of Agricultural Entomology* 14: 363-368.
- BOWERS, K. 2003. Effects of within-field location of host plants and intercropping on the distribution of *Microtheca ochroloma* (Stål) in mizuna. M.Sc. thesis, University of Florida, Gainesville, FL.
- CHAMBERLIN, F. S.; TIPPINS, H. H. 1948. *Microtheca ochroloma*, an introduced pest of crucifers, found in Alabama. *Journal of Economic Entomology* 41: 979-980.
- FENWICK, G. R.; HEANEY, R. K.; MULLIN, W. J.; VANETTEN, C. H. 1982. Glucosinolates and their breakdown products in food and food plants. *C-R-C Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 18: 123-201.
- FERGUSON, J. J. 2004. General Guidelines for Organic Crop Production, University of Florida, Gainesville, FL. <http://ufdc.ufl.edu/IR00000276/00001>.
- LAMBERTS, M. L.; MCAVOY E. J.; SUI, D. D.; WHIDDEN, A. J.; SNODGRASS, C. A. 2011. Production of major Asian vegetables in Florida, Electronic Data Information Source (EDIS) HS740. University of Florida, Gainesville, FL. <http://edis.ifas.ufl.edu/cv139>.
- MONTEMAYOR, C. O., AND R. D. CAVE. 2009. Prospects for biological control of the yellow-margined leaf beetle, *Microtheca ochroloma* Stål. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society* 122: 250-252.
- NEW, T. R. 1975. The biology of Chrysopidae and Hemerobiidae (Neuroptera), with reference to their usage as biocontrol agents: a review. *Transactions of the Royal Entomological Society of London* 127: 115-140.

- NGUYEN, T.-V.; WYSOCKI, A.; TREADWEL, D. 2008. Economics of the Organic Food Industry in Florida, Electronic Data Information Source (EDIS) FE732. University of Florida, Gainesville, FL . <http://edis.ifas.ufl.edu/fe732>.
- NORDLUND, D. A. 1991. Predation of Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) eggs and larvae by *Chrysoperla rufilabris* (Neuroptera: Chrysopidae) larvae in the laboratory and field cages. *Journal of Entomological Science* 26: 443-449.
- OLSON, S. M. 2011. Introduction. Vegetable production guide for Florida, Electronic Data Information Source (EDIS) HS710. University of Florida, Gainesville, FL. <http://edis.ifas.ufl.edu/cv100>.
- RIDGWAY, R. L.; JONES, S. L. 1968. Field-Cage Releases of *Chrysopa carnea*¹ for Suppression of Populations of the Bollworm² and the Tobacco Budworm² on Cotton³ ,4. *Journal of Economic Entomology* 61: 892-898.
- TAUBER, M. J.; TAUBER, C. A.; DAANE, K. M.; HAGEN, K. S. 2000. Commercialization of predators: recent lessons from green lacewings (Neuroptera: Chrysopidae: *Chrysoperla*). *American Entomologist* 46: 26-38.
- USDA/NASS. 2012. Vegetables 2011 summary. U.S. Department of Agriculture - National Agricultural Statistic Service, Washington, D.C. <http://usda.mannlib.cornell.edu/MannUsda/viewDocumentInfo.do?documentID=1183>.
- WEBB, S. E. 2010. Insect management for crucifers (cole crops) (broccoli,cabbage, cauliflower, collards, kale, mustard, radishes,turnips), Electronic Data Information Source (EDIS) ENY-464. University of Florida, Gainesville, FL. <http://edis.ifas.ufl.edu/ig150>.
- ZEHNDER, G.; GURR, G. M.; KÜHNE, S.; WADE, M. R.; WRATTEN, S. D.; WYSS, E. 2007. Arthropod pest management in organic crops. *Annual Review of Entomology* 52: 57-80.

Experiences on implementation of biological control programs for tomato pests by means of parasitoids in Colombia

Fernando Cantor y Daniel Rodríguez

Programa de Biología Aplicada, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá-Colombia,
ecologia@unimilitar.edu.co

***Apanteles gelechiidivoris* as control strategy for the tomato leaf miner**

Tuta absoluta (tomato leafminer) is a major pest of tomatoes (EPPO, 2005; Follett, 2009, Harizanova et al., 2009). This pest has also been reported on *Lycopersicon hirsutum*, *Solanum lyratu*, potato (*Solanum tuberosum*), eggplants (*solanum melongena*), common bean (*Phaseolus vulgaris*), sweet pepper (*Capsicum* spp.) and several wild solanaceous species such as *Solanum nigrum*, *Solanum elaeagnifolium*, *Solanum puberulum*, *Datura stramonium*, *Datura ferox* and *Nicotiana glauca* (EPPO, 2005). In Colombia, it's one of the most important pests of greenhouse tomato crops. The control of this pest is based principally in the use of chemical insecticides (Escobar and Lee 2001).

In search of alternative and compatible strategies for the management of *T. absoluta* in Colombia, the Military University "Nueva Granada" has developed works in order to generate the information needed for support the implementation of an IPM program for the pest, in which ethological and biological control are central aspects.

In this context, researches were made in order to determine 1) Biological aspects of the natural enemy *Apanteles gelechiidivoris*, between them its parasitic capacity, 2) The appropriate timing for made releases of *A. gelechiidivoris* according to the infestation level in commercial crops and 3) Development of a massive rearing system with capacity to supply the natural enemy in the quantities required, and in a continuous way.

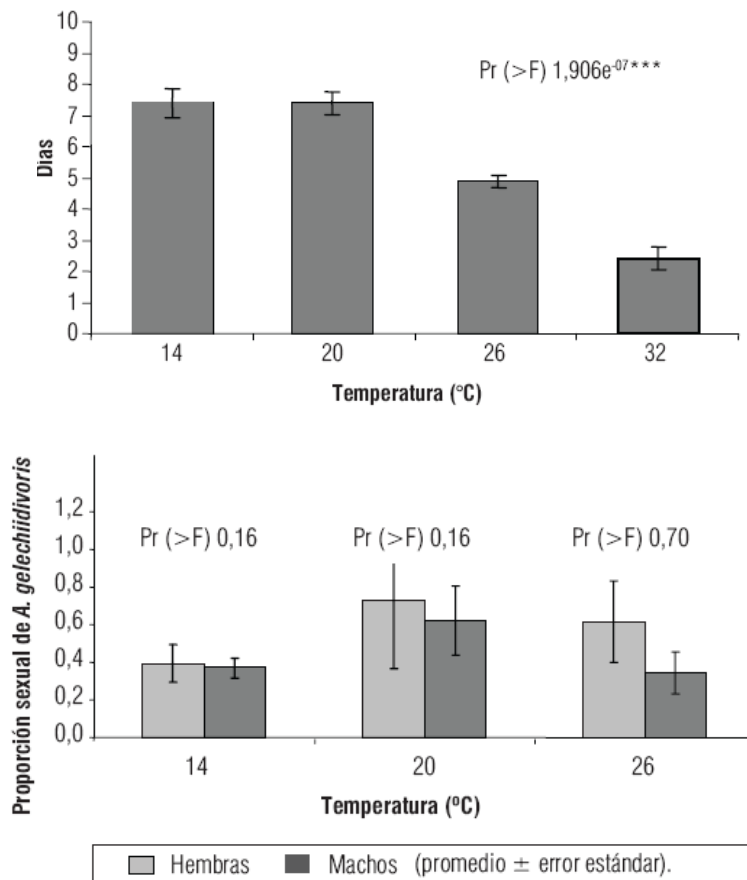
1) Lyfe cicle and parasitic capacity of *Apanteles gelechiidivoris* (Hymenoptera: Braconidae) for the control of *T. absoluta* (See Bajonero et al. 2008 and Escobar et al. 2004)

The life cycle of *A. gelechiidivoris* comprises four stages: egg, larva (with three instars), pupa and adult. The development time changes as function of temperature, from two days at 32 °C to 9 days at 14 °C.

Adults were obtained in the range between 14-32 °C and the highest female proportion was observed at 20 °C.

TABLA 4. Duración promedio en días de los estados de huevo, larva, pupa y adulto de *A. gelechiidivoris* a diferentes temperaturas (promedio $\pm$ error estándar).

		14 °C	20 °C	26 °C	32 °C
	Huevo	5,8 $\pm$ 0,66	3,0 $\pm$ 0,28	2,4 $\pm$ 0,22	2,0 $\pm$ 0,0
Larva	Larva I	4,0 $\pm$ 0,28	2,6 $\pm$ 0,22	2,2 $\pm$ 0,18	1,20 $\pm$ 0,18
	Larva II	6,6 $\pm$ 0,36	4,2 $\pm$ 0,33	2,2 $\pm$ 0,33	2,6 $\pm$ 0,22
	Larva III	6,2 $\pm$ 0,33	5,4 $\pm$ 0,22	2,6 $\pm$ 0,22	2,4 $\pm$ 0,22
	Pupa	15,0 $\pm$ 1,33	9,6 $\pm$ 1,85	6,8 $\pm$ 0,59	6,0 $\pm$ 0,98
	Adulto	8,6 $\pm$ 1,0	6,9 $\pm$ 0,99	5,4 $\pm$ 1,04	1,8 $\pm$ 0,33



Functional response curves at different temperatures indicated that the highest parasitic capacity is obtained at 20 °C, corresponding to 12 larvae of third instar. Releases of *A. gelechiidivoris* on *T. absoluta* in proportion 1:12 (obtained from the functional response) achieved parasitism percentages of 66% in greenhouse commercial tomato crops when combined with sex pheromone-baited traps (Bajonero 2011).

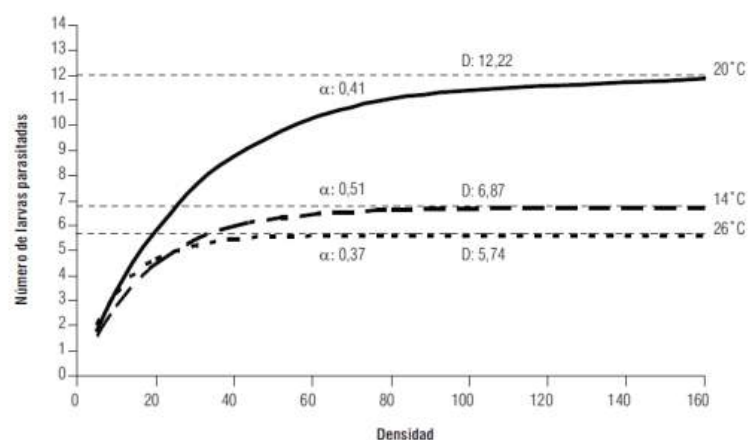


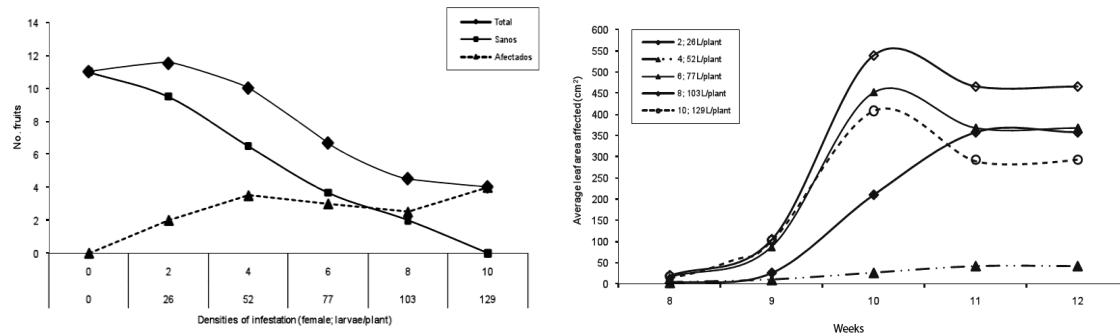
FIGURA 2. Respuesta funcional de *A. gelechiidivoris* sobre larvas de *T. absoluta* a diferentes temperaturas: 14 °C (—), 20 °C (—) y 26 °C (—).

2. Effect of densities of *T. absoluta* on growth and development of greenhouse tomato plants (see Cely et al. 2011)

The effect of five densities of females/plant (2, 4, 6, 8, 10) was evaluated. Three phases are clearly noticeable in the foliar damage curve: 1) Damage increase at growing rate, where the consumption of the leaf tissue is caused by first instar larvae, 2) Damage increase at linear maximum rate, especially by the feeding of larvae corresponding to 2d and 3d instars and 3) Stabilization of foliar damage. The total number of fruit and healthy fruit produced per plant in the first and second clusters reduces as infestation density increases. The greatest amount of perforated fruit was obtained in infestation densities of 8 and 10 females/plant, which is equivalent to densities over 100 larvae per plant with 55 and 100% damage, respectively.

3. Rearing system of *A. gelechiidivoris* for continuous supply of the natural enemy (see Morales 2011)

A rearing system that maximizes the proportion of females of the parasitoid was developed, using as natural diet third instar larvae of *T. absoluta* grown on tomato plants.



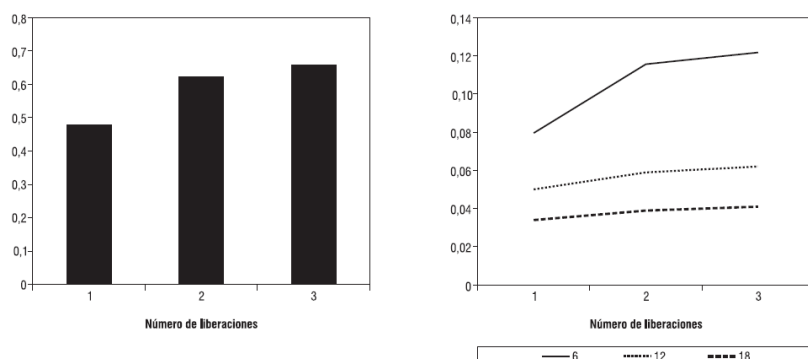
***Encarsia formosa* as control strategy for the Greenhouse whitefly (*Trialeurodes vaporariorum*)**

The greenhouse whitefly is an important pest that generates losses in a wide range of crops (Cardona *et al.* 2005; López-Ávila 1993). In tomato, production can reduce in 70% as consequence of the damage (Muñoz *et al.* 2011). The chemical control is the strategy most commonly used, although resistance to several products has been reported in Colombia (Cardona *et al.* 2005). Additionally, potential nocive effects to the environemnt and crop workers can occur as consequence of an innapropriate use of chemical control (Lee *et al* 2004).

In order to offer control strategies for *T. vaporariorum* with low impact on environment and people, researchers from the Military University “Nueva Granada” have developed works oriented to the implementation of IPM with the use of *Encarsia formosa* as a central component. Such research has developed the following topics: 1) Release densities and frequencies in order to obtain high parasitism in rearing system of the parasitoid 2) Determination of the appropriate ratio of wasps: hosts to use in the field 3) Sampling methods for estimation of the population density of *T. vaporariorum* and effectiveness of the parasitoid 4) Optimization of the rearing system by means of simulation tools.

1. Release densities and frequencies in order to obtain high parasitism in rearing system of the parasitoid (See Tello *et al.* 2007)

The rearing system for *E. formosa* requires the infestation of bean plants with high densities of *T. vaporariorum*. Since interference between wasps occurs when females concentrates in high densities, a unique release with high number of parasitoids (18 per bean plant 12 weeks old) is not appropriate to obtain high percentages of parasitism in the rearing system. The highest parasitism is obtained when 12 wasps are released divided in three times throughout the week.



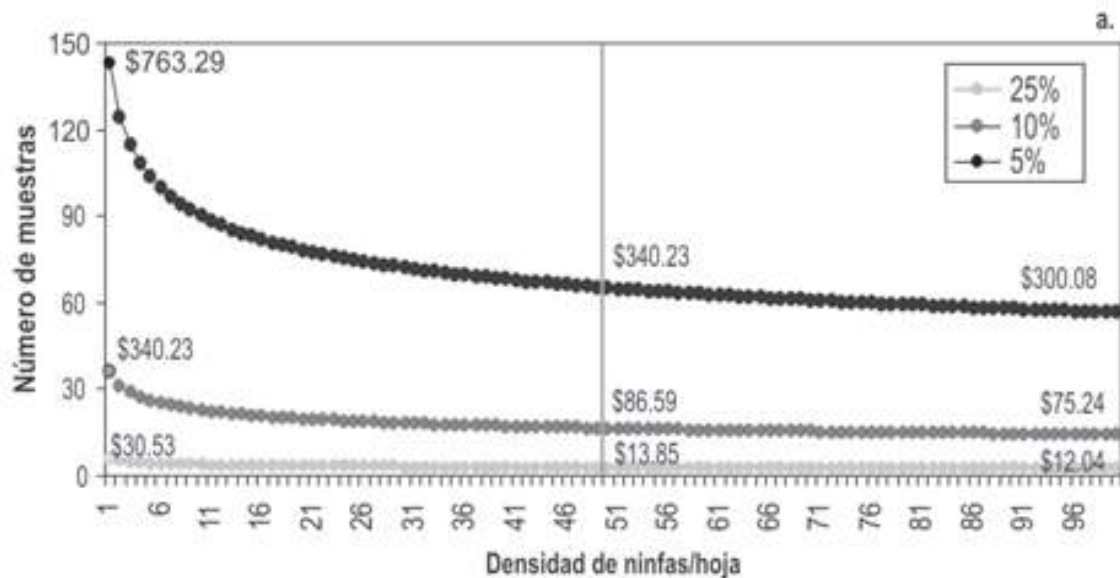
2. Determination of the appropriate ratio of wasps:hosts to be used in the field (See Aragón et al. 2008)

As has been mentioned previously, interference affects in a great way the parasitization by *E. Formosa*. This highlights the importance of an adequate proportion of wasps to nymphs to be parasitized. A ratio of 1 wasp to 17 nymphs of instar III allows to obtain 77.13% of parasitization, maximizing the control of *T. vaporariorum*

Cantidad de avispas liberadas	Porcentaje de control	Ninfas controladas por tratamiento	Ninfas controladas/avispa	Ninfas sanas/avispa
10	46,98	234,92	23	50
20	68,61	343,03	17	25
30	77,13	385,65	13	17
40	72,55	362,76	9	13
50	54,88	274,38	5	10

3. Sampling method for estimation of whitefly nymphs of instar III (susceptible for parasitization by *E. formosa*) (See Bernal et al. 2008)

In order to apply the ratio of 1 wasp to 17 nymphs that optimize the control of *T. vaporariorum*, a reliable estimation of the average number of nymphs per plant is needed. To achieve this target, curves of sample size were obtained applying the Taylor's Power Law, for several accuracy levels.



4. Optimization of the rearing system by means of simulation tools.

Despite the important achievements obtained in order to optimize the rearing system for *E. Formosa*, the dynamic conditions of such system and its complexity make difficult the decision making in some cases. Actually a simulation model of the rearing system is under development, in order to enhance the decision making process associated with production of the natural enemy.

Literature cited

- ARAGÓN, S.; RODRÍGUEZ, D.; CANTOR, F. 2008. Criterios de liberación de *Encarsia formosa* Gahan (Hymenoptera: Aphelinidae) para el control de *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Hemiptera: Aleyrodidae) en tomate. *Agronomía Colombiana* 26 (2): 275 – 282.
- BAJONERO, J.; CÓRDOBA, N.; CANTOR, F.; RODRÍGUEZ, D.; CURE, J.R. 2008. Biología y ciclo reproductivo de *Apanteles gelechiidivoris* (Hymenoptera: Braconidae), parasitoide de *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Agronomía Colombiana* 26: 417-426.
- BAJONERO, J. 2011. Evaluación de trampas de feromona sexual y *Apanteles gelechiidivoris* para el manejo de *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) en un cultivo comercial de tomate bajo invernadero. Tesis de Magister Biología Aplicada, Universidad Militar Nueva Granada, Colombia. 66 p.
- BERNAL, L.; PESCA, L.; RODRÍGUEZ, D.; CANTOR F. 2008. Plan de muestreo directo para *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Hemiptera: Aleyrodidae) en cultivos comerciales de tomate. *Agronomía Colombiana* 26: 266-276.

- CELY, L.; CANTOR, F.; RODRÍGUEZ, D. 2011. Determinación de niveles de daño ocasionados por diferentes densidades de población de *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) en tomate bajo invernadero. *Agronomía Colombiana* 28: 37-146.
- CARDONA, C.; RODRÍGUEZ, I.; BUENO, J.; TAPIA, X. 2005. Biología y manejo de la mosca blanca *Trialeurodes vaporariorum* en Habichuela y Fríjol. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Department for international development. Publicación CIAT No 345. Cali, Colombia. 50 p.
- ESCOBAR, H.; LEE, R. 2001. Producción de tomate bajo invernadero. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, 70 p.
- ESCOBAR, A.; CANTOR, F.; CURE, J.R. 2004. Contribución al conocimiento de la biología de *Apanteles gelechiidivoris* (Hymenoptera: Braconidae). *Revista Facultad de Ciencias, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá-Colombia*. 1: 71-74.
- EPPO- European and Mediterranean Plant Protection Organization (2005). "Data sheets on quarantine pests - *Tuta absoluta*." *Bulletin OEPP/EPPO* 35: 434-435.
- FOLLETT, P. A. 2009. Generic Radiation Quarantine Treatments: The Next Steps. *Journal of Economic Entomology* 102: 1399-1406.
- HARIZANOVA, V.; STOEVA, A.; MOHAMEDOVA, M. 2009. Tomato leaf miner, *Tuta absoluta* (Povolny) (Lepidoptera: gelechiidae) – first record in Bulgaria. *Agricultural Science and Technology* 1: 95-98.
- LEE, K.; CHUNG, S.; KIM, H. 2004. Effectiveness of Bionatrol on the control of two – spotted spider mites (*Tetranychus urticae*), aphid (*Aphis gossypii*), and whitefly (*Trialeurodes vaporariorum*) on greenhouse grown cucumber (*Cucumis* spp, KASA).
- LÓPEZ-ÁVILA, A. 1993. Avance y Perspectivas del Control Biológico de las Moscas Blancas. En XX Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología (SOCOLEN). Memorias julio 13 – 16 de 1993. Cali Colombia p. 303-314.
- MUÑOZ, L. 2011. Estandarización de las condiciones para optimizar la efectividad del biocontrolador *Encarsia formosa* Gahan (Hymenoptera: Aphelinidae) en cultivos comerciales de tomate. Tesis. M. Sc. Biología Aplicada. Universidad Militar Nueva Granada.
- MORALES, J. 2011. Estandarización de la cría masiva de *Apanteles gelechiidivoris* (Hymenoptera: Braconidae) para el control de *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). Tesis de Magister Biología Aplicada, Universidad Militar Nueva Granada, Colombia. 74p.
- TELLO, P.; CANTOR, F.; RODRÍGUEZ, D.; CURE, J. 2007. Densidades y frecuencias de liberación de *Encarsia formosa* (Hymenoptera: Aphelinidae) sobre *Trialeurodes vaporariorum* (Homoptera: Aleyrodidae) en tomate. *Agronomía Colombiana* 25 (2): 314-319.

Simposio 11.

Avances en plagas de importancia agrícola en Colombia

Coordinador: Alex Enrique Bustillo Pardey, Ph. D.
Cenipalma

Participantes:

Germán Andrés Vargas Orozco, Ph. D., Ulises Castro, Yarley X. Granobles y Gerson Ramírez

Nancy Barreto-Triana, Ph. D.

Olga Patricia Pinzón, Ph. D.

Emilio Arévalo Peñaranda, M. Sc., William King Cárdenas, M. Sc., Oscar Fuentes Murillo y

Jorge Hernán Palacino Córdoba, Ing. Agro.

Emilio Arévalo Peñaranda, M. Sc., Javier Martínez Alava, M. Sc., William King Cárdenas, M. Sc. y
Jorge Rodríguez Girón, M. Sc.

Bioecología y perspectivas de manejo de los salivazos *Mahanarva bipars* y *Aeneolamia varia* (Hemiptera: Cercopidae) en caña de azúcar

Germán Vargas¹, Ulises Castro¹, Yarley X. Granobles¹ y Gerson Ramírez¹

¹Ingeniero agrónomo, Centro de Investigación de la Caña de Azúcar, Cenicaña, Cali

Introducción

Los salivazos son considerados como una de las plagas más importantes de la caña de azúcar y de los pastos en el continente americano (Peck 1998). En Guatemala se ha determinado que un incremento poblacional de *Aeneolamia postica* (Walker), equivalente a un individuo por tallo, reduce siete libras de azúcar por tonelada de caña (Cengicaña 1999) y en Venezuela Salazar y Proaño (1989) encontraron que el ataque de *Aeneolamia varia* (F.) puede causar una disminución en la producción cercana al 25%. Por su parte, en Brasil el salivazo *Mahanarva fimbriolata* puede llegar a causar hasta el 60% en pérdidas agrícolas e industriales (Mendoza 2001). En Colombia la historia de los salivazos en caña de azúcar es reciente y apenas hasta ahora se está logrando conocer un poco más acerca de la biología, ecología e impacto económico en el cultivo. El salivazo *Mahanarva bipars* (Walker) fue detectado por primera vez en caña de azúcar en el departamento de Risaralda en el año 2002 (Peck *et al.* 2004) y desde ese entonces, en un esfuerzo cooperativo entre Cenicaña, ICA, Fedepanela y La Universidad de Caldas, bajo el patrocinio de Colciencias; se trabajó en el manejo preventivo de este problema (Gómez *et al.* 2007). En el caso de *Aeneolamia varia*, éste fue detectado en el año 2007 en el valle del río Cauca y desde ese entonces se han realizado estudios acerca de su biología, ecología y prácticas de manejo, que han sido adelantados por Cenicaña bajo el apoyo del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

Acerca de la biología de estos insectos se sabe que en el caso de *A. varia* las hembras pueden penetrar en las grietas del suelo hasta una profundidad entre uno y dos centímetros para ovipositar, pero también lo pueden hacer cerca de residuos vegetales o alrededor de las raíces. En el caso de *M. bipars*, las hembras prefieren los residuos de las plantas, especialmente las yaguas de las hojas para ovipositar. Se considera que el daño ocurre como una acumulación del efecto inducido por la alimentación tanto de ninfas como de los adultos (Hollman y Peck 2002). El régimen climático es un importante factor en la dinámica poblacional de los salivazos, en áreas de alta humedad se pueden encontrar poblaciones a lo largo de todo el año, mientras que en zonas secas, los periodos de infestación coinciden con el periodo de lluvias (Valerio *et al.* 2001). Sin embargo, poco se conoce de la dinámica poblacional de *A. varia* y *M. bipars* bajo las condiciones de régimen climático existente en la zona andina.

Para el control de los salivazos se ha implementado el uso de insecticidas químicos, biológicos (particularmente *Metarhizium anisopliae* Sorokin) y de prácticas culturales, tales como

el uso de maquinaria agrícola (cultivadora de escardillos), la quema, entre otros. (Cengicaña 1999, Márquez *et al.* 2009). En Centro y Suramérica se han seleccionado cepas de *M. anisopliae* para el control de diferentes especies de *Aeneolamia*, incluyendo *A. varia*; y también para el control de diferentes especies de *Mahanarva* (Cengicaña 1999, Mendoza 2001, Torres de la Cruz *et al.* 2006, Alves y Lopes 2008). En Colombia se han evaluado cepas de *M. anisopliae* para el control de *A. varia*, *Aeneolamia reducta* (Lallemand), *Zulia carbonaria* (Lallemand) y *Zulia pubescens* (F.) en pasturas, con resultados variables de eficacia (Morales *et al.* 2001). Sin embargo, se desconoce la eficacia del control de estos hongos con relación a las poblaciones de *A. varia* en caña de azúcar en Colombia. Otra alternativa de control para los salivazos en caña de azúcar es el uso de entomonematodos. A pesar de que no se tiene mucha experiencia en el uso de nematodos para el control del salivazo, su posible utilización sería promisoría en consideración a las características bioecológicas de estos posibles agentes de control. Los nematodos entomopatógenos se movilizan dentro del suelo en busca de sus hospedantes, que es donde usualmente las ninfas de están protegidas de otras alternativas de control (Coomans 2000; Ferrer *et al.* 2004). En el presente trabajo se describen los avances logrados en el conocimiento de la bioecología y en las perspectivas de manejo de estas especies en caña de azúcar en Colombia.

Mahanarva bipars

Bioecología e impacto en la producción

Bioecología. De acuerdo con Gómez (2008), el estado ninfal pasa por cinco instares, que al estilo de otras especies de salivazos pueden reconocerse por la presencia y longitud de los muñones alares. Las hembras tienen preferencia para la oviposición en la hojarasca, seguido por la superficie del suelo descubierto, que entre los dos resultaron en la localización de cerca del 85% de los huevos, también se encontraron huevos en los tallos, pero la fracción de esta fue menor al 1% del total (Gómez *et al.* 2006). El tiempo total de desarrollo del estado de ninfa tomó 61,3 días, mientras que el periodo total, incluyendo el estado de huevo y la fase adulta, tomó 101 días (T: 19.2 ± 1.1 °C y H.R.: $84\% \pm 5.6\%$), que se puede considerar de los ciclos más largos en comparación con otras especies de salivazos reportadas en Colombia (Gómez *et al.* 2006) (Tabla 1). La fecundidad de las hembras estuvo en un promedio de 65 huevos durante su vida reproductiva, que puede durar hasta 11 días. Bajo las condiciones del municipio de Guática (Risaralda) no se encontró el fenómeno de diapausa en el estado de huevo. Una vez emergidas las ninfas se localizan la parte aérea de las plantas principalmente en las yaguas de las hojas, en donde además se protegen con la formación de la masa de espuma típica de la familia Cercopidae.

Además de caña de azúcar, *M. bipars* ha sido observado en pasto elefante (*Pennisetum purpureum*), pasto Johnson (*Sorghum halepense*) y caña brava (*Gynerium sagittatum*) (Gómez 2008), en el caso específico de caña de azúcar la población de la plaga inicia su colonización de los tallos a la edad de los cuatro meses del cultivo y aumenta a medida que avanza la edad del cultivo

(Fig. 1). Sin embargo, no se encontró una relación directa con los registros de precipitación y las poblaciones tanto de adultos como de ninfas (Gómez *et al.* 2006).

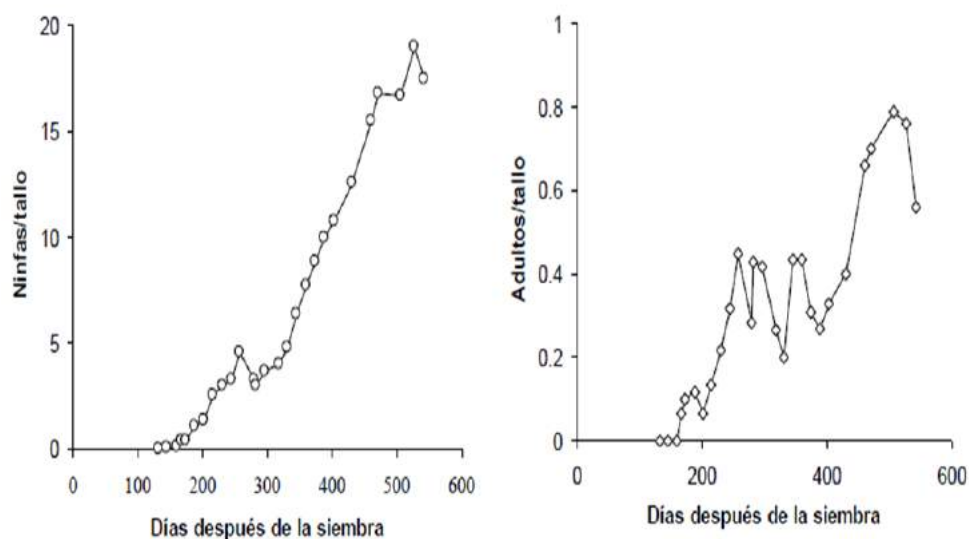


Figura 1. Desarrollo de la caña y población del salivazo *Mahanarva bipars* bajo las condiciones de Guática (Risaralda). Derecha: adultos por tallo, Izquierda: ninfas por tallo. Tomado de Gómez *et al.* (2006).

Tabla 1. Duración de los estados de vida de algunas especies de salivazo registradas en Colombia.

*Equivalente a huevo, ninfa y longevidad media del adulto. Adaptado de Gómez *et al.* (2006).

Especie	Huevo	Ninfa	Adulto	Total*
	Duración (días)			
<i>Aeneolamia lepidior</i>	14,1	35,4	6,2	52,6
<i>Aeneolamia reducta</i>	15,8	26,1	6,8	45,3
<i>Aeneolamia varia</i>	17,2	30,8	7,2	51,6
<i>Mahanarva andigena</i>	16,4	48,4	21,4	75,5
<i>Mahanarva trifissa</i>	17,0	44,2	6,8	64,6
<i>Mahanarva bipars</i>	28.2	61.3	11.4	95.2
<i>Prosapia simulans</i>	18,0	45,6	17,8	72,5
<i>Zulia carbonaria</i>	17,4	42,4	19,6	69,6
<i>Zulia pubescens</i>	14,3	38,0	18,4	61,5

Impacto en la producción. Con respecto al daño causado por este insecto en el cultivo, Gómez (2008) encontró que en la variedad CC 84-75 las parcelas tratadas con insecticidas durante todo el ciclo del cultivo produjeron un 22% más, en kilogramos de caña cosechada, que las dejadas sin tratar. Es de anotar que el control químico durante todo el ciclo del cultivo no presentó diferencias con la producción obtenida con el control realizado entre la germinación y los cuatro meses de edad del cultivo, lo que posiblemente habla de una interrupción del proceso de colonización del

cultivo antes de los cuatro meses, que es una etapa crítica en el incremento de las poblaciones de la plaga.

Perspectivas de manejo

Muestreo. Tal y como se mencionaba anteriormente las poblaciones de *M. bipars* están asociadas con la edad del cultivo y éstas aumentan a partir de los cuatro meses de edad, tiempo que podría considerarse crítico para la aplicación de medidas correctivas. Sin embargo, esto sólo aplicaría para campos manejados con corte por parejo, mientras que en campos donde el corte se hace por medio del entresaque, las poblaciones del salivazo van a ser más uniformes, ya que continuamente habrán tallos maduros capaces de sostener el desarrollo de las ninfas (Gómez 2008). Para tener una buena estimación del nivel poblacional de la plaga en el campo el muestreo de *M. bipars* se puede hacer tomando 50 tallos distribuidos al azar y de forma uniforme por parcela en donde se cuenten el número de adultos y de ninfas (Gómez 2008).

Uso de insecticidas (químicos y microbiológicos). Estudios realizados bajo las condiciones de Guática (Risaralda) demostraron que las poblaciones, tanto de ninfas como adultos, pueden ser reducidas temporalmente mediante el uso de insecticidas químicos (carbaryl, imidacloprid y carbofuran) (Fig. 2), que se podrían convertir en una alternativa en caso de altas infestaciones, o como medidas de choque sí se encuentra un foco del insecto en la zona plana del valle del río Cauca (Gómez *et al.* 2006). Con respecto a la posibilidad del uso de hongos entomopatógenos, se probaron diferentes cepas de *Metarhizium anisopliae* tanto en laboratorio como en campo. Los resultados de campo indicaron que la cepa CC 04Ma causó el 48% de mortalidad en el estado de ninfa, mientras que la cepa CC 03Ma causó un 64% de mortalidad en el estado adulto (Gómez 2008). A pesar de que estos niveles de control podrían considerarse bajos, no están muy distantes del nivel de efectividad evidenciado en el uso de aplicaciones de hongos entomopatógenos en contra de diferentes especies de *Aeneolamia*. En Guatemala se encontraron mortalidades entre el 35 y 65% en *Aeneolamia* sp., con la aplicación de diferentes cepas de *M. anisopliae* (Gómez 2006). Sin embargo, en México se reportan mortalidades más altas (98,7%) mediante la realización de cuatro aplicaciones de *M. anisopliae* cada dos semanas (Bautista y González 2005). En todo caso, el potencial de uso de este tipo de productos bajo las condiciones de caña panelera va a depender de dos aspectos, el primero la percepción del agricultor acerca del impacto económico acarreado por la plaga y segundo, una estimación del beneficio de la aplicación de estos productos insecticidas, que representan un rubro adicional en el presupuesto del sistema productivo, que en general es de minifundio y caracterizado por una agricultura de subsistencia.

Resistencia varietal. Bajo las condiciones de Guática se realizó la siembra de 15 variedades comerciales que fueron distribuidas en parcelas de cuatro surcos de 10 m de largo en un diseño de bloques completos al azar, donde se midió mensualmente el número de ninfas y adultos en 50

tallos por variedad. Se encontró que las tradicionales POJ 28-78 y POJ 27-14 mostraron los niveles más bajos tanto de adultos como de ninfas por tallo y se caracterizaron como resistentes, mientras que MZC 82-11, RD 75-11 y MZC 74-275 evidenciaron los niveles más altos y se caracterizaron como susceptibles (Gómez *et al.* 2006). Se puede considerar que esta caracterización está sujeta a gran variación ambiental, pero representa una aproximación a la respuesta varietal en un sitio de alta infestación por la plaga. El hecho de que variedades tradicionales y de amplia distribución en los campos cultivados para caña panelera como las POJ tengan un factor de resistencia en contra de *M. bipars* genera tranquilidad con respecto a la reducción del impacto económico que la plaga pueda estar teniendo en el sector panelero.

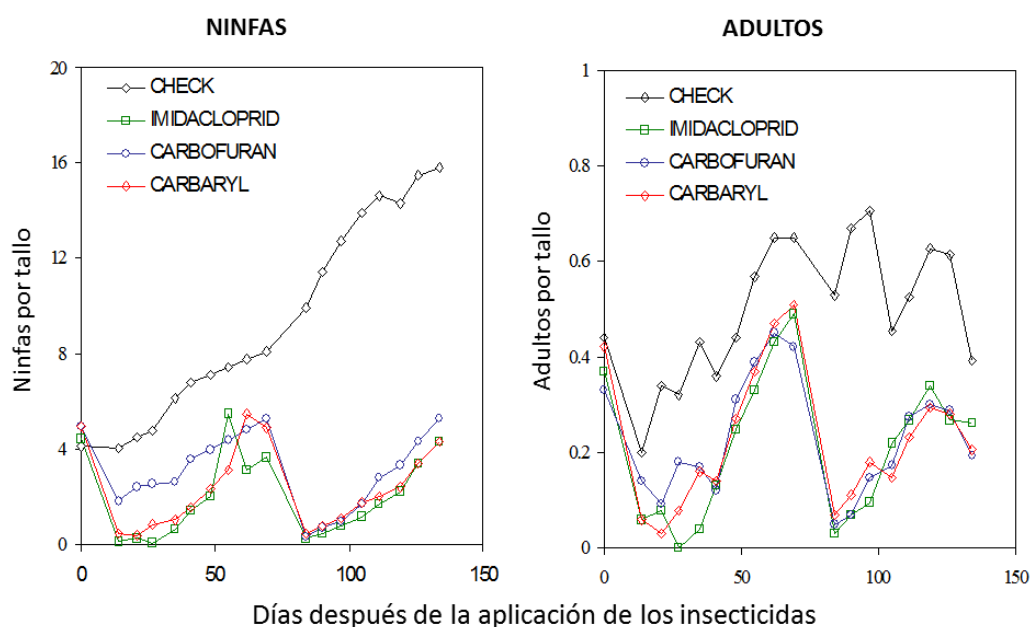


Figura 2. Efecto de la aplicación de diferentes insecticidas en las poblaciones de ninfas (izquierda) y adultos (derecha) de *Mahanarva bipars* bajo las condiciones de Guática (Risardalá). Tomado de Gómez *et al.* (2006).

Prácticas culturales. Gómez *et al.* (2006) realizaron observaciones del efecto de prácticas culturales del cultivo como el deshoje basal de los tallos, el corte por parejo y una fertilización basada en una aplicación de NPK al momento de la siembra, y de nitrógeno tres meses después de la siembra. Luego de los 10 meses de edad del cultivo se observaron diferencias en los conteos tanto de ninfas como de adultos por tallo, en donde la labor del deshoje resultó en una reducción de la población de los salivazos con respecto a los tratamientos de fertilización y corte parejo (Fig. 3). El tratamiento de fertilización resultó en un mayor conteo tanto de ninfas pero de adultos, pero hay que considerar que bajo condiciones de alta infestación la fertilización puede ayudar en el proceso de recuperación del cultivo (Gómez *et al.* 2006). La práctica del deshoje se convierte en la práctica que mayor efecto ha demostrado en la reducción de las poblaciones de la plaga y

acompañada con la siembra de variedades con buen deshoje natural, se podrían convertir en alternativas para ser integradas en un manejo de las poblaciones del salivazo en las zona de alta infestación.

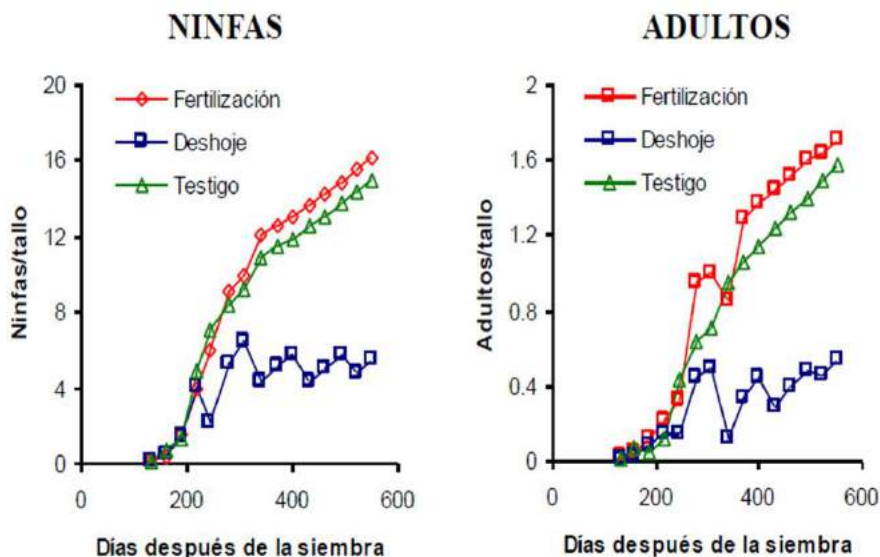


Figura 3. Efecto de las labores de fertilización y deshoje en las poblaciones de ninfas (izquierda) y adultos (derecha) de *Mahanarva bipars*, bajo las condiciones de Guática (Risaralda). Tomado de Gómez *et al.* (2006)

Control biológico. Bajo las condiciones de Guática se observó la depredación de las ninfas de *M. bipars* por parte de tijeretas (Dermaptera: Forficulidae) y de arañas habitantes comunes en el cultivo de caña panelera. Adicionalmente, es importante señalar que durante las labores de corte o deshoje del cultivo se observa abundancia de aves de corral alimentándose de las ninfas de la plaga que quedan desprotegidas en los tallos (Gómez 2008).

Aeneolamia varia

Bioecología e impacto en la producción

Bioecología. Luego de su detección en el valle del río Cauca Cenicaña emprendió una serie de estudios acerca de la distribución del insecto en la región y se encontró que estaba presente solo en la zona central del valle, específicamente entre Buga y Tuluá (Castro *et al.* 2009). La duración del tiempo de desarrollo de *A. varia* tomo un total de 40.5 días en caña de azúcar (T: 30 °C y H.R.: 70%) (Bustillo y Castro 2011), donde de acuerdo con Ramírez *et al.* 2012 durante los primeros dos instares del desarrollo se observaron los más altos niveles de mortalidad que acumularon una mortalidad del 68% del total de la mortalidad observada. Con respecto a la capacidad

reproductiva, el número de huevos fue de 28 huevos/hembra en caña de azúcar (variedad CC 84-75), mientras que de 38 huevos/hembra en pasto Braquiaria, lo que indica un 26% de menor fecundidad en caña de azúcar (Ramírez *et al.* 2012). De acuerdo con Gómez y Lastra (2009) a pesar de que se encontraron huevos diapáusicos de corta duración (duración de hasta tres meses), estos representaron el 22% del total de los huevos observados, mientras que el 75% eclosionaron antes de un mes y solo el 3% se tomó más de un mes para eclosionar.

Adicionalmente, entre los años 2008 y 2010 se realizaron observaciones de las fluctuaciones poblacionales de las ninfas y adultos en un campo de caña de azúcar sembrado con la variedad CC 84-75 y pasturas colindantes sembradas en de *Brachiaria* spp. Las capturas realizadas permiten aducir un efecto del desarrollo del cultivo y durante los periodos iniciales del cultivo, ya sea pocos meses después de la siembra o del establecimiento de las socas, resultaron en los niveles más altos de captura de adultos (Fig. 4) (Sendoya *et al.* 2012). Asimismo, se pudo apreciar un efecto del régimen climático donde periodos de escasa precipitación como el registrado en el año 2009 y de exceso de precipitación, como el observado en el 2010, resultaron en bajas capturas del insecto, mientras que durante el 2008, que se comportó como un régimen intermedio de precipitación, resultó en el mayor número de capturas (Fig. 5) (Sendoya *et al.* 2012). De acuerdo con esto es posible considerar que condiciones ya sea de escasas o de exceso prolongado de humedad afectan el crecimiento poblacional de *A. varia* y que condiciones de precipitación mas reguladas podrían favorecer el incremento de las poblaciones.

Hasta el momento no se ha logrado estimar el impacto económico de *A. varia* en la producción de caña de azúcar y por lo tanto el umbral de acción sugerido por Gómez (2007); de realizar aplicaciones de insecticidas cuando las poblaciones del salivazo superen los 50 adultos por trampa pegajosa amarilla o cuando se registren más de 0.2 salivas/tallo, o bien 0.2 adultos/tallo; es una recomendación que debe ser validada bajo las condiciones del valle del Cauca.

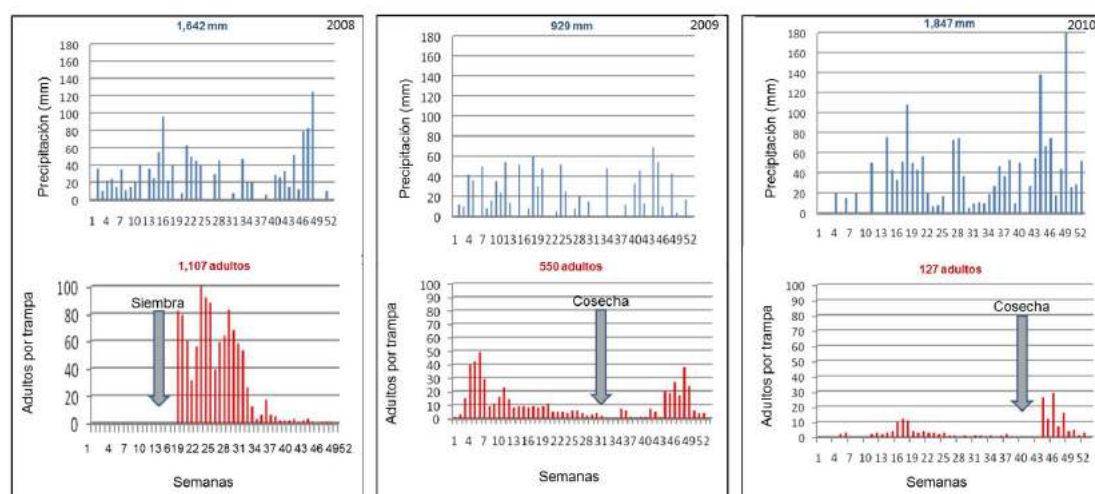


Figura 4. Registros de precipitación (mm) (arriba) y captura de adultos de *Aeneolamia varia* en trampas pegajosas amarillas en la hacienda La Negra (abajo) entre el 2008 y 2011. Adaptado de Sendoya *et al.* (2012).

Perspectivas de manejo

Muestreo. De acuerdo con Gómez (2007) el trampeo se puede realizar colocando dos trampas pegajosas amarillas por hectárea, que pueden ser revisadas cada semana, esto con el fin de determinar la presencia del salivazo en los campos cultivados. Este tipo de muestreo puede ser complementado con la inspección de dos sitios por hectárea, en donde se entre al campo y se determine el número de ninfas y/o adultos ya sea por cepa o su equivalente, que sería un metro lineal de surco. Entre los dos tipos de muestreo, el uso de trampas amarillas es el más recomendable puesto que constituye un método de muestreo que permanece expuesto en el campo durante todo el día y que disminuiría el factor de error humano en la estimación de la presencia/ausencia de la plaga y, a su vez, en lo referente al conteo de los individuos.

Uso de insecticidas (químicos y microbiológicos). El uso de insecticidas químicos se recomendó como medida de choque para reducir el nivel de infestación en los campos afectados y evitar la diseminación del problema a otras zonas de la región (Gómez 2007, Gutiérrez y Gómez 2009). Dentro de los cuales el uso de tiametoxan y de Imidacloprid brindaron los mejores resultados en la disminución de la población de adultos (Fig. 6). Sin embargo, la dependencia exclusiva de este tipo de productos acarrearía un impacto negativo en el manejo integrado de las plagas de la caña de azúcar, que tradicionalmente se ha basado en el control biológico, especialmente en el manejo de los barrenadores del tallo *Diatraea* spp. Ante esto, se trabaja en el uso de insecticidas microbiológicos como hongos y nematodos entomopatógenos.

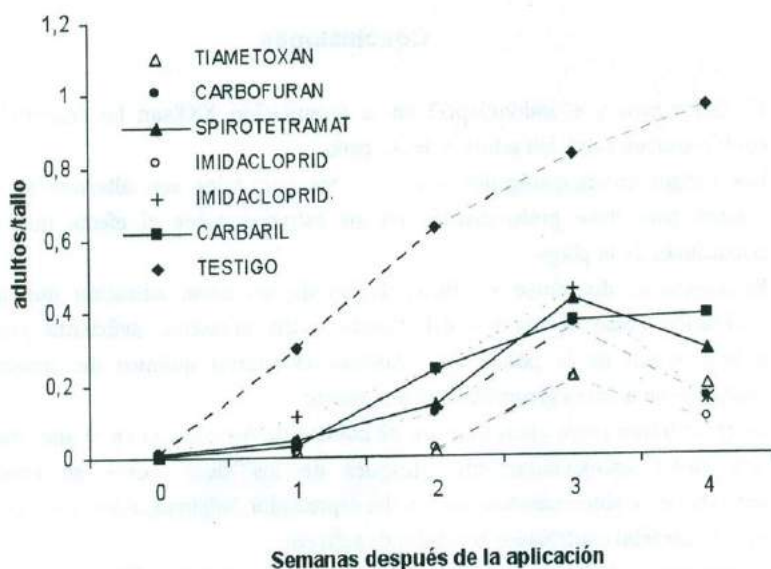


Figura 6. Evaluación del efecto de la aplicación de insecticidas químicos en el control de *Aeneolamia varia* en el valle del río Cauca. Tomado de Gutiérrez y Gómez (2009).

Mediante la toma de muestras de suelo recolectadas en los municipios de Guática (Risaralda), Oiba, (Santander), Anapoima (Cundinamarca), Riofrío, Buga, Tuluá; y de adultos de *A. varia* y *Z. carbonaria* observados en campo con signos de infección se obtuvieron cepas de hongos y de nematodos entomopatógenos y, además, se contó con contribuciones de cepas de hongos y nematodos por parte de Cenicafé y del CIAT (Obando *et al.* 2012; Rosero *et al.* 2012). Luego de la identificación y almacenamiento de las cepas, se realizaron pruebas de patogenicidad en laboratorio, invernadero y campo; que resultaron en la selección de cuatro cepas por cada uno de los dos grupos de entomopatógenos, principalmente cepas de *M. anisopliae*, en el caso de los hongos y cepas pertenecientes a los géneros *Heterorhabditis* y *Steinernema*, en el caso de los nematodos (Sendoya *et al.* 2012). Con las cuatro cepas seleccionadas, por cada uno de los grupos de entomopatógenos, se realizaron pruebas bajo condiciones controladas en campo, en donde algunas causaron mortalidades entre el 40 y el 50% de las ninfas, y que en la actualidad que están siendo probadas en campo, bajo condiciones comerciales, con el fin de validarlas como alternativas para el manejo de *A. varia* (Fig. 7).

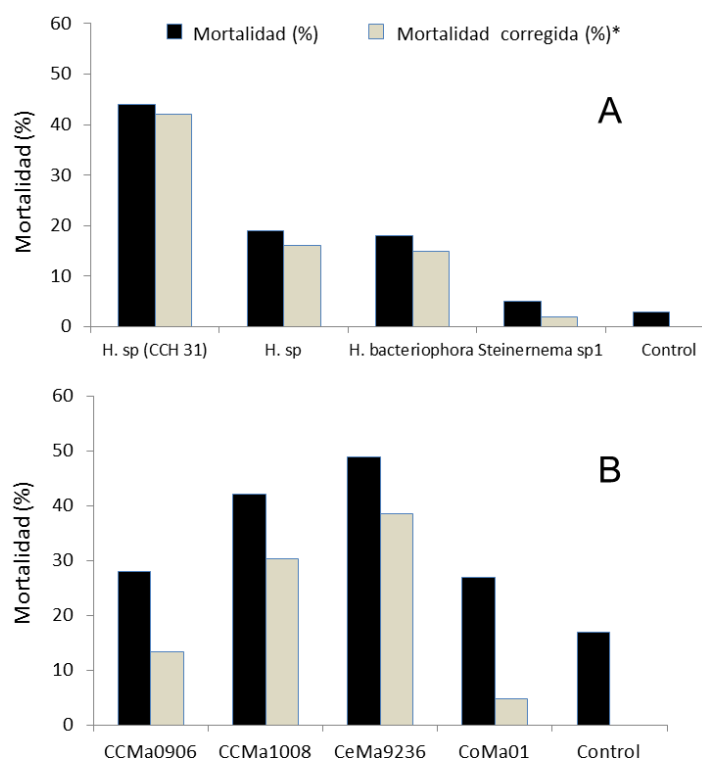


Figura 7. Mortalidad causada por cepas de nematodos (A) y hongos (B) entomopatógenos sobre poblaciones de ninfas de *Aeneolamia varia* bajo condiciones controladas de campo. Corrección de la mortalidad por Schneider y Orelli.

Adaptado de Obando *et al.* (2012).

Resistencia varietal. El último ataque severo de *Aeneolamia varia* se presentó en el 2010, a 15 km al norte del área de emergencia (Bugalagrande), este nuevo foco demuestra que se está dando un desplazamiento de la plaga por fuera de los límites de donde se encontró originalmente entre Buga y Tuluá y señala la posibilidad de que esta plaga puede llegar a dispersarse a nuevas áreas en el valle de río Cauca. Ante esto se debe conocer el comportamiento de las variedades de caña de azúcar al ataque del insecto para ampliar e identificar fuentes de resistencia que sean incluidas en el programa de cruzamientos del área de mejoramiento de Cenicaña. La disponibilidad de un grupo amplio de variedades que hayan sido confirmadas como resistentes permitirá el aumento de la frecuencia de los genes de resistencia en las nuevas variedades producidas en este centro de investigación. Con base en la metodología propuesta por Cuarán *et al.* (2012), se ha propuesto caracterizar una variedad como resistente al ataque de las ninfas de *A. varia* cuando se obtenga una calificación de daño foliar ≤ 3.00 (en una escala de 1 a 5) y que muestre un daño foliar inferior al testigo susceptible CC 85-92 (test de Dunnett, $P < 0.05$) (Castro *et al.* 2012), desde el año 2010 hasta diciembre del 2012 se han evaluado 419 variedades en donde sólo cinco se han confirmado como resistentes.

Prácticas culturales. A pesar de que el uso principal de las trampas pegajosas amarillas es para el monitoreo de las poblaciones del salivazo, Gómez (2007) recomienda el uso de 25 trampas por hectárea con el fin de reducir las poblaciones del salivazo. Sin embargo, es necesario realizar evaluaciones acerca del efecto regulador de las trampas amarillas en el control de *A. varia*. Por otra parte, se considera que las labores de preparación de los campos tiene un efecto regulador ya que expone los huevos del salivazo a los factores ambientales. Al respecto Gutiérrez y Gómez (2009) encontraron que la labor de renovación de la soca resultó en la reducción de la población de *A. varia* en comparación con un campo en donde no se hizo renovación. Sin embargo, la idea de renovar una soca en el cultivo de caña de azúcar es una inversión de alto costo y podría ser considerada solo bajo condiciones de un brote de la plaga, que represente un impacto económico severo en el cultivo. Otras alternativas como el uso de las cultivadoras tipo Lilliston han sido planteadas siguiendo las experiencias tenidas con este tipo de control en Centroamérica (Gómez 2007), sin embargo, hasta la fecha no se han realizado evaluaciones del potencial de este tipo de control en el valle del río Cauca.

Control biológico. Se encontró una alta asociación entre las fluctuaciones poblacionales de la mosca depredadora *Salpingogaster nigra* y adultos de *A. varia*, lo que plantea su potencial para el control biológico de la plaga (Gutiérrez y Gómez 2009). En observaciones de laboratorio Granobles *et al.* (2012) encontraron que a pesar de que se puede obtener progenie de la mosca bajo condiciones de cautiverio, la obtención de un solo adulto requiere de al menos 40 ninfas del salivazo, lo que resulta en un costo de producción muy alto limitando la idea de su producción masiva. Sin embargo, los mismos autores plantean la posibilidad de favorecer las poblaciones del benéfico en el campo mediante el mantenimiento y estímulo de arvenses como “marihuana

macho" (*Parthenium hysterophorus*) y de "hierba socialista" (*Emilia sonchifolia*), que demostraron la capacidad de sostener la reproducción de hembras de *S. nigra* en laboratorio.

Conclusiones

1. El uso de insecticidas químicos como carbaryl, imidacloprid y carbofuran resultó en la reducción de las poblaciones de *Mahanarva bipars* y pueden ser considerados como alternativas para el manejo de altas infestaciones o la detección de un brote en el valle del río Cauca.
2. Dado que las hembras de *M. bipars* ovipositan preferiblemente en los residuos vegetales, no se debe transportar material vegetal de zonas con la presencia de la plaga a otras en donde no se haya detectado.
3. Las variedades POJ 28-78 y POJ 27-14 se comportaron como resistentes a las poblaciones de *M. bipars* y su siembra junto con la realización de la labor del deshoje se convierten en alternativas de manejo de la plaga.
4. Existe un efecto del desarrollo del cultivo de la caña de azúcar y el régimen pluviométrico en las poblaciones de *Aeneolamia varia*, que son más altas cuando el cultivo está a edades tempranas y cuando existe un régimen moderado de lluvias.
5. El uso de insecticidas químicos (tiametoxan) es una alternativa de manejo que se está usando temporalmente en el manejo de las poblaciones de *A. varia* en la zona comprendida entre Bugalagrande y Buga en el valle del río Cauca. Sin embargo, ya se dispone de alternativas microbiológicas, hongos y nematodos entomopatógenos, que están siendo validadas bajo condiciones comerciales de campo.
6. En el momento no existe información acerca del impacto económico de las poblaciones del salivazo *A. varia* en caña de azúcar en el valle del río Cauca, por lo que se debe realizar este tipo de investigación conforme con la necesidad de validar las alternativas de manejo con respecto a su eficiencia y beneficio económico.

Literatura citada

- ALVES, S. B.; LOPES, R. B. 2008. Controle microbiano de pragas na America Latina. Piracicaba: FEALQ, 414 p.
- BAUTISTA, A.; GONZÁLEZ, N. 2005. Tres dosis de *Metarhizium anisopliae* sobre la mosca pinta (*Aeneolamia* spp.) en caña de azúcar en la Región de los Ríos, Estado de Tabasco. Universidad y Ciencia. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa, México, 21 (41): 37-40.
- BUSTILLO, A. E.; CASTRO U. 2011. El salivazo de la caña de azúcar *Aeneolamia varia* (F.) (Hemiptera: Cercopidae). Hábitos, biología y manejo de poblaciones. Cali, Cenicaña. (Serie Divulgativa No.11). 16p.

- CASTRO, U.; GÓMEZ, L. A.; GUTIÉRREZ, Y.; ANDRADE, L. P. VILLEGAS, A.; BERNAL, N. 2009. Distribución y especies de salivazo (Homoptera: Cercopidae) asociados con la caña de azúcar (*Saccharum* sp. L) en el valle del Cauca y Colombia. En: Memorias Tecnicaña – VIII Congreso de la Asociación Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar. 144-151 p.
- CASTRO, U.; CUARÁN, V. L.; BUSTILLO, A. E.; RAMÍREZ, G. D.; SALAZAR, F.; GÓMEZ, L. A.; 2012. Resistencia/Susceptibilidad de variedades de *Saccharum* spp., al ataque de *Aeneolamia varia* F. (Hemiptera: Cercopidae). En: Memorias IX congreso de la asociación Colombiana de técnicos de la caña de azúcar, TECNICAÑA y VIII Congreso de la asociación de técnicos azucareros de Latinoamérica y el Caribe, ATALAC. Cali, Colombia, Septiembre 12 – 14. 343-350 p.
- CENGICAÑA. 1999. Manejo integral de plagas. En Informe anual, CENGICAÑA, 1998-1999. Guatemala, Cengicaña. 25-32 p.
- COOMANS, A. 2000. Nematode systematics: past, present and future. Nematology. 2(1): 3-7.
- CUARÁN, V. L.; CASTRO, U.; BUSTILLO, A. E.; MESA, N. C.; RAMÍREZ, G. D.; MORENO, C. A.; GÓMEZ, L. A. 2012. Método para evaluar el daño de los salivazos (Hemiptera: Cercopidae) sobre caña de azúcar, *Saccharum* spp. Revista Colombiana de Entomología. 38(2): 171-176.
- FERRER, F.; ARIAS, M.; TRELLES, A.; PALENCIA, G.; NAVARRO, J. M. 2004. Posibilidades del uso de nematodos entomopatógenos para el control de *Aeneolamia varia* en caña de azúcar. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (CATIE), 72: 39-43.
- GRANOBLES, Y. X.; CASTRO, U.; BUSTILLO, A. E.; LASTRA, L. A.; PALMA, A.; GÓMEZ, L. A. 2012. La fecundidad y longevidad de hembras de *Salpingogaster nigra* Schiner (Diptera: Syrphidae) alimentadas con flores de *Parthenium hysterophorus* y *Emilia sonchifolia*. En: Memorias IX congreso de la asociación Colombiana de técnicos de la caña de azúcar, TECNICAÑA y VIII Congreso de la asociación de técnicos azucareros de Latinoamérica y el Caribe, ATALAC. Cali, Colombia, septiembre 12 – 14. 351-357 p.
- HOLLAMN, F.; PECK, D. C. 2002. Economic damage caused by spittlebugs (Homoptera: Cercopidae) in Colombia: a first approximation of impact on animal production in *Brachiaria decumbens* Pastures. Neotropical Entomology. 31(2): 275-284.
- GÓMEZ, L. A. 2007. Manejo del salivazo *Aeneolamia varia* en cultivos de caña de azúcar en el valle del río Cauca. Carta Trimestral, Cenicaña, Cali, Colombia. 10-17 p.
- GÓMEZ, L. A.; HINCAPIE, L. A.; MARIN, M. E. 2007. El salivazo de la caña de azúcar *Mahanarva bipars*. Serie Divulgativa No. 10. Cenicaña, Cali, Colombia. 4p.
- GÓMEZ, L. A.; GONZALEZ, G.; GUZMAN, J.D.; OSPINA, J.; HINCAPIE, L. A.; MARIN, M. E. 2006. Bases para el manejo integral del salivazo Colombiano de la caña de azúcar, *Mahanarva bipars* (Homoptera: Cercopidae). En: Memorias Tecnicaña – VII Congreso de la Asociación Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar. 196-208 p.
- GÓMEZ, L.A. 2008. Informe Final Proyecto Colciencias: Manejo Preventivo del salivazo (*Mahanarva bipars*). Cenicaña, Cali, Colombia.
- GÓMEZ, L. A.; LASTRA, L. A. 2009. Supervivencia de huevos de salivazo y características de la mosca depredadora *Salpingogaster nigra*: aspectos que pueden contribuir al manejo de *Aeneolamia varia*. En: Memorias Tecnicaña – VIII Congreso de la Asociación Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar. 152-158 p.
- GÓMEZ, P. 2006. Evaluación de cuatro concentraciones de *Metarhizium anisopliae*, bajo condiciones semi controladas para el control de chinche salivosa (*Aeneolamia* sp. y

- Prosapia* sp.), en la Corporación Pantaleón-Concepción, S. A. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Agronomía, 99-149 p.
- GUTIÉRREZ, Y.; GÓMEZ, L. A. 2009. Algunas experiencias en el manejo del salivazo *Aeneolamia varia* (Hemiptera: Cercopidae) en el valle del Cauca. pp. 160-167 En: Memorias Tecnicaña – VIII Congreso de la Asociación Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar.
- MARQUEZ, J. M.; VELASQUEZ, S.; GOMEZ, J. V.; LOPEZ, E.; CALLEJA, A. 2009. Eficiencia de control de la primera generación de ninfas de salivazo (*Aeneolamia postica*) utilizando *Metarhizium* y productos químicos. pp. 127-135 En: Memorias Tecnicaña – VIII Congreso de la Asociación Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar.
- MENDONÇA, A. F. 2001. Manejo integrado del salivazo de la raíz de la caña de azúcar *Mahanarva fimbriolata* en Brasil. pp. 48-55. Memorias del I Taller Latino Americano sobre plagas de la Caña de Azúcar. Guayaquil, Nov. 28-30. Aeta-Atalac
- MENDOZA, J. R. 2001. Bioecología del salivazo de la caña de azúcar, *Mahanarva andigena* (Hom: Cercopidae) en el Ecuador. pp. 40-47. Memorias del I Taller Latino Americano sobre plagas de la Caña de Azúcar. Guayaquil, Nov. 28-30. Aeta-Atalac,.
- MORALES, A.; TOBON, R.; YELA, O.; PECK, D. C. 2001. Characterization and formulation of select fungal entomopathogen isolates for field evaluation. Research group on the Comparative Bioecology and IPM of grassland spittlebugs. Summary of Activities, CIAT, 38-39 p.
- OBANDO, J.; ROSERO, M.; MATABANCHOY, J.; MORENO, C. A.; RAMÍREZ, G.; GARCÍA, A.; ARENAS, Y.; BUSTILLO, A. E. GÓMEZ, L. A.; VARGAS, G. 2012. Perspectivas del control microbiológico del salivazo *Aeneolamia varia* en caña de azúcar. En: Memorias IX congreso de la asociación Colombiana de técnicos de la caña de azúcar, TECNICAÑA y VIII Congreso de la asociación de técnicos azucareros de Latinoamérica y el Caribe, ATALAC. Cali, Colombia Septiembre 12 – 14. 358-366 p.
- PECK, D. C. 1998. Natural history of the spittlebug *Prosapia* nr. *bicincta* (Homoptera: Cercopidae) in association with dairy pastures of Costa Rica. Annals of the Entomological Society of America. 91 (4) 434-444.
- PECK, D. C., Rodríguez, J.; GÓMEZ, L. A. 2004. Identity and first record of the spittlebug *Mahanarva bipars* (Hemiptera: Auchenorrhyncha: Cercopidae) on sugarcane in Colombia. Florida Entomologist. 87(1):82-84.
- ROSETO, M.; BUSTILLO, A. E.; LÓPEZ, J. C.; CASTRO, U.; GÓMEZ, E. D. 2012. Eficacia de entomonematodos para controlar estados de *Aeneolamia varia* (Hemiptera: Cercopidae) bajo condiciones de invernadero. Revista Colombiana de Entomología. 38(2): 266-273.
- SENDOYA, C. A.; RAMÍREZ, G.; BUSTILLO, A. E.; CASTRO, U.; GÓMEZ, L.A.; VARGAS, G. 2012. Bioecología del salivazo de la caña de azúcar *Aeneolamia varia*. En: Memorias IX congreso de la asociación Colombiana de técnicos de la caña de azúcar, TECNICAÑA y VIII Congreso de la asociación de técnicos azucareros de Latinoamérica y el Caribe, ATALAC. Cali, Colombia Septiembre 12 – 14. 249-255 p.
- SALAZAR, J.; PROAÑO, L. 1989. Pérdidas ocasionadas por la candelilla de la caña de azúcar (*Aeneolamia varia*) en el área de influencia del central río turbio: estudio comparativo de las zafras 84/85 y 85/86. Caña de Azúcar. 7 (2): 49-54. .
- TORRES DE LA CRUZ, M.; MADRIGAL, H.; ORTIZ, C. F.; LAGUNAS, L.; DIAZ, G. 2006. Selección de aislamientos de *Metarhizium anisopliae* para el manejo de *Aeneolamia postica* en caña de azúcar de Tabasco, México. Memorias Congreso Internacional de Control Biológico. Mayo 31 - junio2, 2006. Palmira, Colombia, 22 p.

VALERIO, J. R.; CARDONA, C.; PECK, D. C.; SOTELO, G. 2001. Spittlebugs: bioecology, host plant resistance and advances in IPM, In Proceedings, 19th International Grassland Congress. São Pedro, Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz (FEALQ). 217-221 p.

Situación actual del complejo de chinches de los pastos (Hemiptera: Heteroptera: Miridae) en el Altiplano Cundiboyacense

Nancy Barreto-Triana¹

¹Ph. D. Coordinadora de Investigación y Transferencia, C.I. Tibaitatá. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria Corpoica, Km. 14 vía Mosquera, Cundinamarca. nbarreto@corpoica.org.co

Resumen. La Región del Altiplano Cundiboyacense es considerada una de las principales cuencas lecheras del trópico alto, con cerca de 817.000 ha. dedicadas a la producción de leche especializada. Desde 1992, la presencia de la chinche de los pastos *Collaria scenica* (Stal, 1859) ha causado una constante disminución en el rendimiento y calidad del forraje para el pastoreo del ganado, generando pérdidas económicas a los productores. Esta plaga es considerada el principal problema tecnológico y ha sido objeto de estudio por parte de diferentes entidades que buscan aportar conocimientos para generar estrategias de manejo que permitan la sostenibilidad del sistema productivo. En los últimos años el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural en alianza con Asociaciones de Ganaderos de la región destinó recursos para investigaciones sobre el comportamiento de las poblaciones de la plaga. Esto permitió reconocer diferentes patrones de crecimiento poblacional bajo escenarios de variabilidad climática (Niño, Niña). De igual manera, se construyeron modelos de distribución altitudinal de la especie empleando modelación de nicho ecológico, los cuáles fueron validados en campo, encontrando que el rango altitudinal de la especie en el Altiplano Cundiboyacense ha aumentado respecto a lo reportado en estudios anteriores. Finalmente, se pudo determinar la presencia de un complejo de chinches asociadas a pastos, consideradas plagas secundarias.

Palabras clave: Plagas gramíneas, variabilidad climática, control biológico, manejo integrado.

Abstract. Cundinamarca and Boyacá highland region is considered one of the main dairy basins in tropical highlands, with about 817,000 ha dedicated to specialized milk production. Since 1992, the presence of the grass bug *Collaria scenica* (Stal, 1859) has caused a steady decline in the yield and quality of forage for grazing livestock, deriving in economic losses for producers. This pest is considered the main technological problem and has been studied by different institutions in order to propose management strategies that ensure the sustainability of the production system. In recent years the Ministry of Agriculture and Rural Development in partnership with Cattlemen's Associations in the region, allocated resources for research on pest populations behavior. This helped to identify different patterns of low population growth scenarios of variability climate (Niño, Niña). Similarly, the altitudinal distribution models constructed from the species using ecological niche modeling, the which were validated in

field, finding that the altitudinal range of the species in the highlands Cundiboyacense has increased compared to that reported previous study. Finally, it was determined the presence of an associated bug complex grasses, considered secondary pests.

Keys word: Grass pests, climate variability, biological control, integrated pest management .

Introducción

Los sistemas de producción bovina representan una de las actividades más importantes del Altiplano Cundiboyacense, se caracteriza por su ubicación en tierras de trópico alto, clima frío con temperatura promedio de 13°C, altitud entre 2500 y 3000 msnm, humedad relativa del 70% y precipitación bimodal; condiciones que permiten el desarrollo de ganaderías especializadas intensivas para producción de leche (Duarte *et al.*1998; Espinal *et al.* 2005). El área en pasturas dedicadas a la producción de leche es alrededor de 817.000 ha., representada por tres zonas de gran importancia: la sabana de Bogotá; los valles de Ubaté y Chiquinquirá y el Alto de Chicamocha donde se sostienen cerca de 1.140.000 bovinos. El 90 % de las pasturas corresponden a pasto Kikuyo *Pennisetum clandestinum* Hoechst y el resto a pastos introducidos como Raygras *Lolium* spp. (Benavides, 1997; Duarte *et al.*1998). Dentro de los principales problemas fitosanitarios que afectan este sistema productivo se destaca el complejo de las chinches de los pastos, de las cuales *Collaria scenica* (Stal, 1859) es la especie predominante, registrada desde 1988 afectando la productividad de las praderas (Zenner 1992; Barreto 1996; Martínez y Barreto 1996; Duarte *et al.* 1998). Su daño causa reducción de la materia seca hasta del 25%, disminución de la digestibilidad hasta en 10%, reducción en la producción de leche hasta en 5Lt/animal/día y pérdidas económicas cercanas al 20% para los productores (Martínez y Barreto 1996; Duarte *et al.* 1998). Debido a su alto impacto, esta plaga ha sido objeto de diferentes estudios que buscan dar alternativas para su manejo y así contribuir a la sostenibilidad de las explotaciones lecheras, algunos de los cuales se resumen en este documento.

Las chinches de los pastos

En Colombia existe un complejo de especies de chinches de los pastos pertenecientes a la Familia Miridae, Tribu Stenodemini, que se caracterizan por ser fitófagas y alimentarse principalmente de gramíneas de la familia Poaceae, afectando significativamente las praderas dedicadas a la ganadería de leche en las regiones del Nororiente Antioqueño y el Altiplano Cundiboyacense. El principal complejo está constituido por dos especies del género *Collaria*: *C. oleosa* (Distant, 1883), y *C. scenica* (Stal, 1859) presentes en las dos regiones (Martínez y Barreto 1996; Abril 2002; Ferreira y Barreto 2012; Ferreira, Barreto y Abril 2013). Otras especies consideradas plagas secundarias encontradas en campo y otras potenciales encontradas en Colecciones taxonómicas del país con nuevos registros (*) para Colombia son:—*Stenodema andina* Carvalho, 1975,

Stenodema dohrni (Stal, 1859)*, *Stenodema praecelsus* (Distant, 1891) y *Collaria boliviana* Carvalho, 1990* (Ferreira y Barreto 2012; Barreto *et al.* 2013) y una nueva especie de Stenodemini *Cynodonmiris corpoicanus* (sometido para publicación).

Las especies del género *Collaria*: *C. scenica* (Stal, 1859) y *C. oleosa* (Distant, 1883)

El primer registro como plaga correspondió a *C. columbiensis* Carvalho, 1984, por el daño ocasionado a praderas de pasto kikuyo en el occidente de la Sabana de Bogotá en el año 1988, (Zenner y Borrero 1992; Zenner 1993) y en 1992 en Antioquia (Abril, 2002). Posteriores estudios demostraron la presencia de *C. scenica* en las dos regiones (Martínez y Barreto, 1996) y recientemente Ferreira, Barreto y Abril (2013) demostraron que la especie *C. columbiensis* Carvalho, 1984 es sinónimo junior de *C. scenica*. La especie *C. oleosa* es plaga secundaria en las dos regiones y presenta gran semejanza en la morfología externa con *C. scenica*, se diferencian por las características morfológicas del aparato genital masculino y femenino. Se registró por primera vez en Antioquia en 1953 y luego en el Valle del Cauca, en 1981 (Martínez y Barreto 1996; Abril 2002) y recientemente en el Altiplano Cundiboyacense (Osorio *et al.* 2011).

***Cynodonmiris corpoicanus* Ferreira & Barreto, nueva especie para el Neotrópico**

En Investigaciones realizadas por Corpoica con chinches de los pastos en el Altiplano Cundiboyacense, se encontró una nueva especie que se está considerando como perteneciente al género *Cynodonmiris* que inicialmente fue identificada como *D. linearis* Reuter, 1882, por su gran similitud morfológica. Al revisar la descripción de las especies de la familia Miridae, tribu Stenodemini (Carvalho, 1975), se observó que los ejemplares citados como especie *D. linearis* presentaban también una gran semejanza externa con el género *Megaloceroea*, principalmente con *M. recticornis* (Geoffroy, 1785). Todas estas especies son comunes en gramíneas de la familia Poaceae (Carvalho, 1975). Con base en las descripciones de Carvalho (1975) y material enviado en préstamo con ejemplares de *D. linearis* y *M. recticornis*, por el Dr. Thomas Henry del National Museum of Natural History, Washington D.C; se realizó un examen comparativo de la morfología externa y genitales de machos de las tres especies. También fue considerado el género *Cynodonmiris* que filogenéticamente es muy cercano a *Dolichomiris*, para lo cual se revisaron so trabajos de Carpintero y Estevez (2001) y Schwartz (2008), además por las sugerencias críticas e información personal de Schwartz. Así se llegó a la conclusión de que se trata de una nueva especie perteneciente al género *Cynodonmiris* Carpintero & Estevez, 2001, la cual fue denominada *Cynodonmiris corpoicanus* Ferreira & Barreto n.sp.; en homenaje a Corpoica - Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, institución que ha contribuido a la investigación para el conocimiento y manejo de chinches de los pastos (sometida para publicación en Zootaxa, mayo de 2013).

Esta nueva especie se registró en varios municipios de Cundinamarca y Boyacá, con altitudinal entre 2500 a 3340 metros. Los hospederos identificados en praderas mixtas fueron: pasto kikuyo *Pennisetum clandestinum* (Hoechst); *Lolium multiflorum* (Lam) raigrás anual, *L. perenne* L. raigrás perenne; *Holcus lannatus* L. falsa poa, *Avena sativa* L. avena, *Dactylis glomerata* L. grama, todos pertenecientes a la familia Poaceae (Ferreira y Barreto 2012).

Barreto *et al.* (2010), realizaron estudios en condiciones de insectario (21° C) con el fin de caracterizar el daño, sitio de oviposición y duración de los diferentes estados biológicos. El daño inicial en pasto raigrás corresponde a puntos blancos, luego manchas y franjas cloróticas dispuestas en zigzag, hasta marchitez y estrangulamiento de ápices. La hembra oviposita sobre hojas, vainas y suelo. Los huevos son semejantes a los de *C. scenica*: alargados verde claro, dispuestos en hileras hasta de 21 unidades. La incubación duró en promedio 13 días, se presentaron cinco instares ninfales con duración total de 35,7 días. Las ninfas son alargadas de color verde claro con franjas longitudinales dorsales verde oscuro. En promedio la duración de huevo a adulto fue de 49 días. Los adultos son alargados con longitud entre 7 y 9 mm, presentan coloración general marrón amarillenta con áreas oscurecidas, manchas y puntuaciones rojizas, lo que permite el camuflaje en los pastos del entorno que le sirven de hospedero.

***Stenodema andina* Carvalho, 1975**

Especie con registros en Nariño y en Caldas afectando trigo y pasto (Salazar y Ramírez 1986). En el Altiplano Cundiboyacense se encontró de manera reiterada, a veces en conjunto con *C. scenica* y *C. oleosa* en pastos dedicados a la ganadería de leche, es considerada plaga secundaria de las gramíneas. Está distribuida en Perú, Argentina, Brasil y Ecuador (Ferreira *et al.* 2001). El daño sobre pasto raigrás fue similar al de *C. corpoicanus*, inicia con puntos blancos, luego manchas y franjas cloróticas, hasta ápices marchitos. Oviposita sobre hojas, vainas y suelo. Los huevos de *S. andina* tienen forma de botella: anchos en la base y estrechos en el opérculo, en grupos de 1 a 9. La incubación es en promedio 13 días. Las ninfas son ovoides con el abdomen más ancho que el tórax, de coloración verde y pasan por cuatro estadios, la duración promedio de huevo a adulto es de 58 días. El adulto es de color café claro con franjas dorsales marrón sobre cabeza, pronoto, escutelo y hemiélitros. Su longitud es de 9 a 12 mm y es la especie de mayor tamaño entre el complejo de chinches (Barreto *et al.* 2010).

***Collaria scenica* (Stal, 1859)**

Importancia económica. *C. scenica* es la especie predominante en las praderas del Nororiente Antioqueño y del Altiplano Cundiboyacense. Su importancia radica en el daño que causa al alimentarse de las diferentes gramíneas, las cuales con el paso del tiempo pierden su calidad. Cuando el pasto presenta el máximo nivel de daño (necrosis apical) hay reducción de disponibilidad de forraje: hasta en un 25% por lo tanto hay reducción en capacidad de carga de las

pasturas por fanegada estimada por ganaderos encuestados entre 0.2 y 2 unidades animales/fanegada, menor digestibilidad hasta un 10% y disminución en la producción de leche de 0,5 a 5.0 Lt/animal/día (Barreto 1996). Según Duarte *et al.* (1998), la reducción en el ingreso de los productores por efecto de la incidencia y el daño causado por la chinche puede alcanzar hasta un 25%. Por otra parte, Barreto (1996), estima que el daño causado por la chinche puede causar una reducción en el ingreso de los productores entre el 19 y el 34% de acuerdo con el nivel de daño y la región.

Distribución espacial y altitudinal. Desde su aparición en la Sabana de Bogotá en 1988, la plaga ha tenido una rápida dispersión. Según Duarte *et al.* (1998) para el año 1997 la chinche de los pastos se encontraba en el 95% de las fincas ganaderas estudiadas en la Sabana de Bogotá y presentaba un avance territorial en dirección norte, mostrando infestaciones del 40% en los valles de Ubaté y Chiquinquirá. Este movimiento de las poblaciones del insecto hacia las zonas productoras se asoció a las fluctuaciones del clima y a la falta de un sistema de manejo sostenible de los potreros de Cundinamarca y Boyacá (Martínez y Barreto, 1996; Bernal y Granda, 1997). Según Ramírez *et al.* (2002) se realizó un estudio de campo en praderas pertenecientes a la Sabana de Bogotá y los valles de Ubaté y Chiquinquirá encontrando mayor incidencia en la Sabana de Occidente seguida por la Sabana Norte con focos en los municipios de Facatativá, Albán, Zipaquirá y Tocancipá, la menor incidencia correspondió a Valle de Ubaté y Chiquinquirá. Los mismos autores determinaron que existe una relación directa entre altitud y temperatura con la densidad de *Collaria*. Las densidades mayores se presentaron a menor altitud entre 2000 y 2400 msnm, las intermedias entre 2400 y 2700 msnm y por encima de los 2700 msnm las poblaciones de la plaga son muy bajas y en las zonas más frías es prácticamente nula. Estudios recientes demostraron la presencia de la plaga en 98 de 120 fincas ubicadas entre 1600 y 3000 msnm, con importantes incrementos de su población tanto espacial como altitudinalmente en las tres regiones: Sabana de Bogotá, Valles de Ubaté y Chiquinquirá y el Alto de Chicamocha (Barreto *et al.* 2011).

Modelos de predicción de la población de la plaga frente a variabilidad y cambio climático. Boshell (2010), menciona que el conocimiento de la variación natural del clima y de los impactos del cambio climático sobre los insectos plaga y benéficos constituyen un tema importante tanto para la prevención de problemas sanitarios como para el desarrollo de estrategias de adaptación a los cambios esperados. Del mismo modo afirma que el elemento meteorológico que más influye en el desarrollo de los insectos es la temperatura. En este sentido, las investigaciones desarrolladas en el marco del proyecto “Desarrollo de un sistema de manejo y alerta temprana para la chinche de los pastos *C. scenica*, en relación con la variabilidad y el cambio climático en el Altiplano Cundiboyacense (2008-2011), permitieron conocer el comportamiento poblacional actual de la plaga y comportamiento potencial que podría presentar.

Uno de los retos de la investigación frente a la incertidumbre del cambio climático es predecir los riesgos potenciales asociados a la respuesta de adaptación de las especies invasoras –

plagas- por cambio en la distribución de su hábitat o en la dinámica de sus poblaciones. Pulido *et al.* (2011) construyeron modelos de distribución potencial actual y bajo el escenario de cambio climático A1 para el periodo del 2020 de *C. scenica* en zonas ganaderas del Altiplano Cundiboyacense. Para estas modelaciones se utilizó información de la base de datos climática Worldclim (Hijmans *et al.* 2005) y biológica correspondiente a registros de presencia o ausencia de la plaga, como insumo para los algoritmos GARP (Stockman *et al.* 2006) y MAXENT (Phillips *et al.* 2006). Los resultados mostraron que hay un aumento de las áreas potenciales de distribución, que se observa en una expansión de las áreas potenciales tanto latitudinalmente como hacia zonas de mayor altitud, asociada principalmente a zonas de pasto y asociaciones de cultivos y forestales, con áreas más extensas en estos dos usos de suelo. La relación con Altitud mostró que las áreas potenciales con mayor probabilidad de presencia del insecto se encontraban en elevaciones mayores a los 2800 msnm e inclusive hasta los 3000 msnm. Las variables con mayor peso para explicar los cambios potenciales de las poblaciones de chinche fueron en su orden la precipitación anual, la temperatura máxima de los meses más cálidos y la temperatura mínima de los meses más fríos. Con esta información se validó el modelo en campo en el año 2011, para lo cual se realizaron muestreos en fincas ubicadas entre 2800 y 3400 msnm, encontrando que efectivamente la presencia de la plaga. Este resultado indica que esta herramienta de modelación puede ser de gran importancia para identificar áreas que potencialmente pueden ser colonizadas por la plaga a nivel nacional (Pulido 2012)

Efecto de la variabilidad climática interanual sobre la fluctuación poblacional de la plaga en la Sabana de Bogotá

Rodriguez (2011), realizó un estudio sobre el comportamiento de las poblaciones de la plaga en relación con las condiciones climáticas asociadas con el fenómeno oceánico-atmosférico de El Niño - Oscilación del sur (ENOS) en la Sabana de Bogotá. En este estudio se buscó analizar la relación entre la presencia del insecto y la variabilidad de los elementos agroclimáticos, así como analizar la tendencia de las series históricas de temperatura y precipitación en las estaciones localizadas en las zonas piloto y mediante el cálculo de los posibles valores anuales de las temperaturas medias, la precipitación y la evapotranspiración para los años 2020 y 2030 en las estaciones involucradas analizar los impactos esperados en la presencia y distribución espacial de la plaga, y así definir los insumos de información para estructurar un sistema de alertas tempranas para el manejo de la chinche de los pastos.

Se analizaron los datos de captura de la plaga tomados semanalmente en campo desde mayo 2009 a noviembre 2010 en el municipio de Funza y los datos climáticos registrados en la estación meteorológica Tibaitatá ubicada en el municipio de Mosquera. Se identificaron las variables agroclimáticas más significativas para determinar la presencia de ninfas y adultos de la chinche a través de un modelo de regresión lineal múltiple. La temperatura máxima y mínima, la precipitación y la evapotranspiración mostraron en este orden la mayor significancia. Se analizó la

respuesta del comportamiento de estas variables frente a las fluctuaciones de la temperatura superficial del mar (TSM), principal indicador del fenómeno El Niño y su impacto sobre el aumento o disminución de la plaga. El análisis permitió establecer el aumento de la población de la plaga para las dos temporadas de lluvia del año, normalmente durante los periodos de marzo a mayo y de septiembre a noviembre, especialmente para la primera temporada de lluvia siguiente al trimestre seco de diciembre a febrero, y adicionalmente con aumentos importantes durante los eventos El Niño. Igualmente bajo las condiciones La Niña y neutras, la distribución de la plaga se mantiene con mayor presencia durante las temporadas de lluvia pero con menor tendencia de crecimiento comparada con el comportamiento bajo condiciones El Niño. Teniendo en cuenta estos resultados es importante alertar a los productores para tomar medidas preventivas durante las temporadas de lluvias del año, correspondientes a los meses de marzo a mayo y septiembre a noviembre, donde se presenta una mayor abundancia de la plaga.

Fluctuación temporal y su relación con variables climáticas y de manejo. Garza y Barreto (2011), analizaron los datos colectados semanalmente durante un año de muestreo de ninfas y adultos de *C. scenica*, en cuatro fincas de la Sabana de Bogotá, mediante modelos lineales mixtos. Los modelos realizados estiman que la población de ninfas y adultos crece en función del incremento en la disponibilidad del pasto y el del aumento en la precipitación y las temperaturas máximas. Por el contrario, la población disminuye con la aplicación de control de insecticida biológico o químico y con la realización de prácticas de manejo de la pradera como riego, fertilización y establecimiento de praderas mixtas. Los aumentos de la población se presentan especialmente en las temporadas de transición de temporadas secas a lluviosas, coincidiendo con los resultados encontrados por Rodríguez (2011).

Alternativas para su control. Estudios recientes enfocados en la búsqueda de alternativas de control biológico de la plaga presentan resultados promisorios con nematodos entomopatógenos e insecticidas de origen botánico, además del reconocimiento de insectos benéficos asociados a praderas de clima frío.

En condiciones de laboratorio Naranjo *et al.* (2011) evaluaron la patogenicidad de *Steinernema* sp. y *Heterorhabditis* spp., y determinaron el efecto de diferentes concentraciones de Juveniles infectivos (JI) sobre ninfas y adultos de *C. scenica*. Se presentó 100 % de mortalidad de las chinches tratadas y presentaron sintomatología de patogenicidad. Comprobaron que las dos especies de nematodos evaluadas causaron infección, con mayor capacidad patogénica de *Sterneinema* sp, los autores asumen que la penetración ocurre a través de los espiráculos y el ano. En condiciones de invernadero se estudió la eficacia de juveniles infectivos (JIs) de *Steinernema* sp. JCL024 y *Heterorhabditis* sp. SL0708 sobre adultos y ninfas de *Collaria scenica*. Los resultados mostraron que hubo mortalidad del 100 % de las chinches tratadas después de 15 días, cada chinche produjo en promedio 13.000 JI/6 días. El daño causado por la plaga sobre pasto no alcanzó el nivel 2 en los 21 días de evaluación comparado con el tratamiento sin nematodos que

presentó daño 3 con necrosis y enrollamiento apical de las hojas. Se concluye que las dos especies evaluadas presentan alto potencial para ser incluidas en el control de la plaga (Naranjo *et al.* 2013).

Montero *et al.* (2012) evaluaron el efecto insecticida de tres concentraciones del extracto etanólico de semillas de Neem (*Azadirachta indica* A. Juss) sobre ninfas de la chinche de los pastos *C. scenica*, en condiciones de laboratorio. Diariamente realizaron una aplicación del extracto sobre las ninfas y se registró porcentaje de mortalidad, número de exuvias y número de individuos que llegaron al estado adulto en cada tratamiento. Los resultados fueron analizados con prueba Kruskal-wallis y Games-Howell para cada variable y concluyen que las tres concentraciones del extracto de semillas de Neem presentaron un efecto negativo sobre el desarrollo de las chinches. La mayor concentración del extracto (250 ppm) fue la más eficaz presentando una mortalidad del 97%, menor número de exuvias y menor número adultos al final del ensayo.

Rodríguez (2011), realizó la colecta de himenópteros voladores asociados a pastos destinados a la producción lechera afectados por la chinche de los pastos, en 12 fincas del Altiplano Cundiboyacense durante dos periodos de muestreo (Agosto- Septiembre-Octubre de 2010 y Marzo- Abril de 2011), por finca se escogieron tres potreros donde se dispuso una trampa Malaise en cada uno por 48 horas. El material colectado se identificó a familia por medio de claves taxonómicas y se organizó por morfoespecies con el fin de evaluar riqueza, abundancia, diversidad, equidad y dominancia. Se colectaron 624 ejemplares, se identificaron 15 familias en 7 de las 12 fincas muestreadas. Las familias que presentaron mayor abundancia fueron Braconidae con 389 individuos, Figitidae con 286 e Ichneumonidae con 145 individuos mientras que las familias Agaonidae, Dryinidae y Proctotrupidae presentaron 3 individuos en las dos primeras y 2 en la última. De las familias colectadas, la mayoría son parasitoides de diferentes plagas asociadas a pastos y cultivos, como lepidópteros, colópteros, dípteros y hemípteros, según la revisión bibliográfica solo Braconidae, Scelionidae, Ceraphronidae y Eurytomidae podrían ejercer control directo sobre *C. scenica*. Estos resultados aportan al conocimiento de las familias de Hymenoptera asociadas a pastos y además permite identificar posibles enemigos naturales de las plagas presentes en estos agroecosistemas.

Validación de prácticas de manejo integrado. Basados en los resultados de talleres participativos realizados en 2010 para concertar con productores, las prácticas de manejo de la chinche de los pastos, siguiendo la metodología propuesta por Fierro y Gutiérrez (2006), se obtuvo una calificación de 78% indicando que hay alta aceptación para adoptar una o varias de las alternativas propuestas. Así, en 2011, se desarrolló el proyecto “Ajuste y validación participativa de un modelo de manejo integrado de la chinche de los pastos en el Altiplano Cundiboyacense”. Financiado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural MARD se seleccionaron tres fincas donde se validó participativamente el modelo de manejo integrado de la plaga: recuperación y renovación de praderas degradadas, intersiembra (praderas mixtas gramíneas+leguminosas), fertilización adecuada, riego, reconocimiento de la plaga, niveles de daño, época oportuna de control, uso seguro de plaguicidas, aforos para determinar disponibilidad forrajera; conservación

de forrajes y manejo de áreas no utilizadas. Los resultados de las evaluaciones en dos ciclos de pastoreo en cada finca demostraron que los procesos de recuperación y renovación de praderas incrementaron la disponibilidad y proporción de especies forrajeras, el valor nutritivo del forraje, menor población y daño de la plaga en comparación con la tecnología del productor, con mayores bondades de la intersiembra. Se encontró correlación directa y altamente significativa entre el costo por hectárea y la materia seca, es decir a mayor inversión en el manejo de las praderas, mayor producción de materia seca/ha. Otros impactos generados en desarrollo del proyecto: reducción en horas de riego, cambio en la época de control de la plaga; conocimiento de niveles de daño y estados de la plaga y 429 personas (productores, asistentes técnicos, operarios de campo) capacitadas en manejo integrado de la chinche. La tecnología generada y transferida por Corpoica en el manejo integrado de la chinche de los pastos, contribuye a mejorar la competitividad y la sostenibilidad de las empresas lecheras, ante las exigencias actuales de calidad en el mercado (Barreto *et al.* 2012a).

Arévalo (2010), realizó el análisis económico del costo de las alternativas de manejo utilizadas por productores en el Altiplano Cundiboyacense. Describe que se la mayoría de fincas de la región realizan tres actividades en cada ciclo de pastoreo que son: Aplicación de insecticida químico para control de la chinche de los pastos, fertilización de praderas con productos a base de nitrógeno (urea), en algunos casos, mezclas de elementos o fertilizantes orgánicos, y riego por aspersión en épocas secas. En algunas fincas realizan la renovación de praderas como técnica de manejo anual, que aumenta los costos de producción, pero al mismo tiempo aumenta la productividad de la pradera. Cada una de las alternativas implican la utilización de equipos y mano de obra, la cual suma y da el valor real del manejo. Los costos promedio del manejo de la plaga y de la pradera que corresponden al uso de insecticidas y fertilización con urea tiene un valor promedio entre \$ 32.000 a \$ 98.000 pesos. La fertilización compuesta aumenta los costos en más de 100% generando gastos entre los \$200.000 y \$300.000, pero, junto a la renovación de praderas, son fundamentales para mejorar la calidad del forraje, y aumentar la resistencia del mismo a factores adversos como el clima y las plagas.

Por último se generó un Prototipo de Sistema de manejo de la chinche de los pastos por medio de un sistema experto. Se trabajan tres modelos: 1. Modelo Climático Local: con escenarios de Variabilidad y cambio climático. 2. Modelo poblacional de la chinche: modelo biológico en finca; y 3 Sistema Experto: alternativas de manejo de la pastura y de la plaga. El producto es un software de escritorio (no aplicación web), compuesto por modelos bio-matemáticos y climáticos, se encuentra en fase de desarrollo, verificación y validación (Barreto *et al.* 2012b).

Agradecimientos

Al Dr. Paulo Sergio Fiuza Ferreira, Taxónomo de Miridae, Universidade Federal de Viçosa, MG-Brasil, por sus valiosos aportes al conocimiento de la miridofauna asociada a pastos.

A los investigadores de Corpocia, que participaron como coejecutores de los diferentes proyectos, por sus aportes.

Literatura citada

- ABRIL, R.G. 2002. Biogeografía y descripción de las especies del género *Collaria* sp. en seis zonas lecheras del Departamento de Antioquia. Trabajo de grado, Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Medellín, 49 p.
- ARÉVALO, P. 2010. Análisis económico del costo de las alternativas de manejo de la chinche de los pastos utilizadas por productores en el Altiplano Cundiboyacense. Informe de pasantía Administración de Empresas Agropecuarias. Universidad de Cundinamarca. Ubaté. 7 p.
- BARRETO, N. 1996. Estudios biológicos para el manejo de poblaciones de la chinche de los pastos *Collaria columbiensis* Carvalho (Hemiptera: Miridae) en la Sabana de Bogotá. Trabajo de grado realizado para optar al título de maestría en ciencias agrarias. Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Facultad de Agronomía. 69 p.
- BARRETO, N.; OSORIO, P.; FERREIRA, P. 2010. Primer registro de complejo de chinches (Heteroptera: Miridae) asociadas a pastos en la Sabana de Bogotá. 2010. En: Resúmenes del XXXVII Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología. 30 junio, 1 y 2 de julio de 2010. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá D.C. p: 51.
- BARRETO, N.; ARCE, B.; ROJAS, E.; BETANCOURT, J.; AGUILERA, E.; GARCÍA, G.; ESPITIA, E.; CUESTA, P. 2011. Desarrollo de un sistema de manejo y alerta temprana para la chinche de los pastos *Collaria scenica* Stal, en relación con la variabilidad y el cambio climático en el altiplano cundiboyacense. Informe final Corpoica-Tibaitatá. 120 p.
- BARRETO, N., FERREIRA, P.; OSORIO, P. 2013. Capacitación en identificación de insectos chupadores (Heteroptera) asociados a pastos en sistemas de producción lechera en Colombia. Informe Final Convenio de movilidad Internacional Colciencias –Corpoica/Cnpq-Brasil. Corpoica Tibaitatá. 30 p.
- BARRETO, N.; ARREAZA, L.; RODRÍGUEZ, G.; TORRES, D.; MURCIA, G. 2012a. Ajuste y validación participativa de un modelo de manejo integrado de la chinche de los pastos en el Altiplano Cundiboyacense. Informe Final. Corpoica, Marzo. Tibaitatá. 20p.
- BARRETO, N.; ARCE, B.; RODRÍGUEZ, G.; ARREAZA, L.; ROJAS, E. 2012 b. Ajuste y validación de un prototipo de modelo para el manejo de la chinche de los pastos *Collaria scenica* para fincas lecheras del Altiplano Cundiboyacense. Informe Técnico Final. Corpoica Tibaitatá, Marzo. 50 p.
- BENAVIDES, M. 1997. Resultados proyecto prevención y manejo de la chinche de los pastos en la Sabana de Bogotá. Tibaitatá. Instituto Colombiano Agropecuario ICA. Sanidad Vegetal. 6 p.
- BERNAL, J.; GRANADA, H. 1997. La Chinche de los pastos *Collaria columbiensis*. Analac. 26p.
- BOSHILL, F. 2010. Cambio y variabilidad del clima y relaciones con la agricultura colombiana con énfasis en aspectos sanitarios En: Memorias Sociedad Colombiana de Entomología (Socolen) XXXVII Congreso, Bogotá, Colombia, junio 30, julio 2, 2010.
- CARPINTERO, D. L.; ESTÉVEZ, A.L. 2001. Two new genera of Stenodemini, *Spartinomiris* and *Cynodonmiris*, from Argentina (Heteroptera: Miridae). Neotrópica 47: 25-32.

- CARVALHO, J.C.M. (1975) Neotropical Miridae, CLXXXVIII: On the genera *Dolichomiris* Reuter, *Megaloceroea* Fieber, *Stenodema* Laporte, *Trigonotyliscus* n. gen. and *Trigonotylus* Fieber (Hemiptera). *Revista Brasileira de Biologia* 35 (1) 121-140.
- DUARTE, A.; CASTILLO, T.; GOMEZ, E.; REY, A.; ARAGON, R. 1998. El chinche de los pastos: efectos de su ataque y estrategias para su control en fincas lecheras de Cundinamarca y Boyaca. Corpoica, Tibaitatá, 18 p.
- ESPINAL, C.; MARTÍNEZ, H., GONZÁLEZ, F. 2005. La cadena de lácteos en Colombia una mirada global de su estructura y dinámica 1991 - 2005. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Observatorio Agrocadenas Colombia. Documento de trabajo número 74. Bogotá. 34p.
- FERREIRA, P.; BARRETO-TRIANA, N. 2012. *Dolichomiris corpoicanus* especie nueva (Hemiptera: Heteroptera: Miridae) asociada a praderas lecheras del altiplano cundiboyacense de Colombia. En: Resúmenes XXXIX Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología Ibagué, julio de 2012.
- FERREIRA, P.; BARRETO-TRIANA, N.; ABRIL, G. 2013. *Collaria columbiensis* Carvalho, 1984, a newly recognized synonym of *Collaria scenica* (Stal, 1859) (Hemiptera: Heteroptera: Miridae) *Zootaxa* 3669 (2): 197–200. ISSN 1175-5334 (online edition)
- GARZA, J.; BARRETO, N. 2011. Fluctuación temporal de la chinche de los pastos *Collaria scenica* (Stal, 1859) (Hemiptera: Heteroptera: Miridae) en la Sabana de Bogotá. *Revista Facultad De Ciencias Básicas. Universidad Militar Nueva Granada* ISSN 1900-4699 7 (2): 166-179 .
- GUTIÉRREZ, B.; FIERRO, H. 2006. Diagnóstico y diseño participativo en sistemas agroforestales. Manual. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria Corpoica. Mosquera. 110p.
- HIJMANS, R.; CAMERON, S.; PARRA, J.; JONES, P.; JARVIS, A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *Int. J. Climatol.* 25: 1965–1978 (2005)
- MARTÍNEZ, E.; BARRETO, N. 1998. La chinche de los pastos *Collaria scenica* Stal en la Sabana de Bogotá. *Boletín de Investigación. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria.* 66p.
- MONTERO, D; NARANJO, N., VAN STRAHLENE, A. 2012. Efecto Insecticida del Extracto de Semillas de Neem (*Azadirachta indica* A. Juss) sobre *Collaria scenica* Stal (Hemiptera: Miridae) *EntomoBrasilis* 5 (2): 125-129.
- NARANJO, N.; MONTERO, D.; SÁENZ, A. 2011. Primer reporte de patogenicidad por nematodos entomopatógenos sobre la chinche de los pastos *Collaria scenica* Stål (Hemiptera: Miridae). *ENTOMOTROPICA* Vol. 26(3): 117-125. Diciembre 2011. ISSN 1317-5262
- NARANJO, N.; MONTERO, D.; SÁENZ, A. 2013. Control de la chinche de los pastos *Collaria scenica* (Hemiptera: Miridae) con nematodos entomopatógenos en invernadero. *Rev. Bras. Ciênc. Agrár. Recife* 8 (1): 90-94.
- OSORIO, P.; FERREIRA, P.; BARRETO, N. 2011. Primer registro de *Collaria oleosa* (Distant, 1883) (Hemiptera: Miridae) em pastos del altiplano cundiboyacense. En: Resúmenes XXXVIII Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología, Manizales, Caldas, Colombia. p. 111.
- PHILLIPS, S.; ANDERSON, R.; SCHAPIRE, R. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190: 231–259.
- PULIDO, A.; BETANCOURT, J.; OSORIO, P.; BARRETO, N.; AGUILERA, E. 2011. Distribución potencial actual y futura de dos especies plaga en zonas ganaderas del altiplano cundiboyacense. En:

- Resúmenes XXXVIII Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología, Manizales, Caldas, Colombia. p. 111.
- PULIDO, A. 2012. Tendencias de distribución de la chinche de los pastos *Collaria scenica* (Stal, 1859) Hemiptera: Heteroptera: Miridae en dos escenarios de tiempo para el Altiplano Cundiboyacense, Colombia. Informe Final. Corpoica Ci Tibaitatá. 24 p.
- RAMÍREZ, C.; DÍAZ, G. 2002. La chinche de los Pastos *Collaria scenica*: Una amenaza para la producción lechera de la Sabana de Bogotá y Valles de Ubaté y Chiquinquirá. Instituto Colombiano Agropecuario. Bogotá. 20 p.
- RODRÍGUEZ, A. 2010. Himenópteros voladores asociados a praderas afectadas por la chinche de los pastos *Collaria scenica* (Stal, 1859) (Hemiptera: Miridae) en el altiplano cundiboyacense. Trabajo de grado para optar a título de Biólogo. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias. Bogotá. 28 p.
- RODRÍGUEZ, R. A. 2011. Desarrollo de un sistema de alertas agroclimáticas tempranas para la chinche de los pastos *Collaria scenica*, en la sabana de Bogotá. Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al Título de Magíster en Meteorología. Universidad nacional de Colombia.
- SCHWARTZ, M. D. 2008. Revision of the Stenodemini with a review of the included genera (Hemiptera: Heteroptera: Miridae: Mirinae). Proceedings of the Entomological Society of Washington 110 (4): 1111-1201.
- STOCKMAN, A.; BEAMER, D.; BOND, J. 2006. An evaluation of a GARP model as an approach to predicting the spatial distribution of non-vagile invertebrate species. Diversity and Distribution: 12 81–89.
- ZENNER, I.; BORRERO, F. 1992. Confusión imperdonable. Incógnita. Enemigos naturales. Notas y Noticias Entomológicas. Instituto Colombiano Agropecuario ICA. Tibaitatá. Enero-Febrero. pp. 1-2.
- ZENNER, I. 1993. Al fin se conoce. Notas y Noticias Entomológicas. Instituto Colombiano Agropecuario ICA. Tibaitatá. Mayo-Junio. pp. 23-24.

Problemas insectiles en plantaciones forestales comerciales en la Orinoquia

Olga Patricia Pinzón¹

¹Ph. D., Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, D. C.

Introducción

Las plantaciones forestales con especies de rápido crecimiento son utilizadas como estrategia para suplir la demanda comercial de madera y disminuir la presión sobre los bosques naturales. Se estima que Colombia posee aproximadamente 17 millones de hectáreas aptas para reforestación, de las cuales cerca del 30% se concentran en la Orinoquia (Proexport 2010). En la actualidad la actividad de reforestación se desarrolla con gran auge en la región de la Orinoquia, en los departamentos del Meta, Vichada y Casanare, en donde se vienen conformando núcleos forestales comerciales y se estima que en los últimos años se han establecido cerca de 30.000 ha con *Pinus*, *Eucalyptus* y *Acacia*, principalmente (Refocosta 2010). Dichas plantaciones se vienen estableciendo en áreas previamente ocupadas por pasturas introducidas o áreas cubiertas por sabana natural, y por ello la susceptibilidad de dichos cultivos ante el ataque de problemas fitosanitarios es poco conocida, como lo es la dinámica que pueden tener estas infestaciones y su potencialidad de desarrollarse como plagas. Los problemas que se registran sobre *Pinus* y *Eucalyptus* se derivan de las experiencias de empresas pioneras en la introducción de dichas especies en el departamento del Casanare (Mejía 1999) y sobre *Acacia mangium* de experiencias más recientes en el Meta y cercanías al departamento del Vichada (Lores y Pinzon 2011).

Principales problemas insectiles

En las especies de *Pinus caribaea*, *Eucalyptus* spp. y *Acacia mangium* en la Orinoquia, se registran aproximadamente 30 especies de insectos dañinos en su mayoría asociados al follaje. Los principales problemas corresponden a defoliadores entre los que se destacan la defoliación por hormiga arriera (*Atta* spp.; *Acromyrmex* sp.) y los ataques de coleópteros (Chrysomelidae: Eumolpinae) en eucaliptos. Asimismo, por tratarse de una plaga introducida recientemente, se mencionan las infestaciones del chupador de savia *Glycaspis brimblecombei* Moore (Hemiptera: Psyllidae) en algunas especies de eucalipto. Particularmente, en *A. mangium* se registra un mayor número de insectos dañinos, a pesar de que las plantaciones extensivas de la especie no alcanzan los 10 años de edad. En esta última especie además de la defoliación por hormiga arriera, puntualmente ocurren focos de varias especies de coleópteros e isópteros que afectan el fuste de los árboles (Lores y Pinzón 2011).

Hormiga arriera. Los ataques de hormiga arriera constituyen la principal plaga que afecta el establecimiento y desarrollo de plantaciones forestales en la Orinoquia. Las especies más comúnmente encontradas son: *Atta laevigata* F. Smith (hormiga negra), *Atta colombica* Guerin (hormiga mona), *Atta cephalotes* Linnaeus y en menor proporción *Acromyrmex* sp. Particularmente en el núcleo forestal más representativo de pino caribe y eucalipto localizado en el Casanare, *A. laevigata* predomina durante la etapa de establecimiento y en plantaciones jóvenes mientras *A. colombica* es más común en plantaciones adultas que presentan cerramiento del dosel, como es el caso de *Pinus caribaea* (Refocosta 2010). Asimismo, en plantaciones jóvenes de *Acacia mangium* en el Meta, también predomina *A. laevigata* y no se tienen todavía registros en plantaciones adultas (Lores y Pinzón 2011). Los nidos de hormiga arriera en las plantaciones son activos durante todo el año y dependiendo del cerramiento del dosel pueden ser activos durante una buena parte del día, por lo que defolian continuamente las plantaciones causando pérdidas considerables, que van desde la mortalidad de plantas recién establecidas, hasta reducción en altura y volumen de madera producida anualmente por hectárea (Refocosta 2010).

Aunque no se tienen registros sobre el impacto en la productividad final de las plantaciones por efecto del ataque de la hormiga arriera en la Orinoquia, el impacto registrado en países vecinos que reforestan con las mismas especies puede servir de referencia. Se conoce por ejemplo que la hormiga arriera es también la principal plaga forestal de plantaciones de eucaliptos en Brasil y de *Pinus caribaea* en Venezuela. En Brasil se ha estimado que el control de hormiga arriera puede superar el 75% de los costos y tiempo empleados para el manejo fitosanitario (Vilela 1986). En Venezuela, *Atta laevigata* se reconoce como una plaga que puede ocasionar reducción del rendimiento en volumen de madera de *P. caribaea*, proporcional a la densidad de nidos, y causa daño económico a partir de 5 nidos por hectárea en plantaciones menores a 10 años de edad (Hernandez y Jaffe 1986).

El manejo de poblaciones de hormiga arriera requiere de un cuidado intensivo durante todo el año, requiriendo de vigilancia permanente para detectar los nidos y controlarlos. Las labores de manejo de la hormiga arriera previas a la siembra, son determinantes en el éxito del establecimiento de una plantación ya que los ataques de hormiga arriera por efecto de la mortalidad de plantas generan sobrecostos asociados con la resiembra de material vegetal. En los núcleos forestales industriales de la Orinoquia, predomina el control de esta plaga con el uso del control químico mediante insuflación, nebulización y cebos a base de sulfluramida o fipronil. La utilización de cebos es considerada la forma más exitosa para controlar los nidos de tamaño mediano pero tiene el limitante de que los cebos son costosos, todas las especies de hormigas no los aceptan y su uso solo se recomienda durante la época seca (Refocosta 2010).

Cucarrón dorado. El cucarrón dorado *Costalimaita ferruginea* Fabricius (Chrysomelidae: Eumolpinae) como se conoce localmente al crisomélido causante de defoliación en varias especies de eucalipto en la Orinoquia, fue inicialmente reportado como perteneciente al género *Coytiera* sp., en ataques a *Eucalyptus tereticornis* en plantaciones localizadas en el Casanare (Mejía 1999).

El cucarrón dorado es un defoliador de varias especies de eucalipto llegando a ocasionar defoliación total en lotes jóvenes e inclusive en plántulas en desarrollo vivero. El daño característico de *C. ferruginea* es causado por el estado adulto (ya que la larva tiene hábitos alimenticios diferentes) y consiste en la perforación de la lámina foliar. El daño tiende a concentrarse en las hojas y ramas apicales causando ocasionalmente secamiento apical.

Infortunadamente sobre esta plaga se han hecho pocos estudios biológicos y ecológicos. Por ejemplo, se ha observado que los huevos son depositados en la hojarasca en donde eclosionan y las larvas se alimentan en hospederos diferentes a los adultos (Mejía 1999). Asimismo, en los focos de ataque frecuentemente se observa control natural por adultos de *Harmonia axyridis* (Pallas) (Coleoptera: Coccinellidae), varias especies de reduvidos y crisopas.

Los ataques de *C. ferruginea* en plantaciones de eucalipto de la Orinoquia, llaman la atención por su potencial como plaga de importancia económica, si se considera que el eucalipto es una de las especies recomendadas para el desarrollo forestal industrial de la Orinoquia (Borrahó y Nieto 2012). La preocupación se fundamenta en las experiencias de Brasil en donde los defoliadores de la familia Chrysomelidae son reconocidos como una de las plagas más importantes de los eucaliptos (Ohmarht 1991) y particularmente dentro del complejo de especies del género *Costalimaita* (Arnold y Goncalves 2010), *C. ferruginea* es catalogado como el coleóptero defoliador más importante en plantaciones jóvenes de eucaliptos de Brasil (Mendes 2004). En la literatura se tienen registros que incluyen como hospederos de esta especie a *Pinus tecunumanii* (Briceño 2002), *Eugenia* sp. (Costa *et al.* 2010), en cultivos agrícolas como: algodón, guayabo y níspero (Colombi 2007). En Casanare, se ha observado alimentándose de varias especies arbustivas de melastomátaceas, mango, merey, y algunas herbáceas (Mejía 1999). Sin embargo, no se conocen registros previos como plaga de cultivos agrícolas o forestales en Colombia.

Psilidos. En plantaciones de eucalipto en la Orinoquia se introdujo recientemente el psilido *Glycaspis brimblecombei* (Hemiptera: Psyllidae), del cual se desconoce el origen y fecha de introducción. En la literatura este insecto se registra con el nombre común de *red gum lerp*, originario de Australia, y se trata de la segunda especie de Psyllidae introducido en eucaliptos en Colombia, antecedido por la introducción de *Ctenaristayna eucalypti* en *E. globulus* (Pinzón *et al.* 2002). Las infestaciones de *G. brimblecombei*, se concentran en el follaje de árboles adultos de varias especies de eucalipto en donde pueden alcanzar infestaciones de importancia económica, ya que inducen defoliación prematura del follaje. En los árboles afectados se observa también clorosis y fumagina. Los pocos datos disponibles sobre poblaciones de este insecto sugieren que estas son favorecidas por las épocas secas y se reconoce la precipitación como un agente importante de control natural para reducir las infestaciones. Como dato interesante, esta plaga fue introducida con su principal agente de control natural, la avispa *Psyllaephagus bliteus* Riek (Rodríguez 2008).

Insectos que atacan el fuste. Los principales daños observados son causados por ataque de termitas en plántulas de vivero, en plantas recién establecidas, y en el fuste de plantaciones, así como perforaciones en corteza y albura causadas por platipodidos. Los daños causados por termitas o comejenes incluyen la barrenación de raíces en plantaciones recién establecidas de eucaliptos ocasionados por *Heterotermes convexinotatus* (Isoptera: Rhinotermitidae), y ataques al duramen de árboles en pie en rodales jóvenes de *A. mangium* en los cuales se ha observado principalmente las especies *Microcerotermes* sp. y *Coptotermes* sp. (Lores y Pinzón 2011, Beltrán 2012). Por su parte los ataques de varias especies de Platydodinae en *A. mangium* son motivo de preocupación ya que causan perforaciones en el fuste afectando el crecimiento a diferentes alturas en el fuste con consecuencias indeseables en la calidad de la madera así como predisposición al ataque por colonizadores secundarios y enfermedades (Beltrán 2012).

Literatura citada

- ARNOLD, A.; GONCALVES, D. 2010. Ocorrência de *Costalimaita lurida* (Coleoptera: Chrysomelidae) em *Eucalyptus* spp. em Minas Gerais. Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo 30: 257-259.
- BELTRÁN, A. 2012. Propuesta de manejo de insectos dañinos y exploración de la fluctuación poblacional con énfasis en perforadores del fuste (Curculionidae: Platypodinae) en plantaciones comerciales de *Acacia mangium* Willd. de la empresa Cooperación Verde S.A en Puerto Gaitán (Meta). Trabajo de grado Ingeniería Forestal. 130 p.
- BORRAHO, N.; NIETO, V. 2012. *Eucalyptus* para la Orinoquia: retos y oportunidades. Revista del mueble y la madera 26-33 p.
- BRICEÑO, A. 2002. Lista de insectos de importancia forestal en Venezuela. Revista Forestal Venezolana 46: 27-34.
- COLOMBI, A. 2007. Dinâmica populacional de moscas das frutas e de *Triozeida limbata* (Hemiptera: Psyllidae) e danos de *Costalimaita ferruginea* (Coleoptera: Chrysomelidae) e de *T. limbata* em pomar de goiaba submetido a sistema de racionalização de inseticidas. Magister, Universidad Estadual Paulista "Julio Mezquita Filho". 91 p.
- COSTA, F.; ALVES DA SILVA, D.; GONÇALVES DE JESUS, F. ; DA SILVA ARAÚJO 2010., M. Dinâmica Populacional do Coleoptera Desfolhador *Costalimaita ferruginea* em Cultura de Cagaita, na Região de Ipameri, GO. Anais do VIII seminário de iniciação científica e v jornada de pesquisa e pós-graduação Universidade Estadual de Goiás.
- HERNÁNDEZ, J.; JAFFE, K. 1986. Dano econômico causado por populações de formigas *Atta laevigata* em plantações de *Pinus caribaea* Mor. elementos para o manejo da praga. . Anais da Sociedade Entomológica do Brasil 24: 287-298.
- LORES, A.; PINZÓN, O. 2011. Insectos fitófagos en plantaciones comerciales de *Acacia mangium* Willd. en la Costa Atlántica y la Orinoquia Colombiana. 14: 175-188.
- MEJÍA, A. 1999. Experiencia en el manejo de integrado de plagas (Caso REFOCOSTA S.A.S). Boletín de Protección Forestal 5: 41-46.
- MENDES, E. P. 2004. MENDES, E. P. Efeito do ataque de *Costalimaita ferruginea* (Fabr.) (Coleoptera: Chrysomelidae) sobre crescimento e produção de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. Tesis doctoral Universidad Federal de Viçosa.

- PINZÓN, O.; GUZMÁN, M.; NAVAS, F. 2002. Contribución al conocimiento de la biología, enemigos naturales y daños del pulgón del eucalipto *Ctenarytaina eucalypti* (Homoptera: Psyllidae). Revista Colombiana de Entomología 28: 123-128.
- PROEXPORT. 2010. Sector Forestal en Colombia. 16 p.
- REFOCOSTA 2010. FSC Pesticide derogation approval refocosta S.A.
- RODRÍGUEZ, Y. 2008. Informe de pasantía. REFOCOSTA S.A.S.
- VILELA, E. F. 1986. Status of leaf-cutting and control in forest plantations in Brazil. pp. 399-408. En: Lofgren, C. S. V.; Vander Meer, R. K. (Eds.). Fire ants and leaf cutting ants: biology and management. Boulder. Wesview Press.

Acciones fitosanitarias para la vigilancia de la enfermedad del HLB de los cítricos y el psílido vector en Colombia

Emilio Arévalo-Peñaranda¹, William H. King C.², Oscar Fuentes Murillo³ y Jorge Hernán Palacino Córdoba^{4*}

¹ Ingeniero Agrónomo, M.Sc. Sanidad Vegetal. Director Técnico Epidemiología y Vigilancia Fitosanitaria, Instituto Colombiano Agropecuario ICA, Cra. 41 No. 17-81 Bogotá D.C., Colombia. emilio.arevalo@ica.gov.co; ² Ingeniero Agrónomo, M.Sc. Entomología. Área de Protección Vegetal Gerencia Seccional Tolima. ICA, Ibagué. william.king@ica.gov.co; ³ Ingeniero Agrónomo, DT Epidemiología y Vigilancia Fitosanitaria, ICA, Bogotá D.C. oscar.fuentes@ica.gov.co; ⁴ Ingeniero Agrónomo, Especialista en citricultura. ICA Quindío, Colombia. jorge.palacino@ica.gov.co (Autor para correspondencia). *Expositor.

Introducción

El psílido asiático de los cítricos, *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae) es el vector de la forma asiática de la enfermedad conocida como Huanglongbing - HLB, causada por la bacteria gram negativa *Candidatus Liberibacter asiaticus*. La enfermedad es considerada la más importante de los cítricos en el mundo (Tsai *et al.* 2000). Para Halbert y Manjunath (2004), la dispersión de la enfermedad además de realizarse por insectos vectores como el psílido, también se hace por el transporte de material de propagación infectado y experimentalmente por la planta parásita *Cuscuta* sp. (Cuscutaceae).

Diaphorina citri, se caracteriza de acuerdo con OEPP/EPPO (2005) de la siguiente manera: el tamaño del adulto macho es de 1,53-1,66 mm y la hembra de 1,90-2,06 mm. El tamaño de las antenas es de 0,48 mm. El cuerpo es de color café. La cabeza es más estrecha que el tórax. Las antenas tienen los dos segmentos basales de color café, del tercero al octavo los segmentos son amarillos y con los ápices del cuarto, sexto y octavo, y los dos últimos segmentos negros. El abdomen es negro en el dorso y blanco verdoso ventralmente. Las alas anteriores son hialinas con maculación dispersa, 2,4 veces más largas que anchas, estrechas en la base, muy amplias cerca al ápice, redondeadas apicalmente sin el pterostigma, y las alas posteriores son largas y delgadas, 0,9 veces más que las alas anteriores, tres veces más largas que anchas. Los adultos son muy activos y saltan ante cualquier disturbio. El psílido asiático de los cítricos fue detectado por el Instituto Colombiano Agropecuario, ICA en 2007, sobre material de propagación de lima Tahití y en un seto de limón swinglea en el departamento del Tolima. Simultáneamente también se encontró en Valle del Cauca, Risaralda y Caldas (King *et al.* 2008). A continuación se presentan los resultados de las actividades realizadas por el ICA, en la vigilancia oficial de *D. citri* en Colombia durante 2012.

Acciones Fitosanitarias

Distribución geográfica. Se efectuó un muestreo al azar en el área urbana y rural de 21 departamentos de Colombia, que consistió en la inspección de plantas de la familia Rutaceae en huertos, viveros, setos y plantas de jardín. Cada sitio se referenció geográficamente con un GPS Garmin. El muestreo se realizó en cuatro cortes así, el primero entre el 24 de abril y el 31 de mayo de 2012, el segundo entre el 1 de junio y el 16 de julio, el tercero entre el 17 de julio y el 31 de agosto y el cuarto entre el 1 de septiembre y el 30 de octubre.

Se realizaron cuatro rastreos del psílido vector del HLB durante 2012, con la inspección de 2468 sitios en 285 municipios localizados en 21 departamentos (Tabla 1). Se encontró presencia del psílido en 825 sitios, es decir en el 33,4% de los sitios muestreados, de los 21 departamentos (Antioquia, Atlántico, Bolívar, caldas, Casanare, Cesar, Córdoba, Cundinamarca, Huila, La Guajira, Magdalena, Meta, Norte de Santander, Quindío, Risaralda, Santander, Sucre, Tolima, Valle del Cauca). Los principales huertos productores de cítricos del país se encuentran en estos departamentos (Fig. 1). Las poblaciones del psílido se encontraron entre los 9 msnm en el municipio de Santa Marta (Magdalena) y los 1669 msnm en el municipio de Salamina (Caldas), sobre huertos, viveros, setos y plantas de jardín. Al analizar la información sobre presencia del psílido por intervalos altitudinales se encontró que un 41,3% de las capturas se realizaron en el rango entre 0 y 500 msnm, un 28,5% entre 501 y 1000, un 28,5% entre 1001 y 1500, un 1,7% entre 1501 y 2000 msnm.

Plantas hospedantes del psílido. La revisión del árbol se hizo, inspeccionando los cuatro costados del árbol hasta su altura media. En caso de detectar la presencia del psílido se procedió de la siguiente manera:

- Usando un pincel humedecido con alcohol, se llevaron los insectos tanto adultos como ninfas a frascos con alcohol al 70%.
- Para el muestreo de inmaduros, con la lupa se revisó en los cogollos la presencia de posturas y colonias de ninfas. Estos se cortaron y se introdujeron en tubos con alcohol al 70%.
- En otras ocasiones, con ayuda de una jama entomológica se capturaron los insectos en estado adulto, vaciando el contenido completamente en una bolsa plástica con cierre hermético, se observó y verificó la captura de adultos en su interior para luego pasarlos con la ayuda de una pinza a frascos con alcohol al 70%.

Todas las muestras con los especímenes colectados se rotularon según el protocolo establecido por la Dirección Técnica de Epidemiología y Vigilancia Fitosanitaria, con los datos de campo en cada una de las muestras (hospedante, datos de altitud, longitud y latitud, municipio, departamento, nombre del colector y fecha de recolección). Esta información se registró en el

formato de rastreo de *D. citri*. Las muestras de los psílicos, junto con el formato de rastreo de *D. citri* fueron remitidas al Laboratorio Nacional de Diagnóstico Fitosanitario y Mitigación de Riesgos del ICA en Tibaitatá.

Tabla 1. Vigilancia oficial del psílido asiático de los cítricos en Colombia, 2012.

Departamentos	Municipios muestreados	Sitios inspeccionados (#)	Sitios con presencia
Antioquia	19	155	50
Atlántico	12	88	23
Bolívar	17	84	29
Boyacá	10	78	3
Caldas	14	204	77
Casanare	6	57	23
Cauca	11	99	13
Cesar	6	16	10
Córdoba	6	59	38
Cundinamarca	29	210	83
Huila	19	36	28
La Guajira	13	100	14
Magdalena	9	62	30
Meta	13	193	77
N. Santander	9	44	17
Quindío	12	203	44
Risaralda	4	73	33
Santander	12	196	54
Sucre	13	40	28
Tolima	36	192	87
Valle del Cauca	15	279	64
Total	285	2468	825

Se observó cómo plantas hospedantes del psílido, especies de importancia comercial como, *Citrus latifolia* Tanaka (Rutaceae), lima Tahití; *Citrus aurantifolia* (Christon.) Swing. (Rutaceae), limón pajarito o de castilla; *Citrus reticulata* Blanco (Rutaceae), mandarina arrayana y oneco; *Citrus sinensis* (L.) Osbeck (Rutaceae), naranja valencia, salustiana, hamlin, sweety, Washington; *Citrus paradisi* Macf. (Rutaceae), pomelo o toronja; *Citrus reticulata* x *Citrus paradisi* (Rutaceae), tangelos. Y otros usados como patrones, *Citrus aurantium* L. (Rutaceae), naranjo agrio;

Citrus reshni Hort. ex Tan (Rutaceae), mandarina cleopatra; *Citrus x aurantium* L., pro sp. x *Citrus trifoliata* L. (Rutaceae), CPB 4475. También se encontró en su hospedante favorito *Murraya paniculata* (Rutaceae), mirto y en *Swinglea glutinosa* (Rutaceae), limón swinglea.

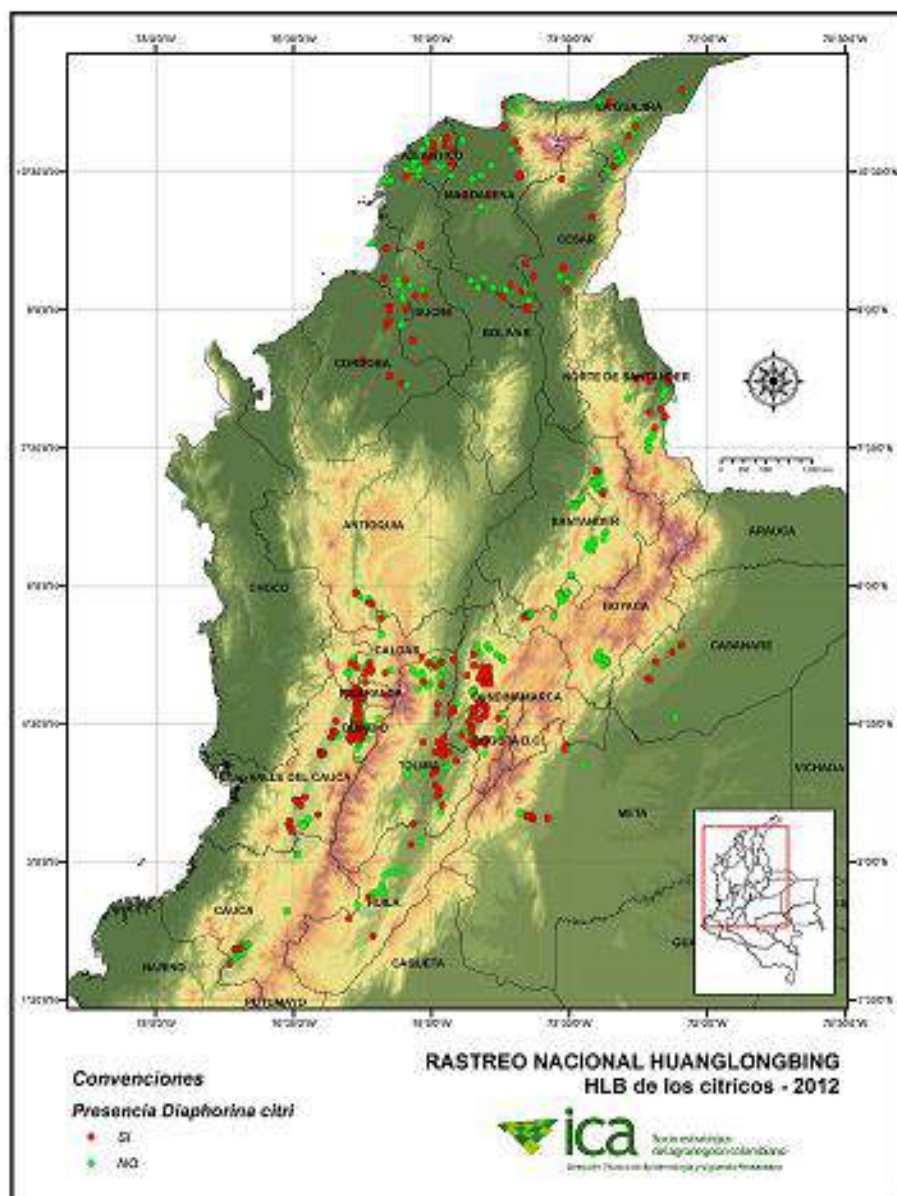


Figura 1. Distribución geográfica del psílido asiático de los cítricos en Colombia, 2012.

Las plantas sobre las que se encontró el psílido en Colombia, coinciden con las reportadas en otras regiones del mundo (Halbert y Manjunath 2004). Sin embargo, la vigilancia permitió establecer que también ninfas y adultos del psílido se ubican sobre setos de limón swinglea. Esta situación

reviste especial importancia para la vigilancia fitosanitaria, haciéndola más difícil ya que esta facilita la multiplicación y la dispersión si se considera que en las ciudades del país e incluso en los huertos productores de cítricos es común observar un seto del limón swinglea como demarcación de linderos y protección. Los cítricos y el mirto en Colombia son aprovechados como plantas de jardín, lo que puede comprometer el control del insecto vector.

Diagnóstico de la bacteria. El diagnóstico de la bacteria '*Ca. L. asiaticus*' a partir del psílido vector, fue diagnosticada siguiendo la técnica propuesta por Manjunath *et al.* (2008) e implementada por el ICA. Esta técnica consiste en una reacción en cadena de la polimerasa en tiempo real (*real time PCR* o *qPCR*) que detecta un fragmento específico del 16s del DNA ribosomal del patógeno (Manjunath *et al.* 2008). La técnica es lo suficientemente sensible para detectar el patógeno presente en la hemolinfa y las glándulas salivales aún de un solo individuo, ya sea ninfa o insecto adulto. Se realizaron PCR convencionales con posterior secuenciamiento de segmentos de interés para comprobar los resultados.

Colombia se encuentra libre del HLB de acuerdo con la vigilancia realizada por el ICA en 2012. En los rastreos se colectaron 679 muestras de ninfas y adultos del psílido, que fueron analizadas en el laboratorio encontrando que ninguno de los insectos analizados hasta el momento ha presentado la bacteria '*Ca. L. asiaticus*'.

Educomunicación. El ICA adelantó en todo el territorio nacional citrícola las siguientes estrategias de comunicación del riesgo:

- Jornadas de capacitación mediante talleres, participación en seminarios y simulacros; 55 eventos dirigidos a 3150 asistentes entre productores, técnicos, Ingenieros Agrónomos, comunidad académica, representantes de gremios y viveristas.
- Difusión de mensajes institucionales mediante cuñas radiales cubriendo emisoras de 122 municipios en 22 Departamentos.
- Impresión y entrega de 20.000 fichas técnicas sobre el psílido vector y la enfermedad Huanglongbing (HLB) de los cítricos.
- Creación de un mini sitio link del HLB en la página web institucional del ICA ([http://www.ica.gov.co/Areas/Agricola/Servicios/Epidemiologia-Agricola/Huanglongbing-\(1\).aspx](http://www.ica.gov.co/Areas/Agricola/Servicios/Epidemiologia-Agricola/Huanglongbing-(1).aspx)), que se actualiza permanentemente con boletines epidemiológicos, información internacional sobre el status de la enfermedad, avance en técnicas de diagnóstico, etc.
- 4 boletines epidemiológicos y 2 videos institucionales sobre la vigilancia al insecto vector y detección de la enfermedad.

Colombia se encuentra libre de la enfermedad HLB de los cítricos, y el ICA en unión con el gremio, continúa realizando las acciones fitosanitarias necesarias que garanticen la oportuna detección de la enfermedad y su control, mientras se mantiene actualizada la distribución del insecto vector.

Agradecimientos

A los Doctores Jorge E. Ángel y Everth Ebrath (ICA) por el análisis de las muestras en laboratorio. A todo el personal que contribuyó con su labor en campo. Especial agradecimiento a los productores de cítricos que permitieron realizar la vigilancia fitosanitaria en sus fincas. A la Asociación Hortifrutícola de Colombia – ASOHOFRUCOL, Fondo Nacional de Fomento Hortifrutícola por el apoyo financiero para el proyecto TR1311.

Literatura citada

- FAO, 1998. NIMF No. 8, Determinación de la situación de una plaga en un área. Secretaría de la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria. 93 p.
- HALBERT, S. E.; MANJUNATH, K. L. 2004. Asian citrus psyllids (Sternorrhyncha: Psyllidae) and greening disease of citrus: a literature review and assessment of risk in Florida. *Florida Entomologist* 87 (3): 330-353.
- KING, C. W. H.; GOMEZ, C. E.; EBRATH R. E. E.; RAMOS, A. A.; BURCKHARDT, D.; MORENO, H.; CASTAÑEDA A. 2008. Detección de *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) asociado a cítricos en Colombia. Resúmenes. Congreso Colombiano de la Sociedad Colombiana de Entomología, Cali. 16, 17 y 18 de julio. 180 p.
- MANJUNATH, K. L., HALBERT, S. E., RAMADUGU, C., WEBB, S., LEE, R. F. 2008. Detection of '*Candidatus Liberibacter asiaticus*' in *Diaphorina citri* and its importance in the management of citrus huanglongbing in Florida. *Phytopathology* 98:387-396.
- OEPP/EPPO. 2005. Diagnostic *Diaphorina citri*. Bulletin OEPP/EPPO 35: 331–333.
- TSAI, J. H., WANG, J. J.; LIU, Y. H. 2000. Sampling of *Diaphorina citri* (Homoptera: Psyllidae) on orange Jessamine in Southern Florida. *Florida Entomologist* 83 (4): 446-459 p.

Plan nacional moscas de la fruta (PNMF); estrategias de acción en Colombia

Emilio Arévalo-Peñaranda¹, Javier Martínez Alava², William H. King C.³ y Jorge A. Rodríguez Girón

¹ ICA, Director Nacional Epidemiología y Vigilancia Fitosanitaria. M. Sc., ICA, emilio.arevalo@ica.gov.co. ² M. Sc., ICA, javier.martinez@ica.gov.co, ³ M. Sc., ICA, ICA; william.king@ica.gov.co. ⁴ M. Sc., ICA, jorge.rodriguez@ica.gov.co.

Resumen. Las moscas de la fruta son plagas limitantes para la comercialización de frutas debido a los daños directos que ocasionan a cultivos y a que algunas especies son consideradas plagas cuarentenarias, lo que restringe el acceso a mercados internacionales. Para su control, el Instituto Colombiano Agropecuario ICA, ha venido implementando acciones de detección, vigilancia y manejo integrado del complejo moscas de la fruta en el marco del Plan Nacional de las Moscas de la Fruta - PNMF. En este Plan se cuenta con un Sistema Nacional de Vigilancia con redes de monitoreo y predios sensores en las principales áreas frutícolas del país. Mediante acciones del PNMF se ha logrado la declaratoria de cinco Áreas de Baja Prevalencia ABP-MF y dos Áreas Libres de especies de moscas de la fruta en el país. En 2012 se declaró una región del Departamento de Antioquia como ABP-MF para *Ceratitis capitata*. Se rediseñaron las redes de vigilancia en 13 departamentos y se desarrolló la propuesta para el rediseño en las áreas declaradas libres o ABP-MF. Adicionalmente con la ejecución del plan de acción de manejo integrado de moscas de la fruta, se logró la detección y aplicación de medidas de control oportuna, que permitió reducir hasta en un 58% las poblaciones de moscas en algunas regiones, en comparación con los niveles del año anterior. En cooperación con la Asociación Hortifrutícola de Colombia - Asohofrucol, en 2013 se iniciaron actividades para el mejoramiento de la condición fitosanitaria en zonas de producción hortifrutícola, fortaleciendo las actividades de prevención, control y supresión de las moscas de la fruta para potenciar el acceso a mercados nacionales e internacionales.

Palabras clave: Plagas cuarentenarias. Detección. Vigilancia. Control. Manejo.

Introducción

Colombia exportó en 2012 US\$FOB 229 millones de dólares y hasta abril del presente año US\$FOB 269 millones de dólares, por concepto de una amplia variedad de frutas comestibles (DANE 2013). Gracias a la política de fomento de la fruticultura en el país, el área cosechada alcanzó las 241.695 hectáreas con una producción de 3.305.049 Toneladas en 2011 (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural 2012). El Gobierno Nacional proyecta un incremento continuado de este renglón productivo, lo que generará beneficios sociales y económicos a través del empleo y las divisas durante los próximos años.

En los últimos años con la firma de tratados de libre comercio, algunas frutas diferentes al banano empezaron a tomar interés: Melón, sandía, pitahaya, piña, papaya, limones, uchuva, entre otros. No obstante lo anterior y a pesar de los tratados de libre comercio, la presencia de plagas de importancia cuarentenaria restringen este posible comercio. Una de las principales plagas que restringen este mercado son las moscas de la fruta.

Dentro de este grupo, las moscas de la familia Tephritidae y particularmente las especies *Ceratitis capitata*, *Anastrepha grandis*, *A. striata*, *A. serpentina*, *A. obliqua* y *A. fraterculus* se consideran como plagas de importancia cuarentenaria y restringen el comercio de frutas de importancia económica como melón, sandía, pepino, pimentón, ajíes, tomate, pasifloras, pitahaya, uchuva y mora entre otras.

En México se han calculado pérdidas en producción alrededor del 25% por el ataque de las moscas de las frutas (Gutiérrez *et al.* 1992). En Colombia las apreciaciones de los comerciantes de frutas de la Central de Abastos de Bogotá (CORABASTOS) indican que alrededor de un 50% del mango que ingresa presenta algún daño ocasionado por las moscas de las frutas (Barón citado por Barón y Manrique 2000). En un contexto general, se puede decir que las pérdidas de producción de la fruticultura pueden estar alrededor del 40%, principalmente por el ataque de esta plaga.

Las moscas de las frutas son una plaga importante porque sus estados inmaduros consumen directamente la pulpa de las frutas y porque indirectamente se convierten en un obstáculo para la exportación de frutas colombianas a países que tienen barreras cuarentenarias como los Estados Unidos de América.

El sostenimiento de los actuales mercados y la conquista de nuevos mercados para frutas y hortalizas frescas, dentro del proceso de la apertura económica y la globalización de la economía, exige productos de calidad fitosanitaria e inocuidad, para cumplir las exigencias de los países compradores.

Las exportaciones de frutas y hortalizas frescas desde Colombia, se encuentran condicionadas al cumplimiento de requisitos fitosanitarios, siendo las moscas de la fruta el problema más limitante para el comercio internacional. Son varias las especies de moscas de la fruta consideradas plagas cuarentenarias por su importancia económica, su gran poder de dispersión, su acción destructora y el alto costo que conlleva su control.

El Plan Nacional de Moscas de la Fruta PNMF, se desarrolla dentro del marco del Plan Estratégico del ICA y tiene como fundamento el desarrollo de acciones de detección, control y erradicación sobre este insecto plaga, para mejorar las condiciones de la producción frutícola en Colombia, mejorando la oferta con destino a mercados especializados y la agroindustria. Dentro de sus objetivos específicos se encuentra el mejoramiento de la condición sanitaria para la producción frutícola en áreas endémicas del país.

En Colombia en varios municipios del país se tienen reportes de la presencia de la mosca de la fruta (Diptera: Tephritidae) y a pesar de haberse adelantado campañas sanitarias para el manejo de esta plaga, su control no ha sido exitoso, debido a la existencia de un sinnúmero de

hospedantes, generalmente abandonados, que requieren de la implementación de medidas de control legal para lograr un manejo efectivo.

Teniendo en cuenta la actual tendencia de producir frutas de calidad fitosanitaria para lograr competitividad en los mercados, se hace necesaria la implementación de medidas que definan la aplicación continua de prácticas de manejo integrado, así como de labores de manejo agronómico de los lotes de producción para esta plaga. De esta manera, se origina el proyecto “Fortalecimiento de las acciones de prevención, control y supresión de las moscas de la fruta para mejorar la competitividad hortifrutícola colombiana, garantizando la seguridad alimentaria y la exportación de vegetales sanos”, cuyo objetivo principal es Fortalecer las actividades de prevención, control y supresión de las moscas de la fruta para lograr el establecimiento y mantenimiento de áreas libres o de baja prevalencia de las moscas, y mejorar la condición fitosanitaria de la producción hortifrutícola en Colombia, potenciando la capacidad de producción con destino a mercados nacionales e internacionales.

Antecedentes

En Colombia las moscas de la fruta del género *Anastrepha* tienen una amplia distribución en todas las regiones o núcleos frutícolas productivos de importancia económica, presentándose con diferentes niveles de población y diferentes índices de infestación. Así mismo la mosca del Mediterráneo *C. capitata*, mosca exótica que hizo su aparición en septiembre de 1.986 en Colombia, aun cuando se encuentra distribuida solo en áreas urbanas y suburbanas de las regiones afectadas, hospedando especies como el café y el almendro tropical *Terminalia catappa*, lo que no ha favorecido su dispersión, actualmente está avanzando hacia regiones de importancia frutícola y comercial, lo que pone en alto riesgo la producción frutícola nacional. En Antioquia esta especie ya ha vencido la barrera geográfica que tenía y en la actualidad se encuentra en predios localizados del municipio de Amagá y Fredonia, cercana a las áreas frutícolas del Suroeste Antioqueño. De igual manera avanza en su dispersión en la Costa Norte Colombiana.

El potencial para incrementar o iniciar las exportaciones de algunos productos hortofrutícolas y conseguir los beneficios socioeconómicos de tales exportaciones está limitado debido a la presencia de moscas de la fruta, las cuales son plagas de alta importancia económica y cuarentenaria, tales como la mosca del Mediterráneo (*C. capitata*), la mosca suramericana de las frutas (*A. complejo fraterculus*), la mosca de las Indias occidentales o del ciruelo (*A. obliqua*), la mosca de la guayaba (*A. striata*) y la mosca de las cucurbitáceas (*A. grandis*). Dependiendo de las condiciones agroecológicas y de factores climáticos, estas especies son capaces de dañar la producción de especies frutícolas como el mango, la guayaba, la feijoa, los cítricos, el melón, la sandía, la calabaza, los tomates, los ajíes, pimentones, las moras y frambuesas entre otros. Adicionalmente estas plagas pueden dañar otras especies silvestres, que aun cuando no son de interés comercial, representan una fuente de alimento para la población de algunos asentamientos urbanos y rurales.

Por otro lado, los requerimientos del mercado internacional para frutas y hortalizas demandan que estos productos de consumo, como aguacate, mango, melón, papaya, tomates, moras y ajíes, sean producidos en áreas libres o de baja prevalencia de plagas, incluso aun cuando estas especies sean pobres hospedantes de estas plagas bajo condiciones naturales.

Durante muchos años el Instituto Colombiano Agropecuario ICA y profesionales de otras entidades de investigación como las Universidades han realizado estudios en Colombia relacionados con las moscas de la fruta. En 1931 y 1952 se registraron trabajos de identificación de especies de *Anastrepha* por parte de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Medellín (Murillo 1931; González 1952). Entre 1972 y 1974 el ICA participó en un proyecto de la Región Andina financiado por la FAO, en el cual se buscaba la identificación y distribución de moscas de la fruta y sus hospedantes, dando como resultado el registro de las especies *A. fraterculus*, *A. distincta*, *A. striata*, *A. pickelli* y *A. manihoti*.

Durante los periodos 1977-1980 y 1980-1985 el ICA desarrolló, a través de la División de Sanidad Vegetal, la Campaña de moscas de la fruta en 15 departamentos y 55 municipios del país con énfasis en el trapeo y muestreo de frutos, dando prelación a la vigilancia de moscas exóticas en puertos, aeropuertos y pasos fronterizos. Como resultado de esto, se conoció la distribución de las especies *A. fraterculus*, *A. striata* y *A. obliqua*.

Durante el periodo 1986-1988 el ICA desarrolló el proyecto de cooperación técnica financiado por la FAO, con el objeto de continuar acciones para el reconocimiento de las moscas de la fruta y realizar acciones para la prevención de la mosca del Mediterráneo. Como resultado de esta actividad se detecta la presencia de *Ceratitis capitata* en el departamento de Nariño en septiembre de 1.986 y en el departamento de Antioquia en abril de 1.987 y en zona urbana de Popayán del departamento del Cauca. El hospedante principal reportado fue el café.

Posterior a este periodo el ICA continuó las actividades de detección y de vigilancia en el país y registra la presencia en 1996 de *C. capitata* en los departamentos de Guajira, Magdalena y Cesar, utilizando como hospedante al almendro tropical *Terminalia catappa*.

Durante el periodo 1992-1995 el ICA construyó el laboratorio de tratamientos cuarentenarios de Ibagué, para el desarrollo y validación de métodos para tratamientos cuarentenarios para poscosecha en frutas de exportación y desarrolló algunos estudios de evaluación de trampas y atrayentes y otros estudios de biología y ecología de *A. fraterculus* en mora y frambuesa en condiciones de campo, demostrando con esta investigación que la especie *A. fraterculus* no puede reproducirse a alturas superiores a los 2300 msnm.

En 1994 el ICA construye el laboratorio de tratamientos cuarentenarios localizado en Mosquera, con el cual ha podido realizar investigaciones en tratamientos cuarentenarios con vapor caliente, agua caliente, frio y últimamente con fumigación. Esto ha permitido la aceptación de protocolos para la exportación de pitahaya para Japón, Chile y Estados Unidos, uchuva a Estados Unidos y Chile, mango a Japón y Argentina.

Por parte de profesionales de algunas universidades también se realizaron investigaciones para la identificación de especies de tefrítidos en algunas regiones de Colombia, lo que ha

permitido junto con los estudios realizados por el ICA, conocer el estatus de las moscas de la fruta en el país. En este sentido, se ha contado con la participación profesionales de la Universidad Nacional de Medellín, Universidad del Tolima, Universidad del Valle y el CIAT.

Las actividades han estado orientadas a la vigilancia, el reconocimiento y la identificación de las moscas de la fruta en Colombia y a la transferencia de tecnología para enseñar a los cultivadores sobre el manejo de las moscas de la fruta, pero en pocos casos a la realización de actividades de supresión y erradicación de plagas importantes como la mosca del Mediterráneo.

Estrategias de acción

1. **Detección, control y erradicación de las moscas de la fruta exóticas.** El ICA mediante la Resolución No. 2895 del 6 de septiembre de 2010, estableció las plagas cuarentenarias sometidas a control oficial ausentes y presentes en el territorio nacional. Entre las exóticas se encuentran las especies de moscas de la fruta *Anastrepha ludens* (Loew) y *Anastrepha suspensa* Loew, *Bactrocera* spp, *Ceratitis cosyra* (Walker), *Ceratitis punctata* (Wiedemann), *Ceratitis quinaria* (Bezzi), *Ceratitis rosa* Karsch. El ICA considera que la mosca del Mediterráneo, *Ceratitis capitata*, aun cuando está presente en el país no está ampliamente distribuida, razón por la cual se incluye en el Plan como una plaga exótica para algunos departamentos.
2. **Establecimiento y mantenimiento de áreas declaradas.** El ICA tiene bajo declaratoria las siguientes áreas de trabajo en el país:
 - a) Resolución 2695/2008. “Por la cual se declara la zona de la Sabana de Bogotá, en el departamento de Cundinamarca, como área de baja prevalencia con sitios de producción libres para *Anastrepha* spp. y *Ceratitis capitata*”.
 - b) Resolución 2696/2008. “Por la cual se declara una zona del Norte del departamento del Valle del cauca como área de baja prevalencia para *Anastrepha* complejo *fraterculus*, *Anastrepha grandis* y *Ceratitis capitata*”.
 - c) Resolución 2697/2008. “Por la cual se declara la República de Colombia, como país libre especies del género *Bactrocera* y se establecen las medidas necesarias para su mantenimiento.”
 - d) Resolución 2698/2008. “Por la cual se declara una zona en el sur del departamento de La Guajira como área libre de *Anastrepha grandis* y se establecen las medidas necesarias para su mantenimiento”.
 - e) Resolución 2896/2010. “Por medio de la cual se declara la condición de baja prevalencia con sitios de producción libres de mosca del mediterráneo *Ceratitis capitata* Wiedemann para los departamentos de Caldas, Quindío y Risaralda”.

- f) Resolución 4913/2011. “Por medio de la cual se declara un área localizada en los municipios de Valencia y Tierralta en la zona del alto Sinú del departamento de Córdoba, como área de baja prevalencia para *Anastrepha* sp. complejo *fraterculus* W. y *Ceratitis capitata* W”.
 - g) Resolución 5337/2012. “Por medio de la cual se declara un área localizada en los municipios de Concepción, San Vicente, El Peñol, Guarne, Rionegro, Marinilla, Santuario, El Retiro, La Ceja, La Unión, Carmen de Viboral, Abejorral y Sonsón del departamento de Antioquia, como Área de Baja Prevalencia para *Ceratitis capitata* (Wiedemann)”.
3. **Manejo integrado de las moscas de la fruta (mip-mf) en áreas endémicas productoras de vegetales.** El plan de acción MIP-MF se realiza bajo un enfoque de conglomerados frutícolas y la aplicación concertada del control de las moscas de la fruta bajo el concepto de áreas amplias o extensas. En los conglomerados frutícolas de producción de vegetales por departamento se seleccionarán 100 fincas, donde se instalará una trampa Mcphail por hectárea. En estas fincas se realizará el monitoreo oficial de las moscas de la fruta de manera semanal. Se realizará la intervención oficial con la aplicación de las estrategias del plan de acción, en 20 de estas fincas, las cuales se denominarán fincas demostrativas participativas. Estas serán útiles como centro de capacitación tecnológico para socializar los resultados del plan de acción.
4. **Supresión de la mosca del mediterráneo *ceratitis capitata* (wiedemann).** La supresión de la mosca del Mediterráneo, *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae), se hará mediante el Manejo Integrado de Plagas – MIP. El MIP es un sistema de toma de decisiones basado en aspectos bioecológicos, económicos y otros, que permite seleccionar la mejor táctica de acuerdo a un sitio y un momento determinado en el tiempo, para minimizar los costos del control de plagas y reducir el impacto sobre el medio ambiente y el ser humano. La estrategia de Manejo Integrado de la Mosca del Mediterráneo MIP-MF tiene tres elementos fundamentales, 1. El diagnóstico mediante la detección y el reconocimiento de la mosca. 2. El seguimiento del MTD como un umbral de acción y, 3. El control de la mosca con varias tácticas.
5. **Rediseño del sistema de vigilancia de moscas de la fruta.** Actualmente el ICA viene estableciendo el nuevo esquema de trampeo para la vigilancia de moscas de las frutas en Colombia.

A. Densidades de trampeo de moscas de las frutas.

Los programas de manejo, control y erradicación de moscas de las frutas requieren de la implementación de una adecuada red de trampeo, con el objeto de obtener datos suficientes que informen oportunamente sobre las especies presentes en la zona, su abundancia y su distribución (SAGARPA 2003; Pérez 1991).

Desarrollar un adecuado sistema de trapeo es fundamental dentro de las actividades de vigilancia ya que permiten conocer la presencia o ausencia de adultos de la plaga, permite asimismo, delimitar las zonas con ausencia o presencia de la plaga y su densidad relativa. Una adecuada red de trapeo permite así obtener la información necesaria para la implementación de las estrategias de manejo (SAGARPA 2003; Pérez 1991).

La densidad de trampas es fundamental para el establecimiento de la red de monitoreo y se determina utilizando elementos tales como la eficiencia de la trampa, la eficacia del cebo, la altitud del sitio, las plantas hospedantes presentes en la zona, la temperatura, la humedad, la precipitación y sobre todo la especie de mosca objetivo (IAEA, 2005). Adicionalmente para la determinación de la densidad de trapeo se requiere conservar estándares internacionales, que permitan mantener un adecuado monitoreo de las poblaciones de moscas objetivo (SAGARPA 2010b).

La guía de la AIEA (2005) sugiere que en los casos en los que se presenten huertos comerciales dispersos con zonas marginales que cuenten con plantas hospedantes silvestres y comerciales, la red de trapeo se debe diseñar generalmente de forma lineal. Con base en estas recomendaciones el trapeo se dispondrá en un sistema lineal siguiendo las principales vías de comunicación, así como las vías de acceso a los predios o rutas de comercialización de la fruta, utilizando cartografía digital e imágenes satelitales de Google Earth® para ubicar las zonas de producción.

Sobre la cartografía disponible y apoyados con imágenes satelitales obtenidas a partir de Google Earth®, se ubican y obtienen las coordenadas geográficas de los sitios de monitoreo, indicando en cada sitio el tipo de trampa a instalar, ya sea trampa tipo Jackson o trampa tipo McPhail. Las trampas en cada sitio de monitoreo tendrán las siguientes convenciones:

- Verde para las trampas Jackson cebadas con Trimedlure.
- Rojo para las trampas McPhail cebadas con proteína hidrolizada.

Para ubicar las trampas con el GPS, se utilizan equipos navegadores configurados con Datum: WGS84 y sistema de coordenadas en Grados Decimales (hddd°ddddd°); se deben utilizar 7 unidades decimales (Figura 1).



Figura 1. Pasos para definir el formato y las unidades.

Las trampas Jackson cebadas con Trimedlure deben separarse de las trampas McPhail cebadas con proteína hidrolizada a una distancia mínima de 60 metros entre ellas (SAGARPA 2010b; SENASA 2007a), debido a que el Trimedlure ejerce un efecto repelente sobre hembras de *Ceratitis capitata*, así como sobre machos y hembras de otros géneros (SAGARPA 2010b).

Los estándares internacionales en un monitoreo de área infestada sugieren las siguientes densidades (IAEA, 2005):

<i>Ceratitis capitata</i>						
Escenario	Tipo de trampa	Atrayente	Densidad de trapeo/ Km ²			
			Área de producción	Área marginal	Área urbana	Puntos de entrada
Monitoreo de área infestada	Jackson	Trimedlure	0,5 a 1,0*	0,25 a 0,5*	0,25 a 0,5*	0,25 a 0,5*
<i>Anastrepha spp.</i>						
Escenario	Tipo de trampa	Atrayente	Densidad de trapeo/ Km ²			
			Área de producción	Área marginal	Área urbana	Puntos de entrada
Monitoreo de área infestada	McPhail	Proteína hidrolizada	0,25 a 0,5	0,25 a 0,5	0,25 a 0,5	0,25 a 0,5

Para la vigilancia de especies del género *Anastrepha* se realizará un monitoreo de “área infestada” con una densidad de 0,25 trampas por Km².

Para la vigilancia de *C. capitata*, también se usará un monitoreo de “área infestada” con una densidad de 0,25 trampas por Km² manejando una relación de una trampa para hembras (McPhail) por cada tres trampas para machos (Jackson). Esta densidad es válida tanto para área marginal, como para área urbana y puntos de entrada (IAEA 2005).

Basándose en estas densidades siempre se obtendrá una separación entre trampas de cuatro kilómetros, distancia que se utilizará para la ubicación de los sitios de monitoreo (Figura 2). Los cuatro kilómetros se miden linealmente y no sobre el trazado de la vía, evitando de esta manera ubicar sitios de monitoreo muy cercanos que no den un adecuado cubrimiento a la zona de vigilancia (Figura 2).

B. Vigilancia actual de moscas de las frutas para Colombia.

Actualmente se tienen instaladas un total de 1.154 trampas Jackson y 989 trampas McPhail, para la vigilancia de *C. capitata*, especies de *Anastrepha* y moscas exóticas.

C. Nuevo esquema de vigilancia de moscas de las frutas para Colombia.

En los lugares en los cuales se debe vigilar la mosca del Mediterráneo *Ceratitis capitata* se usa una vigilancia con un escenario de “área infestada” manejando una densidad de 0,25 trampas por Km^2 con una relación de una trampa para hembras (McPhail) por cada tres trampas para machos (Jackson); esta densidad es válida tanto para área marginal, como para área urbana y puntos de entrada. Estos mismos parámetros se usaran para la vigilancia de las diferentes especies de *Anastrepha*

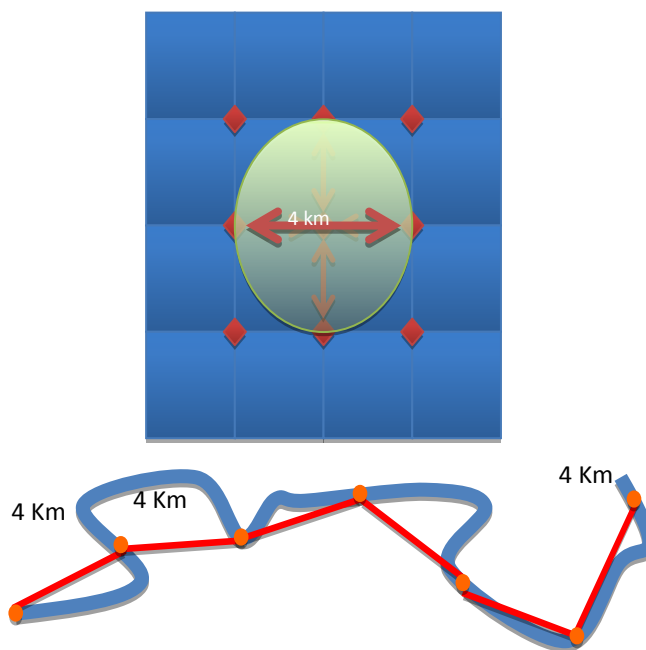


Figura 2. Propuesta de separación de trampas en una ruta basado en la densidad sugerida por la AIEA (2005)

Se trazó la vigilancia cumpliendo con estándares internacionales para el monitoreo de las poblaciones de *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) y el género *Anastrepha*, usando los siguientes elementos:

- Vías primarias y secundarias dentro del área declarada.
- Principales vías de acceso a las áreas declaradas.
- Principales vías de comercio de fruta.
- Principales conglomerados frutícolas de los departamentos.
- 1 trampa Jackson y 1 trampa McPhail cada 4 km, en una relación 3:1, para *Ceratitis capitata*.
- 1 trampa McPhail cada 4 km, para las especies de *Anastrepha*.

Dentro del nuevo esquema se instalarán entonces un total de 1.381 trampas Jackson y 837 trampas McPhail, con lo que se logra un adecuado cubrimiento de las principales zonas frutícolas del país y se proporcionan datos apropiados que permitan soportar las declaratorias de áreas libres y de baja prevalencia ajustándose a estándares internacionales (Figura 3). Es importante resaltar que aún no se han incluido Arauca, Casanare, Meta, Norte de Santander, Cesar, Sucre y Vichada dentro del nuevo esquema de vigilancia para *C. capitata* y especies de *Anastrepha*.

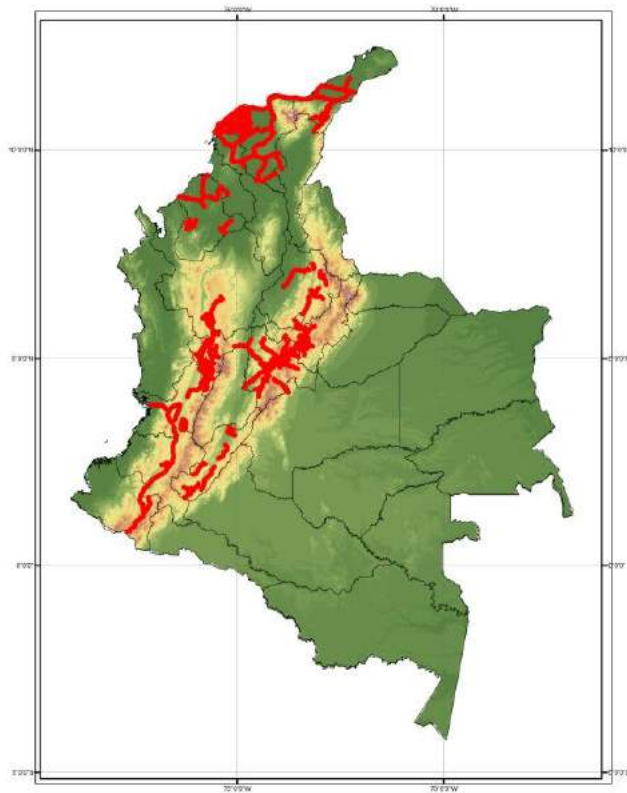


Figura 3. Propuesta de vigilancia para Colombia. ● sitios de instalación de trampas

6. **Sistematización de la información.** La calidad de los datos es un componente de mucha importancia al interior del PNMF, pues de ella dependerá en gran parte los resultados y acciones de vigilancia y control requeridos dentro de las acciones de manejo integrado de las moscas de las frutas en Colombia.

El ICA cuenta con bases de datos de la vigilancia de moscas de las frutas desde el año 1994. En dichas bases se encuentran relacionadas cada una de las capturas de moscas de las frutas, con sus datos del sitio de captura, especie identificada y número de adultos.

Desde el año 2010 hasta la fecha la información se almacena a través de archivos en Excel denominados MF_CAP que son remitidos por semana con un nombre específico (Ejemplo: MF_CAP_05_2_sem_08 el cual indica que es un formato de capturas del departamento de Antioquia de la vigilancia de nativas y *Ceratitis* de la semana 8). Para cada departamento existe un total de 52 archivos MF_CAP y en contadas excepciones cuando el monitoreo es quincenal, se tienen 26 archivos.

Cada archivo MF_CAP contiene todas las rutas (una ruta por hoja) que posee el departamento en funcionamiento y fueron monitoreadas durante la semana que se está reportando.

Para el adecuado almacenamiento de la información se ha tenido un proceso de depuración de datos con el fin de garantizar la calidad de los datos y mantener la integridad de la información, acorde a los parámetros de vigilancia establecidos por la coordinación de Vigilancia. La depuración de esta información se ha venido realizando de manera manual luego del proceso de consolidación para unificar un solo documento o archivo MF_CAP Nacional.

En la actualidad el ICA viene diseñando el aplicativo SISFITO o Sistema de Información Epidemiológica y de Vigilancia Fitosanitaria (Figura 4), que vía web y con la participación de los funcionarios del instituto en todo el país, los procedimientos establecidos y los dispositivos tecnológicos disponibles, permite desarrollar procesos de captura de información, monitoreo, análisis y evaluación para determinar la presencia o ausencia de plagas en el territorio nacional.

Dentro de este aplicativo el módulo de moscas será un componente de suma importancia, pues de manera estructurada y siguiendo los lineamientos de la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria permitirá tener en tiempo real análisis y reportes de ocurrencia de las especies de moscas de la fruta vigiladas en el país.

En el futuro el SISFITO permitirá interactuar con productores, gremios y demás entidades del sector, quienes como sensores fitosanitarios, recibirán retroalimentación de la situación sanitaria nacional y de esta forma permitir las acciones técnicas o políticas de mitigación al impacto del complejo de moscas de las frutas en el país.

A partir de la información consolidada se realizan diversos análisis por solicitud de las demás coordinaciones o la dirección técnica de epidemiología. Entre los análisis disponibles se cuenta con:

- Análisis de MTD por especie
- Análisis de MTD por Zonas Geográficas
- Análisis de adaptación geográfica de especies a partir de sitios de muestreo
- Delimitación de zonas libres
- Delimitación de zonas de baja prevalencia de plagas (Figura 5)
- Diseño de rutas de vigilancia
- Correlación espacial de variables
- Georeferenciación de predios o zonas de intervención
- Verificación en campo de ubicación geográfica de trampas y capturas.

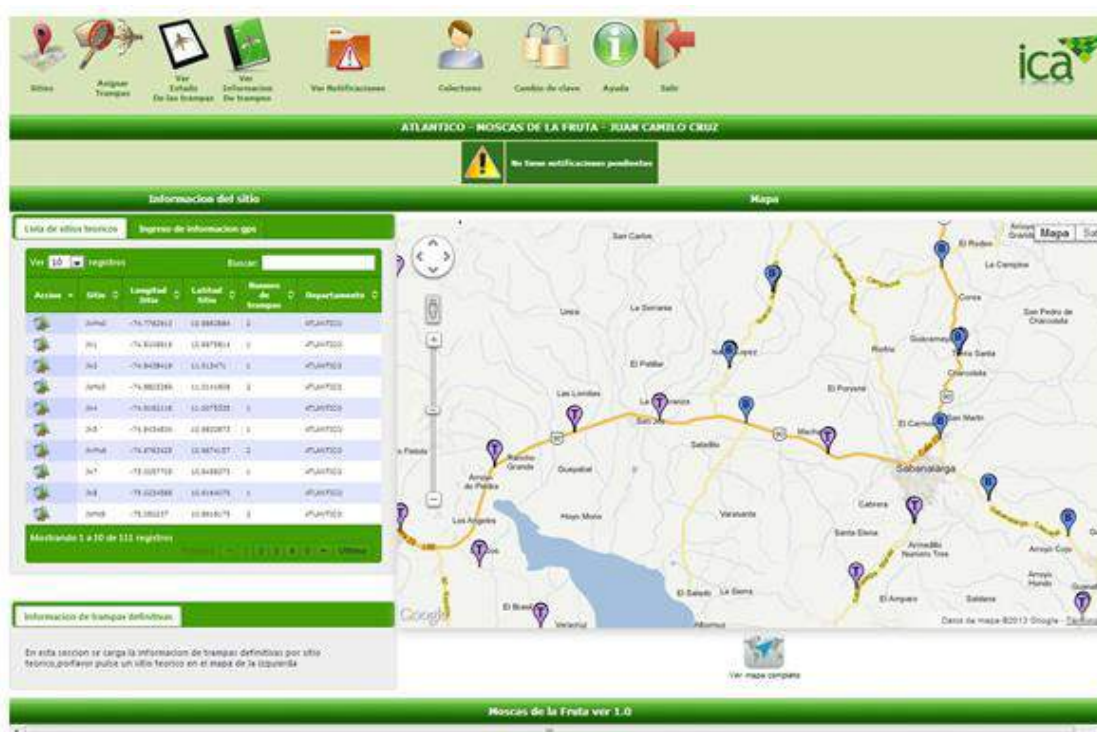


Figura 4. Vista actual del aplicativo SISFITO-Modulo Moscas de las Frutas

Igualmente a través de la coordinación del sistema de información se realiza la capacitación de los funcionarios a nivel nacional en temas de importancia para el PNMF como son:

- Uso y manejo de GPS
- Uso de sistemas de información Geográfica aplicado a la gestión fitosanitaria
- Calidad de los datos en la gestión de datos fitosanitarios

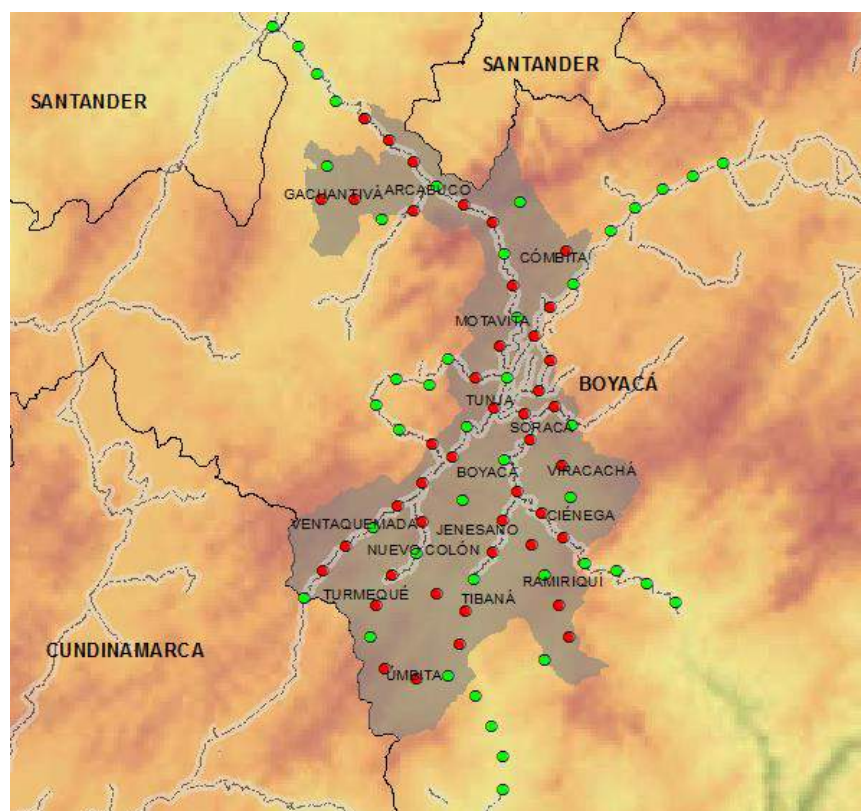


Figura 5. Delimitación posible área libre o de baja prevalencia de plagas en el Departamento de Boyacá.
Diseño de monitoreo de Mosca de las Frutas

Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos a los Ingenieros Johanna Cortés, Zaida Florez, Maribel Hurtado, Blanca Irene Vargas, Lic. Pedro Rodríguez, Adm. Jorge Ocampo, integrantes del equipo nacional del PNMF y a todos los funcionarios de ICA y contratistas que forman parte del Plan Nacional de Moscas de la Fruta, quienes desarrollan todas las actividades en cada una de las regiones donde opera el Plan. De igual manera, al personal de la Dirección Técnica de Análisis y Diagnóstico quienes han desarrollado las investigaciones en tratamientos cuarentenarios para moscas de la fruta en Colombia y apoyan en las labores de identificación de tefrítidos. También los agradecimientos para el Fondo Nacional de Fomento Hortifrutícola y Asohfrucol por el apoyo financiero que ha venido dando al Plan Nacional de Moscas de la Fruta.

Literatura citada

AGENCIA INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA (IAEA). 2005. Guía para el trampeo en programas de control de la mosca de la fruta en áreas amplias OIEA, Viena. 47 p.

- BARÓN, E.; MANRIQUE, A. 2000. Evaluación de atrayentes alimenticios para la captura de moscas de la fruta (Diptera: Tephritidae) en mango (*Mangifera indica* L.) variedad tommy atkins. Trabajo de Grado. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C. 68 p.
- DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADISTICA (DANE). 2013. Colombia, exportaciones según capítulo del arancel 2008-2013 (abril). www.dane.gov.co. Último acceso 6 junio de 2013
- GONZÁLEZ-M., R. 1952. Contribución al estudio de las moscas *Anastrepha* en Colombia. Revista Facultad Nacional de Agronomía. 12 (42): 1-549.
- GUTIÉRREZ, J.; REYES J., VILLASEÑOR, A.; ENKERLIN, W. y PÉREZ, A. 1992. Manual para el control integrado de moscas de la fruta. SARH, México D.F. 350 p.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. 2012. Anuario Estadístico de Frutas y Hortalizas 2007-2011. Y sus calendarios de siembras y cosechas. Resultados Evaluaciones Agropecuarias Municipales 2011. 301 p.
- MURILLO, L. M. 1931. Los gusanos o larvas de las cerezas del café y otras frutas jugosas. Revista Cafetera de Colombia 8 (11): 26.
- PÉREZ R., A. 1991. Organización y Evaluación de un sistema de trapeo (Trampas Jackson). Pag 185-200. En: WANDEMBERG, C. A.; RIEGER, E. E.; VILLAMIZAR, C. A. (Eds.). Curso sobre control de moscas de la fruta, Ecuador.
- SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN (SAGARPA). 2003. Apéndice técnico para las operaciones de campo de la campaña (APT-DMF-02). Servicio Nacional de Sanidad Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA), Dirección general de Sanidad Vegetal, Dirección de Moscas de las Frutas. México. 116 p.
- SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN (SAGARPA). 2010b. Manual técnico del trapeo preventivo contra moscas exóticas de la fruta (MT-DMF-12). Servicio Nacional de Sanidad Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA), Dirección general de Sanidad Vegetal, Dirección de Moscas de las Frutas. México. 30 p.
- SERVICIO NACIONAL DE SANIDAD AGRARIA (SENASA). 2007a. Manual del sistema nacional de vigilancia de moscas de la fruta. Sistema de vigilancia de la mosca de la fruta de las cucurbitáceas PRO-SMFPF/Vig-05. Dirección de Sanidad Vegetal, Subdirección de Moscas de las Frutas y Proyectos Fitosanitarios. Perú. 8 p.

Índice de autores

- Adriana Sáenz Aponte, 269
Alberto Pantoja, 151, 266
Alejandro A. Calixto, 389
Alexander Sabogal, 308
Allan H. Smith Pardo, 257
Ana María Vélez, 155
Analiza P. Alves, 155
Andrea de Fátima Torres, 394
Andrés García-Rincón, 308
Angie Niño, 410
Anita Aisenberg, 50, 274, 275
Bastiaan M. Drees, 389
Blair D. Siegfried, 155
Carlos Alberto Blanco, 71, 154
Carlos Perafán, 308
Carmenza E. Góngora, 126
Catalina Romero-Ortiz, 308
Cristiano Lopes Andrade, 220
Dan Moellembeck, 155
Daniel A. Dos Santos, 209
Daniel Carrillo, 382
Daniel Rodríguez, 414
David Luna-Sarmiento, 308
Derek Sikes, 266
Eduardo Domínguez, 209
Eduardo Flórez, 308
Efraín Becerra Contreras, 57
Elkin Gustavo Forero Becerra, 372
Emilio Arévalo-Peñaranda, 452, 458
Fabio Maximiano de Andrade Silva, 176
Fabiola Valcárcel-Calderón, 233
Fabricio Cifuentes V., 196
Fancy Rojas González, 252
Felio J. Bello García, 82, 343
Fernando Cantor, 414
Fernando Fernández, 200
Fernando Montealegre-Z., 22
Geraldo Andrade Carvalho, 394
Germán Vargas, 422
Gerson Ramírez, 422
Gilbert Barrantes, 275
Gustavo Cuadros Trillos, 337
Haridas Chirakkal, 155
Ivette Chamorro, 94
J. Dripps, 192
Jaime Pinzon, 281
Jairo A. Moreno-González, 308
Javier Martínez Alava, 458
Jesús Alfredo Cortés Vecino, 372
John R. Spence, 281
Jorge A. Rodríguez Girón, 458
Jorge Alberto Molina, 39
Jorge E. Peña, 382
Jorge Hernán Palacino Córdoba, 452
Jorge Molina, 117
Joseph E. Eger, 213
Juan Diego Santa Cruz Lindquist, 252
Juan Felipe Jaramillo, 363
Juan Manuel Álvarez, 176
Julián Mejía O., 176
Leonel Avilés, 192
Liliana Santacoloma Varón, 352
Luis Fernando Vallejo Espinosa, 227
Luis Miguel Constantino, 141
María del Carmen Zúñiga, 209
María Helena La Torre, 189
María Inés Matiz, 363
Mario E. Favila, 94
Mario Iván Ortiz Yanine, 117
Marvin K. Harris, 389
Melanie Ramírez Casallasas, 117
Nancy Barreto-Triana, 435
Olga Patricia Pinzón, 447
Oscar Fuentes Murillo, 452
Oscar J. Cadena-Castañeda, 101
Pablo Benavides, 131
Pedro Ismael da Silva Junior, 294
Rehanon Pampell, 266
Rita E. Duncan, 382
Robert L. Meagher, 155
Roberto J. Guerrero, 200
Rodrigo Vergara Ruiz, 2
Ronald Cave, 410
Sandra Amézquita, 94
Sandra Lucía Vargas, 363
Sergio Orduz, 170
Terence A. Spencer, 155
Ulises Castro, 422
Vanda Helena Paes Bueno, 241
Víctor Alberto Olano, 363
Viktor Lemesko, 170
Vivian Eliana Sandoval Gómez, 220
William G. Eberhard, 275
William H. King C., 452, 458
Yarley X. Granobles, 422
Zulma Nancy Gil Palacio, 134

PROGRAMACIÓN GENERAL 40° CONGRESO SOCOLEN

		HORA	Día 1 10 julio		Día 2 11 julio				Día 3 12 julio					
MAÑANA		7:30 - 8:00			Inscripciones									
		8:00 - 9:30	Inscripciones y recepción material de expositores. Bloque K y salón J101		Sesiones 1h 30 6 salones simultáneos Bloque J				Sesiones 1h 30 6 salones simultáneos Bloque J					
		9:30 - 10:00												
		10:00 - 11:00	Instalación del Congreso. Auditorio Principal. Bloque I		Simposio 4. Nuevas Tecnologías en el control de insectos plaga Salón A-104 Bloque A	Simposio 5. Biogeografía y Sistemática de insectos. Torreón D101 Bloque D	Simposio 6. Plagas de las flores. Auditorio Fundadores. Bloque M	Simposio 7. Principios y avances sobre polinización como servicio ambiental para la agricultura sostenible en países de Latinoamérica y el Caribe. Torreón D102 Bloque D	Sesiones 2h 6 salones simultáneos Bloque J					
		11:00 - 12:00												
TARDE		12:00 - 1:00	Almuerzo libre		Conferencia magistral 2 Auditorio Fundadores. Bloque M		Conferencia magistral 3 Auditorio Principal. Bloque I		Conferencia magistral 6 Auditorio Fundadores. Bloque M		Conferencia magistral 7 Auditorio Principal. Bloque I			
		1:00 - 1:30	Sesiones 1h 15 6 salones simultáneos Bloque J		Almuerzo		Almuerzo							
		1:30 - 2:00												
		2:00 - 2:30												
		2:30 - 2:45	Simposio 1. Comportamiento de Insectos. Salón J-103 Bloque J		Simposio 2. Control de plagas en café: presente y futuro Salón A-104 Bloque A		Simposio 3. Biotecnología con aplicación en entomología. Auditorio Fundadores Bloque M		Sesiones 2h 30 6 salones simultáneos Bloque J		Simposio 8. Aracnología. Torreón D101 Bloque D	Simposio 9. Entomología médica y veterinaria. Torreón D102 Bloque D	Simposio 10. Control Biológico. Auditorio Fundadores. Bloque M	Simposio 11. Avances en plagas de importancia agrícola en Colombia. Salón A-104 Bloque A
		2:45 - 3:00												
		3:00 - 3:30												
		3:30 - 4:00												
		4:00 - 4:30												
		4:30 - 4:45												
		4:45 - 5:00	Refrigerios				Refrigerio							
		5:00 - 5:15	Conferencia magistral 1 Auditorio Principal. Bloque I		Refrigerio		Clausura del congreso Premiación, lanzamiento 41 Congreso Socolen 2014 y clausura 40 Congreso Auditorio Principal. Bloque I							
		5:15 - 5:30			Conferencia magistral 4 Auditorio Fundadores. Bloque M								Conferencia magistral 5 Auditorio Principal. Bloque I	
		5:30 - 6:00												
	6:00 - 6:15	Conmemoración 40 años Auditorio Principal. Bloque I		Asamblea general de socios Socolen Auditorio Principal. Bloque I										
	6:15 - 7:30													
	7:30 - 8:00													
NOCHE		8:00 - 2:00 AM					Fiesta de Clausura (libre)							

CONFERENCIAS MAGISTRALES

DIA 1: Miércoles, 10 de julio de 2013

5:00 – 6:00 pm

Conferencia Magistral 1:

- Retrospectiva, realizaciones y proyección de la entomología en Colombia

Rodrigo Vergara-Ruíz, M.Sc.

DIA 2: Jueves, 11 de julio de 2013

12:00 – 1:00 pm

Conferencia Magistral 2:

- Insectos que escuchan como humanos: Mecanismos de producción de sonido y análisis de frecuencia auditiva en saltamontes (Orthoptera: Tettigoniidae)

Fernando Montealegre-Z, Ph.D., University of Lincoln, Lincoln, United Kingdom

Conferencia Magistral 3:

- Microbiología y entomología: ¿Qué podemos aprender desde la ecología química?

Jorge Alberto Molina, Ph.D., Universidad de los Andes, Bogotá, D.C., Colombia

5:15 – 6:15 pm

Conferencia Magistral 4:

- Hembras que cortejan y machos caníbales sexuales en *Allocosa brasiliensis* (Araneae: Lycosidae): una araña con inversión de roles sexuales

Anita Aisenberg, Ph.D., Instituto de Investigaciones Biológicas Clemente Estable, Montevideo, Uruguay

Conferencia Magistral 5:

- Conceptos claves, prevención y manejo de resistencia de insectos a insecticidas

Efraín Becerra-Contreras, Dow AgroSciences, Bogotá, D.C., Colombia

DIA 3: Viernes, 12 de julio de 2013

12:00 – 1:00 pm

Conferencia Magistral 6:

- ¿Por qué no se ha desarrollado resistencia a *Bacillus thuringiensis* en Lepidoptera que ataca a cultivos transgénicos? Ejemplos comparativos

Carlos Alberto Blanco, Ph.D., University of New Mexico, Albuquerque, USA

Conferencia Magistral 7:

- La Terapia Larval en el contexto de sus características, avances y perspectivas

Felio Jesús Bello, Ph.D., Universidad del Rosario, Bogotá, D.C., Colombia.

SIMPOSIOS

DIA 1: Miércoles, 10 de julio de 2013

HORA	Salón J-103 Bloque J. Simposio 1. Comportamiento de Insectos. Coord: Jorge Alberto Molina, Ph.D., Universidad de los Andes, Bogotá, D.C., Colombia
14:45-15:00	1. ¿El tamaño importa? Combates intrasexuales y competencia por el recurso en escarabajos del género <i>Canthon</i> (Coleoptera: Scarabaeinae) Sandra Amezquita , Ph.D., Colciencias, Bogotá, D.C., Colombia; Ivette Chamorro, Universidad Veracruzana, Tuxpan. México; Mario E. Favila, Instituto de Ecología A.C. Xalapa. México
15:00-15:25	2. <i>Sternechus subsignatus</i> (Coleoptera: Curculionidae): do comportamento à aplicação do feromônio em campo Paulo Zarbin , Ph.D. Universidade Federal de Paraná, Brasil
15:25-15:50	3. Principales estudios sobre el comportamiento del orden Orthoptera con énfasis en Ensifera neotropicales Oscar Javier Cadena Catañeda , Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas, Bogotá, D.C., Colombia
15:50-16:15	4. Señales vibratorias en el comportamiento de insectos: Producción, detección y métodos de estudio Melanie Ramírez Casallas , Ph.D. Universidad de los Andes, Bogotá, D.C., Colombia; Mario Iván Ortiz Yanine, Ph.D., Universidad de los Andes. Bogotá, D.C., Colombia; Jorge Molina, Dr. rer. nat., Universidad de los Andes. Bogotá, D.C., Colombia.
16:15-16:45	Discusión

HORA	Salón A-104 Bloque A Simposio 2. Control de plagas en café: presente y futuro Coord: Carmenza E. Góngora, Ph.D. Cenicafe, Chinchina, Colombia
14:45-15:00	1. Nuevos hallazgos en el control biológico de la broca del café Carmenza E. Góngora , Ph.D. Cenicafe, Chinchina, Colombia
15:00-15:25	2. Nuevas aproximaciones en el manejo integrado de la broca del café en Colombia Pablo Benavides , Ph.D. Cenicafe, Chinchina, Colombia
15:25-15:50	3. Otras plagas del café: Importancia económica y prácticas para su manejo Zulma Nancy Gil Palacio , Ph.D. Cenicafe, Chinchina, Colombia
15:50-16:15	4. Plagas potenciales y sus implicaciones en el cultivo del café en Colombia Luis Miguel Constantino , M.Sc. Cenicafe, Chinchina, Colombia
16:15-16:45	Discusión

HORA	Auditorio Fundadores Bloque M. Simposio 3. Biotecnología con aplicación en entomología. Coord: Adriana Ochoa Fandiño, M.Sc., Investigadora Independiente
14:45-15:05	1. Biotecnología y MIP: Avances y perspectivas Alberto Pantoja , Ph.D., Organización de las Naciones Unidas Para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Oficina Regional para América Latina y el Caribe, Chile
15:05-15:25	2. ¿Estamos preparados para la regulación de los próximos productos de la biotecnología agrícola? Carlos Alberto Blanco , Ph.D. University of New Mexico, Albuquerque, USA
15:25-15:45	3. Caracterización de resistencia de <i>Spodoptera frugiperda</i> a maíz Cry1F en Puerto Rico (VIDEOCONFERENCIA) Ana María Vélez , Ph.D. University of Nebraska-Lincoln, Nebraska, USA; Terence A. Spencer, University of Nebraska-Lincoln, Nebraska, USA; Analiza P. Alves, Dupont Pioneer, Johnston, IA.; Dan Moellemebeck, DM Crop Research Group Inc. Polk City, IA.; Robert L. Meagher, USDA-ARS CMAVE, Gainesville, FL, USA; Haridas Chirakkal, University of Nebraska-Lincoln, Nebraska, USA; Blair D. Siegfried, University of Nebraska-Lincoln, Nebraska, USA.
15:45-16:05	4. Nuevas aplicaciones biotecnológicas de <i>Bacillus thuringiensis</i> subespecie <i>medellin</i> (Bacillales: Bacillaceae) Sergio Orduz Peralta , Ph.D. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, Colombia; Viktor Lemeshko, Ph.D., D.Sc. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, Colombia
16:05-16:25	4. Ana Luisa Díaz , Ph.D. ICA, Bogotá, D.C.
16:25-16:45	Discusión

DIA 2: Jueves, 11 de julio de 2013

HORA	Salón A.104 Bloque A. Simposio 4. Nuevas Tecnologías en el control de insectos plaga Coord: Efraín Becerra-Contreras, DowAgroSciences, Colombia
10:00-10:20	1. Cyazypyr®, la primera diamida antranílica para el control de insectos chupadores y la optimización de cosecha Julian Mejía O. , Dupont de Colombia S. A., Bogotá, Colombia; Juan Manuel Álvarez, DuPont Crop Protection, Newark, DE, USA; Fabio Maximiano de Andrade Silva, DuPont, Paulinia, SP, Brasil
10:20-10:40	2. Cultiva el futuro del sector agrícola de Colombia María Helena La Torre , ANDI. Cámara de Protección de Cultivos, Colombia
10:40-11:00	3. Nuevas tecnologías en el control de insectos plaga Leonel Aviles , Dow AgroSciences Latinoamérica, México; J.Dripps, Dow AgroSciences, Indianapolis, USA.
11:00-11:20	4. Bayer, innovación en la protección de cultivos. Aporte tecnológico para una agricultura sustentable Fabrizio Cifuentes V. , Bayer S.A.
11:20-11:40	5. Ariel Rivera , Proficol S.A.
11:40-12:00	Discusión

HORA	Torreón D101 Bloque D. Simposio 5. Biogeografía y Sistemática de insectos. Coord: Lucimar Gomes Dias, Ph.D. Universidad de Caldas, Manizales, Colombia
10:00-10:20	1. Explorando la distribución de las hormigas en la región Neotropical Rodrigo José Guerrero , cand, Ph.D., Universidad de Magdalena, Santa Marta, Colombia; Fernando Fernández, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C., Colombia
10:20-10:40	2. Análisis de redes en sistemática y biogeografía: ejemplos en co-autoría y simpatria de Ephemeroptera de América del Sur Eduardo Domínguez , Ph.D., Universidad Nacional de Tucumán, Argentina; Daniel A. Dos Santos, Universidad Nacional de Tucumán, Argentina; María del Carmen Zúñiga, Universidad del Valle, Cali, Colombia
10:40-11:00	3. Systematics and Biogeography of New World Pentatomoidea (Hemiptera: Heteroptera) Joseph E. Eger , Ph.D. Dow AgroSciences, Tampa, USA
11:00-11:20	4. Microcoleópteros micetobiontes: Estado actual del conocimiento de la familia Ciidae Vivian Eliana Sandoval Gómez , Ph.D., Universidade Federal de Viçosa, Brasil; Cristiano Lopes Andrade, Universidade Federal de Viçosa, Brasil
11:20-11:40	5. Escarabajos Melolonthidae (Scarabaeoidea: Pleurosticti) de la montaña cafetera colombiana Luis Fernando Vallejo Espinosa , Ph.D., Universidad de Caldas, Manizales, Colombia
11:40-12:00	Discusión

HORA	Auditorio Fundadores Bloque M. Simposio 6. Plagas de las flores. Coord: Ferdy Alfonso Alvarado, M.Sc., Centro de Innovación de la Floricultura Colombiana, CENIFLORES, Bogotá, D.C., Colombia
10:00-10:30	1. El control biológico de plagas en la floricultura Colombiana Fabiola Valcárcel Calderón , Ph.D., Save consultores, Colombia
10:30-11:00	2. Panorama mundial do controle biológico de pragas na floricultura em sistemas protegidos Vanda Helena Paes Bueno , Ph.D. Universidade Federal de Lavras, Brasil.
11:00-11:30	3. Necesidades de Investigación en la floricultura Colombiana. Ferdy Alfonso Alvarado , M.Sc. Centro de Innovación de la Floricultura Colombiana, CENIFLORES, Colombia
11:30-12:00	Discusión

HORA	Torreón D102 Bloque D. Simposio 7. Principios y avances sobre polinización como servicio ambiental para la agricultura sostenible en países de Latinoamérica y el Caribe. Coord: Alberto Pantoja, Ph.D., Oficina Regional FAO, Santiago, Chile Adriana Sáenz Aponte, M.Sc., Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia
10:00-10:02	1. Introducción y objetivos del taller Alberto Pantoja , Ph.D., Oficina Regional FAO, Santiago, Chile
10:02-10:22	2. Causas e Impactos de la declinación de polinizadores en el mundo Fancy Rojas González , M.Sc., Universidad Mayor, Santiago Chile; Juan Diego Santa Cruz Lindquist, Centro para el Emprendimiento Apícola de la Universidad Mayor, Santiago, Chile
10:22-10:42	3. Ventajas y desventajas de la introducción de polinizadores no nativos: el caso de las abejas (Hymenoptera: Apoidea: Anthophila) Allan H. Smith Pardo , Ph.D., USDA-APHIS-PPQ, San Francisco, California, USA
10:42-10:57	4. Especies del genero <i>Bombus</i> como alternativa de polinización en zonas agrícolas de Alaska, USA Alberto Pantoja , Ph.D., Oficina Regional FAO, Santiago, Chile; Rehanon Pampell, M.Sc., United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Fairbanks, USA; Derek Sikes, Ph.D., University of Alaska Museum, Fairbanks, USA
10:57-11:12	5. Alternativas sostenibles para el manejo de plagas Adriana Sáenz Aponte , M.Sc., Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia
11:12-12:00	6. Principios y avances sobre polinización como servicio ambiental para la agricultura sostenible en países de Latinoamérica y el Caribe, presentación de 15 minutos; discusión y recomendaciones. Panel: F. Rojas, A. Pantoja, A. Smith, y A. Sáenz , Moderador A. Pantoja

DIA 3: viernes, 12 de julio de 2013

HORA	Torreón D101 Bloque D Simposio 8. Aracnología. Coord: Carlos Perafán, cand. Ph.D. Universidad de la República, Facultad de Ciencias – UDELAR – PEDECIBA – Uruguay
14:30-14:55	1. Elección femenina y tapones copulatorios en arañas del género <i>Leucauge</i> (Araneae, Tetragnathidae) Anita Aisenberg , Ph.D., Instituto de Investigaciones Biológicas, Montevideo, Uruguay; Gilbert Barrantes, Universidad de Costa Rica, Costa Rica; William G. Eberhard, Smithsonian Tropical Research Institute
14:55-15:20	2. Modelos de distribución de especies y hotspots de biodiversidad Jaime Pinzón , Ph.D., University of Alberta, Canada; John R. Spence, University of Alberta, Canada
15:20-15:45	3. Sistema inmunológico en arácnidos Pedro Ismael Da Silva Junior , Ph.D. Laboratório Especial de Toxinologia Aplicada (LETA) – Instituto Butantan, Brasil
15:45-16:10	5. Diagnóstico del estado actual de la fauna de arácnidos y de su gestión en Colombia Carlos Perafán , cand. Ph.D. Universidad de la República, Uruguay; Alexander Sabogal, Laboratorio de Artrópodos-Grupo de Biotecnología-CIF-UNAL, Bogotá, D.C., Colombia; Jairo A. Moreno-González, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, D.C., Colombia; Andrés García-Rincón, Universidad del Valle, Cali, Colombia; David Luna-Sarmiento, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, D.C., Colombia; Catalina Romero-Ortiz, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, D.C., Colombia; Eduardo Flórez, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, D.C., Colombia
16:10-16:30	Discusión

HORA	Torreón D102 Bloque D. Simposio 9. Entomología médica y veterinaria. Coord: Martha Patricia Torres, M.Sc. Universidad El Bosque, Bogotá, D.C., Colombia
14:30-14:50	1. Los ácaros y la alergia en Colombia Gustavo Cuadros Trillos , Ph.D. Asociación Colombiana de Alergia, Asma e Inmunología, Colombia
14:50-15:10	2. Cultivos celulares de insectos: antecedentes, particularidades, aplicaciones y aportes realizados en Colombia Felio Jesús Bello García , Ph.D. Universidad del Rosario, Bogotá, D.C., Colombia
15:10-15:30	3. Red de vigilancia de la resistencia a insecticidas de uso en salud pública en Colombia Liliana Santacoloma Varón , M.Sc. Instituto Nacional de Salud, Bogotá, D. C., Colombia
15:30-15:50	4. <i>Aedes aegypti</i> en área rural: Implicaciones en Salud Pública Víctor Alberto Olano , Biol. Esp., Instituto de Salud y Ambiente, Universidad El Bosque, Bogotá, D.C., Colombia; Sandra Lucía Vargas, M.Sc. Salud Pública. Instituto de Salud y Ambiente. Universidad El Bosque, Bogotá, D.C., Colombia; María Inés Matiz, cand. Ph.D., Instituto de Salud y Ambiente. Universidad El Bosque, Bogotá, D.C., Colombia; Juan Felipe Jaramillo, Instituto de Salud y Ambiente. Universidad El Bosque, Bogotá, D.C., Colombia
15:50-16:10	5. Influencia del calentamiento global en la frecuencia y distribución de garrapatas Jesús Alfredo Cortés , Ph.D. Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá; Elkin Gustavo Forero Becerra, cand. Ph.D. Universidad Federal de Viçosa, Brasil
16:10-16:30	Preguntas y Discusión

HORA	Auditorio Fundadores Bloque M. Simposio 10. Control Biológico. Coord: Fernando Cantor, Ph.D. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, D.C., Colombia
14:30-14:50	1. Prospectos para el control biológico del ácaro rojo de las palmeras <i>Raoiella indica</i> Hirst. (Acari: Tenuipalpidae) (VIDEOCONFERENCIA) Daniel Carrillo , Ph.D., University of Florida, Tropical Research and Education Center, Homestead, USA; Rita E. Duncan, M.Sc., University of Florida, Tropical Research and Education Center, Homestead, USA; Jorge E. Peña, Ph.D., University of Florida, Tropical Research and Education Center, Homestead, USA
14:50-15:10	2. The role of natural enemies for the management of the Red Imported Fire Ant, <i>Solenopsis invicta</i> Buren (Hymenoptera: Formicidae) Alejandro Calixto , Ph.D. Dow AgroSciences, Tampa, USA; Marvin K. Harris, Ph.D., Texas A&M University, Texas, USA; Bastiaan M. Drees, Ph.D., Texas A&M University, Texas, USA
15:10-15:30	3. Seletividade de produtos usados em cafeeiros para <i>Chrysoperla externa</i> (Hagen) (Neuroptera: Chrysopidae) e <i>Cryptolaemus montrouzieri</i> Mulsant (Coleoptera: Coccinellidae) (VIDEOCONFERENCIA) Geraldo A. Carvalho , Ph.D., Universidade Federal de Lavras, Brasil; Andrea de Fátima Torres, Ph.D., Universidade Federal de Lavras, Brasil
15:30-15:50	4. Evaluation of the green lacewing <i>Chrysoperla rufilabris</i> Burmeister (Neuroptera: Chrysopidae) as a biological control agent of the yellowmargined leaf beetle <i>Microtheca ochroloma</i> Stål (Coleoptera: Chrysomelidae) (VIDEOCONFERENCIA) Angie Niño , cand. M.Sc., University of Florida, USA; Ronald Cave, Ph.D., University of Florida, USA
15:50-16:10	5. Experiences on implementation of biological control programs for tomato pests by means of parasitoids in Colombia Fernando Cantor , Ph.D., Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, D.C., Colombia; Daniel Rodríguez , Ph.D., Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, D.C., Colombia
16:10-16:30	Discusión

HORA	Salón A-104. Bloque A. Simposio 11. Avances en plagas de importancia agrícola en Colombia. Coordinador: Alex Enrique Bustillo Pardey, Ph.D., Cenipalma, Colombia
14:30-14:50	1. Bioecología y perspectivas de manejo de los salivazos <i>Mahanarva bipars</i> y <i>Aeneolamia varia</i> (Hemiptera: Cercopidae) en caña de azúcar. German Andrés Vargas Orozco , Ph.D., Centro de Investigación de la Caña de Azúcar, Cenicaña, Cali, Colombia; Ulises Castro, Centro de Investigación de la Caña de Azúcar, Cenicaña, Cali, Colombia; Yarley X. Granobles, Centro de Investigación de la Caña de Azúcar, Cenicaña, Cali, Colombia; Gerson Ramírez, Centro de Investigación de la Caña de Azúcar, Cenicaña, Cali, Colombia
14:50-15:10	2. Situación actual del complejo de chinches de los pastos (Hemiptera: Heteroptera: Miridae) en el Altiplano Cundiboyacense Nancy Barreto-Triana , Ph.D. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-Corpoica, C.I. Tibaitatá, Bogotá D.C., Colombia
15:10-15:30	3. Problemas insectiles en plantaciones forestales comerciales en la Orinoquia Olga Patricia Pinzón , Ph.D., Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, D. C., Colombia
15:30-15:50	4. Acciones fitosanitarias para la vigilancia de la enfermedad del HLB de los cítricos y el psílido vector en Colombia Emilio Arévalo-Peñaranda , M.Sc., Instituto Colombiano Agropecuario ICA, Bogotá D.C., Colombia; William H King, M.Sc., ICA Tolima, Grupo Nacional ICA para el HLB de los cítricos, Colombia Oscar Fuentes, M.Sc., ICA, Bogotá, D.C., Grupo Nacional ICA para el HLB de los cítricos, Colombia; Jorge Hernán Palacino Córdoba , ICA Quindío, Grupo Nacional ICA para el HLB de los cítricos, Colombia
15:50-16:10	5. Plan Nacional Moscas de la Fruta (PNMF); estrategias de acción en Colombia Emilio Arévalo-Peñaranda ¹ , M.Sc., ICA, Colombia; Javier Martínez Alava, M.Sc., ICA, Colombia; William H. King C., M.Sc., ICA, Colombia; Jorge Rodríguez Girón, M.Sc., ICA, Colombia
16:10-16:30	Discusión

CURSOS

- Anita Aisenberg, Ph.D.**
Sexo y Conflicto: Selección Sexual con Énfasis en Artrópodos
Lunes 15 de julio - sábado 20 de julio de 2013
- Carlos Blanco, Ph.D.**
Consejos y estrategias para publicar y editar artículos científicos
Martes 9 de julio, 8h a 13h
- Andrés Sánchez, Biol.**
Taller de origami de insectos
Martes 9 de julio
- Angel Lagunes, Ph.D.**
El bioensayo en la toma de decisiones para el combate químico de plagas agrícolas
Martes 9 de julio, 14h a 18 h