



MEMORIAS

XXXVII Congreso Sociedad Colombiana de Entomología

SOCOLEN

Bogotá, D.C., 30 de junio, 1 y 2 de julio de 2010
Pontificia Universidad Javeriana



VIDA Y DIVERSIDAD ENTOMOLÓGICA



**Sociedad Colombiana de Entomología
SOCOLEN**

MEMORIAS

**XXXVII CONGRESO
Sociedad Colombiana de Entomología**

Bogotá, D.C., 30 de junio, 1 y 2 de julio de 2010

Compilador

Nancy Barreto

Organizadores de textos

Kris Wyckhuys

Angelica Rodríguez

María Camila Mejía

Claudia Martínez

Diseño de portada y diagramación

NaturaVision Ltda.

<http://www.naturavision.com>

info@naturavision.com

Versión digital

NaturaVision Ltda.

© Copyright Sociedad Colombiana de Entomología

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

Junio de 2010

ISBN: 978-958-99120-3-4

SOCIEDAD COLOMBIANA DE ENTOMOLOGÍA

JUNTA DIRECTIVA 2008-2010

Presidente

Amanda Varela Ramírez

Vicepresidente

Eduardo Flórez Daza

Secretario

Alcibiades Suárez Alba

Tesorero

Alexander Sabogal

Vocales Principales

Ingeborg Zenner de Polanía
Yancy Paola Martínez

Vocales Suplentes

Claudia Martínez
Diego Rincón

Revisor Fiscal

Campo Elías Osorio

COMITÉ ORGANIZADOR XXXVII CONGRESO

Presidente: Efraín Becerra

Secretaria: Claudia Martínez

Tesorera: Martha C. Erazo

Comisión Académica

Nancy Barreto
Paulina Muñoz
Claudia Martínez
Kris Wyckhuys
William Duarte

Comisión de Recursos Físicos y Eventos

Amanda Varela
Diana Rueda
Angela Amarillo
Clara Yalaxy Delgado
Luz Stella Fuentes
Martha C. Erazo

Coordinadores de Simposios

Nancy Barreto
Carolina Torres
Eduardo Flórez
William Duarte
Ginna Camacho
José Daniel Vergara
Edison Torrado-León
Angela Amarillo y Carlos E. Sarmiento
Fernando Cantor y María del Rosario Manzano

Comisión Financiera

David Reynales
Graciela Pinzón
Carolina Gaitán

Colaboradores

Comité Regional de Cundinamarca
Grupo de apoyo

Comisión de Publicidad y Prensa

Edison Torrado-León

Webmaster

Carolina Camargo

Patrocinadores

Advanced Instruments Ltda.
Agro-Bio
ANDI, Cámara Procultivos
Arysta LifeScience S.A.
Fundación para la Promoción de la Investigación y Tecnología
Bayer CropScience S.A.
BiologiKa Group Ltda.
Chemtura Colombia Ltda.
Ecoflora
Dow AgroSciences S.A.
DuPont S.A.
Federación Nacional de Cafeteros de Colombia
FMC Latinoamérica S.A.
NaturaVisión Ltda.
OMA Ltda.
Smurfit Kappa Carton de Colombia S.A.
Syngenta S.A.
Sumitomo S.A.
Texas A&M University
Pontificia Universidad Javeriana
USDA
Valent BioSciences Corporation

Muestra comercial

Agro-Bio
Advanced Instruments Ltda.
BiologiKa Group Ltda.
Biología Molecular Ltda. - Biomol
Ecoflora
Jardín Botánico del Quindío
NaturaVisión Ltda.
Sanitas Ltda.
Sociedad Colombiana de Entomología - SOCOLEN
Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano
Universidad de la Sabana, Doctorado en Biociencias
Zoonatura Ltda.

PRESENTACIÓN

El Comité Organizador del XXXVII Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología agradece a cada uno de los participantes por la respuesta a nuestra invitación, y en especial a la Pontificia Universidad Javeriana, por facilitar sus instalaciones para llevar a cabo el evento en el ambiente académico adecuado para mostrar el amplio panorama sobre la actualidad entomológica nacional e internacional.

Este año, en conmemoración del Año Internacional de la Biodiversidad, el comité seleccionó el lema "Vida y Diversidad Entomológica" el cual gratamente vemos respaldado en el presente congreso con 81 trabajos en el tema de biodiversidad, ecología y conservación que demuestran el gran interés que esta área del conocimiento sigue despertado en nuestros investigadores.

Los congresos de Socolen se han caracterizado por su calidad científica y académica, razón por la cual el comité organizador del XXXVII Congreso tuvo como meta cumplir con esta tradición. Este libro reúne los textos de ocho conferencias magistrales, una conferencia especial y 37 conferencias dentro de nueve simposios en los temas biología evolutiva, entomología médica y forense, control biológico, manejo de plagas, protección de cultivos, ecología química, biotecnología y aracnología. Este año se destinó un espacio de discusión en los simposios con el fin de permitir mayor interacción entre los conferencistas y los asistentes con el fin de priorizar líneas de investigación de interés común.

Los textos aquí publicados son responsabilidad de los autores, aunque se hicieron ajustes menores en la edición.

Agradecemos a los coordinadores de los simposios por su esfuerzo en la organización de los mismos y a cada uno de los conferencistas que aceptaron la invitación a participar de este evento y decidieron compartir sus trabajos con la comunidad asistente al congreso.

Expreso mi reconocimiento a Kris Wyckhuys, Angelica Rodríguez y María Camila Mejía que organizaron los textos del presente libro. A todas las personas que de diferentes maneras ayudaron en la divulgación y realización de este congreso. Finalmente, agradecemos y resaltamos los aportes recibidos de cada una de las instituciones y empresas patrocinadoras, que fueron vitales para el evento.

Esperamos que el contenido de estas memorias sea de aprovechado por la comunidad entomológica.

Nancy Barreto-Triana
Coordinadora Académica
XXXVII Congreso
Sociedad Colombiana de Entomología

CONTENIDO

Conferencias Magistrales	1
Detección de alelos resistentes a las toxinas del <i>Bacillus thuringiensis</i> en plagas de Lepidoptera (Noctuidae) <i>Carlos A. Blanco</i>	1
El rol de la entomología en el escenario de las ciencias forenses <i>María Dolores García García</i>	13
Ecología química nas relações tritróficas planta-praga-inimigo natural José Maurício Simões Bento e Cristiane Nardi.....	26
Nuevas tecnologías para el manejo integrado de insectos <i>Luis E. Gómez y Thomas C. Sparks</i>	41
Production Agriculture and Ecosystem Services: <i>Can GM Crops Bridge the Gap?</i> <i>William D. Hutchison</i>	42
Longitudes de onda e intensidades de luz en la atracción de insectos hematofagos <i>Mario Iván Ortiz, Jorge Molina</i>	43
Comparative studies of the biology of invasive species in their native and introduced ranges: a tool for understanding the causes of their success Edward G. LeBrun	49
Cambio y variabilidad del clima y relaciones con la agricultura colombiana con énfasis en aspectos sanitarios <i>Francisco Boshell V.</i>	50
Conferencia especial	
La diversidad de insectos en Colombia: entognatos a polineópteros <i>Germán Amat y Fernando Fernández</i>	58
Simposios	69
Simposio Comportamiento de insectos y ecología química	69
Comportamento e ecologia química de insetos: Aplicações no manejo de pragas Behavior and chemical ecology in insects <i>José Maurício Simões Bento</i>	70
Metodologías para o Isolamento, Identificação Estrutural e Síntese de Feromônios <i>Paulo Henrique Gorgatti Zarbin</i>	85
Ecología química en insectos hematófagos <i>Mario Iván Ortiz, Jorge Molina</i>	89
Respuesta de las plantas a la herbivoría: su aplicación en sistemas agrícolas <i>Katja Poveda, María Isabel Gómez Jiménez, Andre Kessler</i>	100

Efecto del uso integrado de estímulos repelentes y atrayentes sobre <i>Tecia solanivora</i> en cultivos de papa <i>María Isabel Gómez Jiménez y Katja Poveda</i>	109
Simposio Aracnología	122
Estado actual del conocimiento de arañas (Araneae) en Colombia <i>Alexander Sabogal González</i>	123
Acari y la importancia de nuevos estudios en Colombia <i>José Orlando Cóbbita-Heredia</i>	139
Los Pedipalpi (Arachnida: Amblypygi, Thelyphonida, Schizomida) en el norte de Suramérica con énfasis en la fauna colombo-venezolana, estado actual de su conocimiento taxonómico <i>Oswaldo Villareal Manzanilla</i>	139
Escorpiones: estado actual de su conocimiento en Colombia <i>Eduardo Flórez Daza</i>	154
Simposio Entomología Médica	162
Problemas com a identificação de espécies do gênero <i>Anopheles</i> e recomendações para o desenvolvimento de estudos taxonômicos como ferramenta básica de investigação <i>Eduardo Sterlino Bergo e Maria Anice M. Sallum</i>	163
Técnicas de biología molecular para la tipificación de insectos de importancia médica: Iniciativa Barcodin <i>Sandra Uribe Soto</i>	165
El control vectorial de la leishmaniasis en Colombia: experiencias y retos para el futuro <i>Raúl Hernando Pardo Puente</i>	174
Mosquitos asociados a guadua en algunas zonas rurales de Colombia <i>Carolina Torres Gutiérrez</i>	186
Simposio Protección de Cultivos, MIP	199
CuidAgro SM y Campo Limpio SM aliados para el Manejo Integrado de Cultivos <i>María Helena Latorre Castañeda</i>	200
Las alternativas químicas recientes para el manejo de ácaros en cultivos de flores para exportación <i>Alberto Murillo López</i>	204
Bioactivator action of thiametoxan <i>Paulo Roberto de Camargo e Castro</i>	212
Simposio Entomología Forense	218
Insectos (Diptera, Coleoptera, Hymenoptera) presentes en cadáveres en el Neotrópico: aspectos ecológicos y taxonómicos <i>Eliana Buenaventura R. y Elena Cifuentes</i>	219
Entomología forense en Colombia y sus implicaciones en la actividad pericial <i>Nidya Alexandra Segura Guerrero</i>	235

Entomología forense en acción: casos de España <i>María Dolores García García y María Isabel Arnaldos Sanabria</i>	245
Entomología forense en acción: casos de Colombia <i>Ginna Paola Camacho Cortés</i>	251
Simposio Control Biológico	260
Biological control of pests in protected cultivation: implementation in Latin America and successes in Europe <i>Vanda Helena Paes Bueno y Joop C. van Lenteren</i>	261
Secondary pests in Bt cotton: learning from Chinese experiences to anticipate pest outbreaks in Colombian transgenics <i>Kris A.G. Wyckhuys, Yanhui Lu, KongMing Wu</i>	4
Biología aplicada: una forma de usar el control biológico de plagas agrícolas en Colombia <i>Alexander Bustos, Daniel Rodríguez, Fernando Cantor</i>	274
Aspectos regulatórios e a comercialização de inimigos naturais no Brasil <i>Danilo Scacalossi Pedrazzoli</i>	278
Simposio Biotecnología	285
Cultivos transgénicos resistentes a insectos: ¿dónde estamos y hacia dónde vamos? <i>Gabriela Levitus</i>	286
Determinación del comportamiento diferencial de la expresión de toxinas en plantas genéticamente modificadas <i>Rodolfo Alberto Mejía Cruz</i>	294
Posibilidades de uso de entomopatógenos genéticamente modificados en el control de plagas <i>Carmenza E. Góngora B.</i>	299
Simposio Biología Evolutiva	315
Indirect competition facilitates widespread displacement of one naturalized parasitoid of imported fire ants (Diptera: Phoridae: <i>Pseudacteon</i>) by another <i>Edward G. LeBrun, Robert M. Plowes, Lawrence E. Gilbert</i>	316
Especiación en lepidópteros: <i>Spodoptera frugiperda</i> un caso particular de especiación simpátrica <i>Clara Inés Saldamando Benjumea</i>	317
Plasticidad fenotípica, adaptación local, y variabilidad: Posibilidades y restricciones de especiación en herbívoros <i>Angela R. Amarillo-Suárez</i>	330
Especiación y morfología en insectos: Mucho que decir en una era de moléculas <i>Carlos E. Sarmiento</i>	334
Simposio MIP ornamentales de corte	341
Manejo integrado de plagas en flores de corte <i>Fabiola Valcárcel Calderón</i>	342
Control biorracional de plagas de ornamentales de corte <i>James Alberto Jiménez</i>	345

Arañitas (Acari: Tetranychidae): megaplagas de cultivos ornamentales	
<i>Edison Torrado-León</i>	355
Serie documental: polizones de las flores	
<i>Maritza Mantilla y Ximena Serrano Gil</i>	362
Programación general XXXVII Congreso	367

Conferencias Magistrales

Detección de alelos resistentes a las toxinas del *Bacillus thuringiensis* en plagas de Lepidoptera (Noctuidae)

Detection of *Bacillus thuringiensis*-resistant alleles in Lepidopteran (Noctuidae) pests

Carlos A. Blanco

Biólogo Ph.D. Biotechnology Regulatory Services, Animal and Plant Health Inspection Service, United States
Department of Agriculture, Riverdale, Maryland 20737, U.S.A. Carlos.A.Blanco@aphis.usda.gov.

Resumen

Los cambios de susceptibilidad a las proteínas que produce la bacteria *Bacillus thuringiensis* (Bt) en plagas del algodón transgénico Bt, pueden indicar que estos insectos están siendo resistentes a este cultivo. La susceptibilidad se mide a través de bioensayos con la progenie de insectos colectados en el campo. Las larvas utilizadas en dichas pruebas pueden originarse de apareamientos en masa o como pares individuales de adultos, lo que afecta las conclusiones que podamos sacar de nuestros resultados. En esta retrospectiva se describen dos métodos llevado a cabo entre 2003 y 2009 para medir los niveles de susceptibilidad de *Heliothis virescens* proveniente de zonas algodoneras de Estados Unidos, se describen dos métodos básicos. El primero consiste en aparear 'en masa' a los adultos y llevar a cabo pruebas con la primera (F_1) y segunda (F_2) generación. El otro método consiste en formar isofamilias con solamente una hembra y un macho y efectuar bioensayos con sus generaciones F_1 y F_2 . El método en masa es una forma eficiente de muestrear bastantes alelos simultáneamente, pero no se puede saber con precisión cuántos de ellos están representados en los bioensayos, situación que sí se puede esclarecer con el método de isofamilias. Los resultados de ambos métodos pueden diferir dependiendo de la densidad de adultos que se usen para crear las generaciones F_1 y F_2 , el día en que se colecten los huevos de la progenie a probar y hasta la dieta artificial con que se lleven a cabo los bioensayos. Se discuten pros y contras de la utilización de ambos métodos.

Palabras clave: *Heliothis virescens*. Isofamilia. Prueba F_2 . Apareamientos. Dieta artificial.

Summary

Changes in susceptibility to *Bacillus thuringiensis* (Bt) in genetically-engineered Bt cotton' pests, can indicate development of resistance of the insects to this crop. Bt-susceptibility is measured through bioassays with the first (F_1) and second (F_2) generations' offspring of field-collected insects. Larvae utilized in bioassays may originate from adults' mass matings or from a single pair (isofamily), and both methods may affect results. In a retrospective of research conducted to measure Bt-susceptibility in *Heliothis virescens* between 2003-2009 in the United States, the two methods are compared. Mass mating adults is an efficient way of testing multiple field-collected alleles at once. However, this method does not allow for the accurate quantification of the number of tested alleles, which is possible utilizing isofamilies. Results of both methods can vary depending on the density of

adults that produce the F_1 and F_2 generations, the day that eggs were collected and the insect artificial diet utilized in the bioassays. Pros and cons of both methods are discussed.

Key words: *Heliothis virescens*. Isofamily. F_2 screen. Matings. Insect artificial diet.

La adopción de cultivos que producen proteínas (toxinas) *Cry* (debido a su nomenclatura en inglés 'Crystal proteins') derivadas de la bacteria *Bacillus thuringiensis* Berliner, ha cobrado importancia alrededor del mundo (ISAAA 2006). Su valor se debe a que dichas proteínas son inocuas a los humanos y vertebrados y a que existen cepas con gran efectividad para el control de insectos y al mismo tiempo especificidad, puesto que afectan a un grupo reducido de artrópodos (Ferré y Van Rie 2002). Actualmente, estas proteínas las producen algunos de los cultivos genéticamente modificados, llamados transgénicos Bt, lo que les confiere protección contra un número limitado de plagas. Se entiende que estas variedades genéticamente modificadas sólo se diferencian de las no modificadas en que las primeras producen altas concentraciones de una o más proteínas en diversas partes de sus tejidos (Sivasupramaniam *et al.* 2008).

Ya que un gran número de artrópodos de importancia económica han adquirido resistencia a algún tipo de insecticida o acaricida (I.R.A.C. 2010), la posibilidad de que alguna de las plagas de Lepidoptera que en la actualidad se controlan con cultivos transgénicos Bt, o insecticidas a base de Bt, adquieran resistencia a esta bacteria es un hecho. Debido al gran valor que tiene la alta especificidad e inocuidad de estas proteínas sobre otros organismos que no son plagas agrícolas, la institución a cargo de la protección del medio ambiente Estadounidense (U.S. Environmental Protection Agency [E.P.A.]) considera que el mantener la susceptibilidad de plagas a la bacteria *Bacillus thuringiensis* 'constituye un beneficio público' (Matten y Reynolds 2003).

Una de las maneras de tratar de prevenir el desarrollo de resistencia a insecticidas es la detección temprana de 'brotes' en lugares donde los insectos han demostrado cierto grado de tolerancia para implementar medidas correctivas. El documentar si las plagas que son el objetivo de los cultivos transgénicos Bt se han vuelto resistentes a esta bacteria, antes de que los problemas de control en el campo sean evidentes, se lleva a cabo a través de bioensayos. Estos son pruebas en el laboratorio que determinan los valores de susceptibilidad de estos insectos. Esta información se puede generar de dos maneras: 1) obtener muestras de diferentes regiones, medir su susceptibilidad y después de un lapso de tiempo volverla a medir para ver si la respuesta a Bt se ha alterado. La otra forma (2) es cuantificar la proporción de alelos resistentes a Bt que existen en la población en al menos dos momentos diferentes. Se han propuesto varias metodologías que pudieran ser estándar para los laboratorios que llevan a cabo estos trabajos (Dulmage *et al.* 1971; Dulmage *et al.* 1978; Vandekar y Dulmage 1982; Beegle *et al.* 1986; Blanco *et al.* 2007a), sin que haya consenso en este momento sobre cuál método es el apropiado. Esta falta de uniformidad se debe en parte a que diferentes especies de insectos demuestran discrepancias significativas en su biología y una respuesta intrínseca particular al *Bacillus thuringiensis* (Ignoffo *et al.* 1977; Stone y Sims 1993; Luttrell *et al.* 1999).

El gusano de la yema del tabaco, *Heliothis virescens* (F.), es una plaga de consecuencias económicas importantes en múltiples cultivos en nuestro continente (Fitt 1989). Debido a ello es una de las que ha adquirido altos niveles de resistencia a insecticidas sintéticos en distintas ocasiones y en diferentes lugares (Sparks 1981; Terán-Vargas *et al.* 2005; Zenner de Polanía *et al.* 2008). Afortunadamente, este insecto tiene una alta susceptibilidad a la proteína Cry1Ac (Stone y Sims 1993; Luttrell *et al.* 1999; Blanco *et al.* 2009a), por lo tanto es una de las plagas que se controla satisfactoriamente con los algodonereros (*Gossypium hirsutum* L.) transgénicos Bt. *Heliothis virescens*

ha sido la plaga de mayor importancia tanto para la E.P.A. como para el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (U.S.D.A.) en lo que toca a la vigilancia de los niveles de resistencia a las proteínas Bt.

Haré referencia a varios estudios realizados para obtener información que ayuda a determinar si esta plaga en especial se está haciendo resistente a las proteínas que producen los algodoneiros Bt en el mercado. Aprovecho la oportunidad en este escrito para hacer una retrospectiva del trabajo que realizamos en el centro de investigación Agricultural Research Service (A.R.S.) del U.S.D.A. en Mississippi entre 2003 y 2009, esperando que el lector disculpe tantas 'auto citas' a nuestro trabajo.

Obtención de muestras de *Heliothis virescens* provenientes del campo en los Estados Unidos

Para cubrir eficientemente las necesidades de información de un área de aproximadamente 4-7 millones de hectáreas que cubre el cultivo del algodoneiro en los Estados Unidos (U.S.D.A.-N.A.S.S. 2010), fue necesario muestrear esta enorme superficie distribuida en 17 estados algodoneiros a través de la colaboración de más de 30 investigadores. Una de las formas de obtener muestras de este insecto era capturar machos en trampas de feromona los cuales se enviaban vía entrega inmediata a un laboratorio (U.S.D.A. - A.R.S. en Mississippi) donde los machos sobrevivientes (0-95% dependiendo de la edad de los machos y de las condiciones de humedad del recipiente en el que se enviaban [Blanco, sin publicar]), se apareaban con hembras de una colonia de laboratorio susceptible a Bt, en una proporción de 40 hembras y $\approx$ 40 machos para formar una 'muestra'. Larvas neonatas de la primera (F_1) y la segunda (F_2) generación de estas cruces se usaban para realizar bioensayos (Blanco *et al.* 2004). Este fue un buen método para obtener muestras de varias localidades durante casi todo el año, pero sus desventajas residían en 1) el traer enfermedades al laboratorio y perder al menos una de estas muestras, 2) su costo, pero sobre todo (3) la dificultad de determinar con precisión cuál era el número de alelos que se habían muestreado cuando las copulaciones se hacían en masa. Debido a que *H. virescens* es una especie que exhibe poliandria, existe la posibilidad de que $\geq$ dos hembras sean copuladas por el mismo macho, lo que hace difícil cuantificar el número de copulaciones independientes. Sin embargo, un estudio nos ayudó a determinar que el porcentaje de hembras copuladas en densidades de 30 machos y 30 hembras confinados a un espacio de 3.8 litros, fluctúa entre 42-69%. Sin embargo no se estableció con precisión la proporción de hembras copuladas por el mismo macho (Blanco *et al.* 2006), lo que limita la utilidad de estos resultados para determinar la cantidad de alelos de las muestras del campo. En investigaciones más recientes se ha demostrado que cuando una hembra de *H. virescens* ha copulado con un par de machos, diferentes proporciones de la progenie llevan la genética de uno u otro macho, dependiendo del orden en el que el apareamiento se llevó a cabo y el costo del 'fitness' que tienen las mutaciones que se usaron para este estudio (Blanco *et al.* 2008a, 2010a). Así que pienso que esos $\leq$ 27 machos que asumimos copularon en nuestro método inicial, estuvieron representados genéticamente en alguna proporción en nuestras muestras.

Otra especie que exhibe poliandria y que es controlada parcialmente por los algodoneiros Bt es *Helicoverpa zea* (Boddie). Esta plaga fue estudiada bajo las condiciones de apareamiento en masa descritas anteriormente, mostrando que sólo llegan a copular el 25-46% de los machos, lo que indica que únicamente $\leq$ 14 de ellos, en el mejor de los casos, llega a contribuir con alelos a la siguiente generación (Blanco *et al.* 2010b), lo que reduce aún más la capacidad de muestrear efectivamente la genética proveniente del campo. Resultados similares se han encontrado en estudios preliminares efectuados con el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* Smith, Blanco, sin publicar).

En un acuerdo entre U.S.D.A., E.P.A. y las compañías comercializadoras de algodones Bt (Monsanto y Dow AgroSciences), se determinó enfocar la zona de muestreo principalmente a aquellos estados donde la adopción de algodón Bt era más extensa (Texas, Arkansas, Mississippi, Georgia, Alabama y Carolina del Norte) y tratar de incluir a los estados fronterizos Mexicanos (Tamaulipas y Sonora en especial). Con el fin de obtener muestras más abundantes y hembras del gusano de la yema del tabaco provenientes del campo, se plantaron lotes de garbanzo (*Cicer arietinum* L.) en estas zonas. El garbanzo es una planta hospedera que tiene la capacidad de producir cientos de larvas por metro cuadrado (Blanco *et al.* 2007b, 2009a). Aunque las densidades de lepidópteros en lotes de garbanzo varían con la estación (Blanco *et al.* 2007b) y la variedad utilizada (Blanco *et al.* 2009a), la ventaja de obtener larvas de garbanzo reside en que otras especies (*H. zea*, *Spodoptera frugiperda*, y *S. exigua* [Hübner], todas ellas de importancia para el algodón Bt), también se pueden obtener de lotes pequeños de garbanzo. Además, consistentemente año con año (2001-2009) *Heliothis virescens* infestó dichos lotes, lo que no sucedió con lotes de algodón, tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) y/o malezas como *Geranium* spp. y/o *Abutilon theophrasti* Medik que se establecieron con el mismo propósito (Blanco *et al.* 2007b, 2008b). Los lotes de garbanzo ($\approx 300 \text{ m}^2$) son más fáciles de establecer, mantener y muestrear que las trampas de feromona, reduciendo además los costos.

Después de obtener de esta manera hembras y machos provenientes del campo se implementó la prueba a la segunda generación (' F_2 screen') que se origina de la cruce de una hembra (P_0) y un macho (P_0) para formar una isofamilia (F_1), que al aparearse entre sí, producen la progenie F_2 a la que se les realizan pruebas. Esta metodología sigue los principios básicos descritos por Andow y Alstad (1998) y se ilustra en la figura 1.

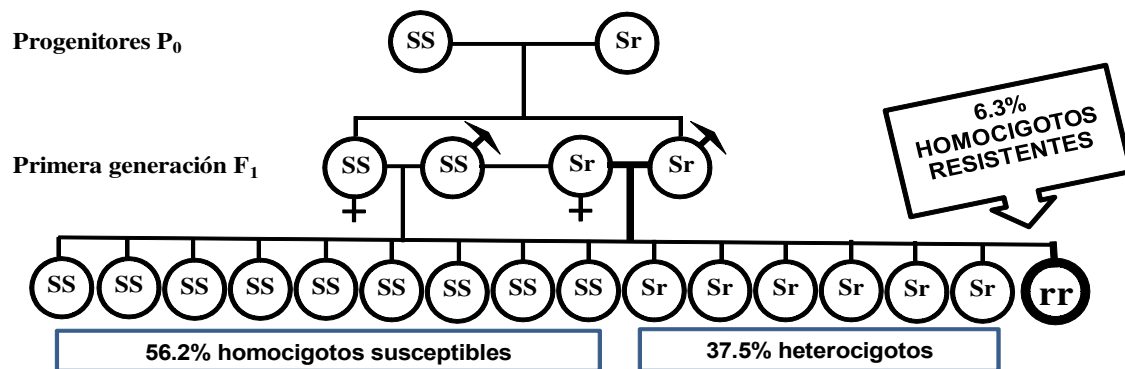


Figura 1. Esquema simple de la segregación de alelos resistentes (*r*) en la segunda generación cuando un padre es homocigoto susceptible (*SS*) y el otro heterocigoto resistente (*Sr*).

¿Cómo se pueden detectar los alelos que confieren resistencia a *Bacillus thuringiensis* en poblaciones de *Heliothis virescens*?

Hasta el momento todas las mutaciones que confieren resistencia al *Bacillus thuringiensis* que se han obtenido del campo o inducido en el laboratorio tienen la condición recesiva, como se ha observado en *Heliothis virescens* (Gould *et al.* 1995), *Plutella xylostella* (Liu y Tabashnik 1997), *Pectinophora gossypiella* (Saunders) (Carrière *et al.* 2001), *Trichoplusia ni* (Wang *et al.* 2007), *Diatraea saccharalis* (F.) (Huang *et al.* 2008), *Ostrinia nubilalis* (Hübner) (Alves *et al.* 2006), *Spodoptera frugiperda* (Blanco, manuscrito en preparación) y *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Bird y Akhurst 2005; Kranthi *et al.* 2006, sin embargo hay un reporte [Wu *et al.* 2009] sobre una mutación inducida que resultó en carácter dominante).

La segregación de los alelos recesivos resistentes a Bt en su forma homocigota, se obtiene en la segunda generación de la cruce entre un padre homocigoto susceptible (SS) y otro heterocigoto resistente (Sr), lo que suponemos que lo anterior representa la situación más común en el campo cuando la resistencia es aún incipiente y no se ha mostrado como una falla de control evidente y fácilmente detectable a simple vista. El apareamiento entre un padre homocigoto susceptible (SS) y el otro heterocigoto resistente (Sr) producirá 0% de progenie homocigota resistente (rr) en la primera generación (F_1) y 6.25% de ellos (rr) en la segunda (F_2) generación al haberse apareado la F_1 entre sí (Figura 1). Esto nos indica que sólo un individuo (larva) de cada 16 en la F_2 tiene la condición homocigota resistente (rr), el cual podrá ser detectado con una dosis discriminadora de insecticida que mate a las larvas SS y Sr pero no a las rr (Pérez *et al.* 1997). Si alguno de los padres ya es homocigoto resistente (rr) la progenie F_2 la conformarán 25% de éstos como rr, mientras que el apareamiento de dos padres heterocigotos (Sr) podrá segregar 25% de homocigotos resistente desde la primera (F_1) generación. Se considera que cuando muestras aleatorias provenientes del campo presenten las dos últimas condiciones genéticas en proporciones altas, la frecuencia de alelos resistentes sería tal que la falta de control con insecticidas o cultivos transgénicos Bt sería evidente.

La creación de isofamilias que se derivan del apareamiento de una hembra y un macho, es un proceso que lleva tiempo, necesita de mucho espacio en el laboratorio y conlleva altos costos. Sin embargo, es una de las maneras más eficientes de detectar individuos homocigotos resistentes. El método de monitoreo de resistencia a Bt para lepidópteros adoptado por USDA-ARS en Mississippi (Blanco *et al.* 2008c, 2009c), tiene una pequeña modificación a lo propuesto por Andow y Alstad (1998) y Andow *et al.* (1998), quienes recomiendan que se colecten hembras grávidas de *Ostrinia nubilalis* en trampas de luz. Un proceso que en el caso de *Heliothis virescens* proporciona muy pocas hembras, si es que se llegan a conseguir algunas. Este fue el caso al menos en las condiciones de Mississippi durante tres años (2003-2005).

La metodología descrita en Blanco *et al.* (2008c y 2009c) utiliza una palomilla (hembra o macho) de una colonia de laboratorio susceptible a Bt (SS) y su contraparte (SS, Sr o rr) proveniente del campo para formar una isofamilia. El exponer a una palomilla que proviene del campo a una de una colonia que lleva cientos de generaciones de adaptación a condiciones de laboratorio tiene como resultado un porcentaje mayor (45-65%) de isofamilias que producen una segunda generación, comparado con sólo un 17-30% cuando las cruces se efectúan entre dos adultos del campo. El efectuar la cruce entre muestras del campo y laboratorio reduce a la mitad el número de alelos provenientes del campo, pero debido a su mayor porcentaje de creación de generaciones F_2 , ayuda a compensar esta proporción al casi duplicar el número de isofamilias que se pueden generar con la cruce laboratorio y campo.

Desgraciadamente esta metodología tiene un alto costo (US\$120.00 al efectuar un bioensayo de 128 larvas F_2 por isofamilia, de acuerdo a costos de Mississippi en el año 2008), del cual el 92.5% comprende mano de obra del personal el laboratorio. Considero que a medida que se vuelva este proceso más 'rutinario' para el laboratorista, se podrán aumentar el número de familias con los mismos empleados, reduciendo así un poco los costos. Obviamente esta metodología además de ser costosa, lleva al menos un lapso de 55 días para arrojar resultados. Su ventaja es que segrega efectivamente 2 (cruza de padres laboratorio y campo) o 4 (campo y campo) genomas en forma homocigota, los que se pueden identificar con cierta facilidad teniendo una dosis de proteína (insecticida) discriminadora efectiva.

Otro método que se basa en el apareamiento de palomillas provenientes del campo (SS, Sr o rr) con palomillas de laboratorio resistentes (rr) a Bt fue utilizado por Gould y colaboradores (1997). Esta metodología facilita la detección de alelos resistentes en la primera generación (F_1) provenientes de un padre Sr o rr. Este apareamiento segrega en forma homocigota 50-100% de la progenie, que en caso de haber tenido alelos resistentes en la muestra del campo, se puede distinguir por medio de bioensayos con la dosis de insecticida discriminadora. La ventaja de esta metodología es que en cuestión de ≈ 21 días se obtienen resultados confiables en la primera generación. Aunque esta técnica tiene la limitante de sólo segregar alelos que tiene la mutación que la colonia de laboratorio resistente en la primera generación, puede segregar todos los alelos resistentes presentes en la generación F_2 y no sólo los que tiene la colonia de laboratorio resistente. La misma limitante tienen los métodos moleculares ya que no proveen una amplia cobertura de todos los mecanismos de resistencia posibles provenientes de muestras del campo, por sólo basarse en la identificación de una o unas cuantas mutaciones, además de tener un alto costo. La ventaja clara de este último método es que los resultados se pueden obtener en cuestión de horas.

La metodología de pruebas F_2 también ha permitido establecer líneas base de susceptibilidad a la proteína Cry1F del algodónero transgénico WideStrike® (Blanco *et al.* 2008d) y Cry1Ac producida por WideStrike y Bollgard® (Blanco, sin publicar), así como confirmar que la frecuencia de alelos resistentes a la proteína Cry1Ac, no ha aumentado en *H. virescens* del año 1987 al año 2008 en los Estados Unidos (Gould *et al.* 1997; Blanco *et al.* 2009b), a pesar del fuerte proceso de selección que ejercen 2.7-5.1 millones de hectáreas de algodóneros Bt (65-75% del área) en el país. Ejemplos exitosos del uso de pruebas F_2 se han implementado para otras especies como el barrenador de la caña de azúcar (*Diatraea saccharalis* (F.)) (Huang *et al.* 2007), el gusano rosado (*Pectinophora gossypiella* Saunders) (Tabashnik *et al.* 2002), gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*, Blanco, sin publicar), *Ostrinia nubilalis* (Andow *et al.* 2008), *Helicoverpa armigera* (Hübner) en Australia (Mahon *et al.* 2007), China (Li *et al.* 2007) e India (Gujar *et al.* 2000) y para *Helicoverpa punctigera* (Wallengren) en Australia (Downes *et al.* 2009).

¿Qué se debe tener en cuenta al analizar nuestros datos?

Si el porcentaje de homocigotos resistentes (rr) en los bioensayos de la segunda generación de *Heliothis virescens* es menor al esperado 6.25% o no se observan larvas que haya sobrevivido la dosis discriminadora, ¿se debe asumir que ninguno de los padres tenía alelos resistentes? Claro que científicamente esta es una pregunta muy fácil de responder; no. En la práctica esta pregunta toma otro cariz, ya que el dudar de nuestro trabajo por un lado es sano y honesto, pero por el otro repetir o descartar experimentos tiene implicaciones prácticas. Las siguientes recomendaciones pueden ayudar a planear nuestro trabajo y darle una mejor interpretación a nuestros resultados.

Ajuste del número de larvas que se utilizan en el bioensayo F_2 . Si esperamos que sólo una de cada 16 larvas F_2 sea homocigota resistente y si honestamente consideramos que en los bioensayos se puede presentar una mortalidad natural de hasta el 50%, entonces debemos planear el utilizar al menos 50 larvas expuestas a la dosis insecticida discriminadora y tal vez otras 50 expuestas al control (sin insecticida), para compensar estos factores de error y poder detectar al menos una larva que sobreviva nuestros bioensayos. Las cantidades de larvas F_2 tendrán que ser mayores si se efectúan paralelamente pruebas de susceptibilidad a base de series de concentraciones de insecticida que por lo general requieren de otras ≥ 80 larvas. El usar un número adecuado es importante en el caso de que una isofamilia tenga que volverse a probar en bioensayos, o en el mejor de los casos, si se han detectado larvas resistentes, se necesitarán suficientes individuos sobrevivientes para confirmar estos resultados y mantener esta valiosa muestra para estudios

posteriores. Para contar con suficientes (≥ 250) larvas para estos bioensayos es necesario tener suficientes palomillas F_1 que las produzcan.

El número de adultos F_1 es muy importante. La producción de cada palomilla tiene un costo y su adecuado mantenimiento requiere de buenas condiciones ambientales y de espacio. Para *Heliothis virescens* las densidades de palomillas durante el apareamiento tiene una influencia marcada en la frecuencia de apareamientos y su mortalidad (Blanco *et al.* 2006), así como la producción de huevos y el porcentaje de progenie homocigota resistente (Blanco *et al.* 2008c). Altas densidades de palomillas conllevan alta mortalidad, pero bajas densidades de palomillas no producen suficientes huevos ni llegan a segregar los alelos homocigotos resistentes en la proporción esperada de 6.25% en la segunda generación. Ocho palomillas (4 hembras con 4 machos), el número mínimo de adultos para que aleatoriamente exista una cópula entre una madre Sr y un padre Sr que dará lugar a la producción de progenie rr , sobreviven en mayor proporción al ser confinadas a un espacio de 500 ml que aquellas a una densidad tres veces mayor (12 hembras con 12 machos). Dieciséis palomillas (8 hembras con 8 machos), que podrían incrementar la posibilidad de un apareamiento de adultos Sr y Sr , puestas en el mismo espacio tienen una mortalidad intermedia (0 al 60% en un lapso de 4 días) con la ventaja de que a esta densidad produce el mayor número de huevos por hembra. Lo que es aun más importante es que esta densidad de adultos (16) produce una proporción más alta de progenie resistente homocigota (0.3-9.8%), que a densidades de adultos más bajas (8) (0-5.7%) o más altas (24) (0-6.0%) (Blanco *et al.* 2008c).

Planeación de los días en que se efectúan bioensayos de acuerdo a la postura de huevos. Debido a que el desarrollo de *Heliothis virescens* se puede regular a través de la temperatura ambiente, y el sexo de las pupas o adultos es fácilmente identificable, se pueden confinar simultáneamente palomillas de la misma edad. Esto permite una producción óptima de huevos que definitivamente puede influenciar los resultados de los bioensayos. Las hembras de *H. virescens* producen el 60-75% de sus huevos en su segundo y tercer día de posturas, lo que ayuda a planificar que durante estos dos días se tendrá la mayor cantidad de ellos para efectuar bioensayos. Lo que es aun más importante es que una mayor proporción de progenie homocigota F_2 es producida en estos dos días siguiendo la metodología de isofamilias descrita anteriormente (Blanco *et al.* 2008c, 2010a). Una densidad de 16 palomillas y estos dos días son los óptimos para poder detectar entre 1.8-9.8% de larvas F_2 que sobreviven a la dosis discriminatoria y que se asume éstas son las resistentes homocigotas (rr), mientras que durante el primer día de producción de huevos esta proporción es de sólo 0.3-5.2%, y durante el cuarto día es 1.5-8.0%. Las proporciones de larvas F_2 rr entre los diferentes días de posturas tal vez no parezcan del todo diferentes, pero cuando se toma en cuenta el costo y tiempo de probar cada larva junto con la inevitable mortalidad en el laboratorio que afecta también a larvas rr , el saber que el segundo y tercer día son mejores que otros, así como la densidad óptima de palomillas nos puede ayudar a hacer el mejor uso de nuestros recursos y ayudarnos a entender nuestros resultados. Parte de la explicación del por qué esto es importante se debe a que durante el segundo y tercer día de posturas se encuentra la mayor diversidad genética de la muestra, y que las hembras Sr tardan un día más en empezar a producir huevos que las hembras SS .

La dieta artificial con que se hacen los bioensayos también tiene influencia en los resultados. Dependiendo del criterio del investigador y de quien interpreta los resultados, un cambio de susceptibilidad a *Bacillus thuringiensis* se puede interpretar como desarrollo de resistencia. Por ejemplo, se ha propuesto que una diferencia de susceptibilidad de un orden de magnitud (10 veces) entre dos muestras o dos resultados obtenidos en diferentes momentos, refleja una 'reducción en la susceptibilidad que tiene una base genética' (Tabashnik *et al.* 2009). Como se mencionó

anteriormente, *H. virescens* es una plaga muy susceptible a la proteína Cry1Ac, por lo tanto pequeñas cantidades de esta toxina en la dieta pueden provocar resultados drásticamente diferentes.

En un estudio en el que comparamos la respuesta a Cry1Ac en cuatro colonias de *H. virescens* con orígenes independientes, utilizando el mismo insecticida Cry1Ac incorporado a cuatro dietas artificiales diferentes (Blanco *et al.* 2009c), obtuvimos diferencias en susceptibilidad de hasta 43 veces entre una y otra dieta, lo que indica que un bioensayo efectuado con la misma muestra de insectos, utilizando el mismo equipo, concentración de insecticida y llevado a cabo simultáneamente, pero con dos diferentes dietas, puede tener una respuesta que sobrepasa la diferencia de 10 veces en susceptibilidad. El mismo estudio mostró diferencias intrínsecas de hasta 57 veces al usar la misma dieta con cuatro diferentes colonias de *H. virescens* que se consideran susceptibles a Cry1Ac, lo que no es de extrañar, pero sirve para llamar la atención sobre una diferencia de susceptibilidad dependiente en gran parte sobre la línea base de la que se parte. Así que al hablar de diferencias en susceptibilidad a Bt entre dos puntos en el tiempo, o entre técnicas de laboratorio, debe llevar todo tipo de consideraciones biológicas. Tal vez por eso otros colegas que estudian resistencia a insecticidas consideran que al menos una diferencia de 100 veces en susceptibilidad, 'es un buen punto de partida' para considerar seriamente problemas de resistencia. Cualquiera que sea el criterio de susceptibilidad, se deben considerar todos factores que afectan drásticamente los resultados.

En otro estudio (Blanco, sin publicar) la 'potencia' del insecticida Cry1Ac que se utiliza en la mayor parte del mundo (MVP II®) para pruebas de susceptibilidad que tiene que ver con algodones transgénicos Bt, disminuyó significativamente en un lapso de tres años, a pesar de haberlo mantenido bajo las mejores condiciones como son eliminado el agua de la formulación (lío-filizado) y de mantenerlo constantemente a -80 °C. Debido a que este insecticida ya no se produce comercialmente desde hace varios años, no puedo dejar de considerar la posibilidad de que en realidad el insecticida sí sigue manteniendo su toxicidad y lo que ha ocurrido es una alteración en la susceptibilidad a Cry1Ac en nuestra colonia de referencia. Desgraciadamente no hay insecticida MVP II recién producido para hacer la comparación con el que se usa actualmente en los laboratorios, pero estos resultados indican que estos dos factores pueden hacernos pensar erróneamente que los niveles de susceptibilidad a Cry1Ac han disminuido.

Comparación de resultados entre laboratorios. Por último haré alusión a otro de nuestros estudios sin publicar, esta vez se trata de un esfuerzo por 'homogeneizar' los procesos de laboratorios que llevan a cabo cuatro laboratorios encargados de pruebas de susceptibilidad a Bt. Después de múltiples intentos por desarrollar un protocolo que fuera factible de llevar a cabo entre los cuatro laboratorios, optamos por comprar todo el equipo básico de bioensayos y dividirlo en 4 partes. Al mismo tiempo conseguimos un lote homogéneo de dieta artificial que dividimos y lo mismo ocurrió con un lote de insecticida MVP II que se dividió en cuatro. Los bioensayos se efectuaron con una colonia de *Heliothis virescens* y otra de *Helicoverpa zea* de un sólo laboratorio. Las larvas neonatas utilizadas provinieron de una sola noche de producción de huevos, cantidad que se dividió en cuatro partes al partir la tela en cuatro donde estaban puestos los huevos. El estudio constó de seis repeticiones efectuadas en seis diferentes fechas teniendo como objetivo bajar la variación en nuestros resultados y producir valores similares para *H. virescens* y *H. zea*. Después de valorar cuidadosamente los resultados, el coeficiente de variación bajó a 18-36% y nuestros valores DL₅₀ difirieron en 43% para *H. zea* y 30% para *H. virescens*. Después de docenas de bioensayos, miles de larvas evaluadas, incontables mensajes intercambiados entre los involucrados en este estudio, no

hemos llegado a un consenso sobre qué método seguir, qué análisis usar, pero sobre todo, cómo interpretar estos resultados.

Agradecimientos

La invitación del Dr. William Duarte Gómez y de la Coordinación del XXXVII Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología ha sido un honor para mí. A la Dra. Ingeborg Zenner de Polanía con quien ha sido un placer colaborar en varios proyectos.

Literatura citada

- 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.; ALSTAD, D. N. 1998. F₂ screen for rare resistance alleles. *Journal of Economic Entomology* 91: 572-578.
- 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.
- ANDOW, D. A.; ALSTAD, D. N.; PANG, Y.-H.; BOLIN, P. C.; HUTCHISON, W. D. 2008. Using an F₂ screen to search for resistance alleles to *Bacillus thuringiensis* toxin in European corn borer (Lepidoptera: Crambidae). *Journal of Economic Entomology* 91: 579-584.
- BEEGLE, C. C.; COUCH, T. L.; ALLIS, R. T.; VERSOI, P. L.; LEE, B. L. 1986. Standardization of HO-1-5-1980.: U.S. Standard for assay of lepidopterous-active *Bacillus thuringiensis*. *Bulletin of the Entomological Society of America* 32:44-45.
- BIRD, L. J.; AKHURST, R. J. 2005. Fitness of Cry1A-resistant and -susceptible *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) on transgenic cotton with reduced levels of Cry1Ac. *Journal of Economic Entomology* 98: 1311-1319.
- BLANCO, C. A.; ADAMS, L. C.; y 26 co-autores. 2004. *Bacillus thuringiensis* resistance monitoring program for tobacco budworm and bollworm in 2003. *Proceedings of the 2004 Beltwide Cotton Conferences*, pp 1327-1331. Cotton Council of America, San Antonio, TX, enero 5-9, 2004.
- BLANCO, C. A.; SUMERFORD, D.; LÓPEZ, Jr., J. D.; HERNÁNDEZ, G. 2006. Mating incidence of feral *Heliothis virescens* (Lepidoptera: Noctuidae) males confined with laboratory-reared females. *The Journal of Cotton Science* 10: 105-113.
- BLANCO, C. A.; PERERA, O. P.; BOYKIN, D.; ABEL, C.; GORE, J.; MATTEN, S. R.; RAMÍREZ-SAGAHON, J. C.; TERÁN-VARGAS, A. P. 2007a. Monitoring *Bacillus thuringiensis*-susceptibility in insect pests that occur in large geographies: How to get the best information when two countries are involved. *Journal of Invertebrate Pathology* 95: 201-207.
- BLANCO, C. A.; TERÁN-VARGAS, A. P.; LÓPEZ, Jr. J. D.; KAUFFMAN, J. V.; WEI, X. 2007b. Densities of *Heliothis virescens* and *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae) in three plant hosts. *Florida Entomologist* 90: 742-750.
- BLANCO, C.A.; PERERA, O. P.; GROOT, A.; HERNÁNDEZ, G.; TERÁN-Vargas, a. p. 2008a. Paternity allocation in a mutant *Heliothis virescens* colony. *Southwestern Entomologist* 33: 253-263.
- 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: 1547-1547.
- BLANCO, C. A.; PERERA, O. P.; GOULD, F.; SUMERFORD, D. V.; HERNÁNDEZ, G.; ABEL, C. A.; ANDOW, D. A. 2008c. 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.; STORER, N. P.; ABEL, C. A.; JACKSON, R.; LEONARD, R.; LÓPEZ Jr., J. D.; PAYNE, G.; SIEGFRIED, B. D.; SPENCER, T.; TERÁN-VARGAS, A. P. 2008d. Baseline susceptibility of tobacco budworm (Lepidoptera: Noctuidae) to Cry1F toxin from *Bacillus thuringiensis*. *Journal of Economic Entomology* 101: 168-173.
- BLANCO, C. A.; TERÁN-VARGAS, A. P.; LÓPEZ, Jr. J. D.; ABEL, C. A. 2009a. Incidence of *Heliothis virescens* on garbanzo varieties in Northwestern Mississippi. *Southwestern Entomologist* 34: 61-67.
- BLANCO, C. A.; ANDOW, D. A.; ABEL, C. A.; SUMERFORD, D. V.; HERNÁNDEZ, G.; LÓPEZ, Jr., J. D.; ADAMS, L.; GROOT, A.; LEONARD, R.; PARKER, R.; PAYNE, G.; PERERA, O. P.; TERÁN-VARGAS, A. P.; AZUARA-DOMÍNGUEZ, A. 2009b. *Bacillus thuringiensis* Cry1Ac resistance frequency in tobacco budworm (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Economic Entomology* 102: 381-387.
- BLANCO, C. A.; GOULD, F.; VEGA-AQUINO, P.; JURAT-FUENTES, J. L.; PERERA, O. P.; ABEL, C. A. 2009c. Response of *Heliothis virescens* (Lepidoptera: Noctuidae) strains to *Bacillus thuringiensis* Cry1Ac incorporated into different insect artificial diets. *Journal of Economic Entomology* 102: 1599-1606.
- BLANCO, C. A.; GOULD, F.; GROOT, A. T.; ABEL, C. A.; HERNÁNDEZ, G.; PERERA, O. P.; TERÁN-VARGAS, A. P. 2010a. Offspring from sequential matings between *Bacillus thuringiensis*-resistant and *Bacillus thuringiensis*-susceptible *Heliothis virescens* moths (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Economic Entomology* 103 en prensa)
- BLANCO, C. A.; SUMERFORD, D.; LÓPEZ, Jr., J. D.; HERNÁNDEZ, G.; ABEL, C. A. 2010b. Mating behavior of wild *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae) males with laboratory-reared females. *The Journal of Cotton Science* 14: en prensa.
- CARRIÈRE, Y.; ELLERS-KIRK, C.; PATIN, A. L.; SIMS, M. A.; MEYER, S.; LIU, Y.-B.; DENNEHY, T. J.; TABASHNIK, B. E. 2001. Overwintering cost associated with resistance to transgenic cotton in the pink bollworm (Lepidoptera: Gelechiidae). *Journal of Economic Entomology* 94: 935-941.
- DOWNES, S.; PARKER, T. L.; MAHON, R. J. 2009. Frequency of alleles conferring resistance to the *Bacillus thuringiensis* toxins Cry1Ac and Cry2Ab in Australian populations of *Helicoverpa punctigera* (Lepidoptera: Noctuidae) from 2002 to 2006. *Journal of Economic Entomology* 102: 733-742.
- DULMAGE, H.T.; BOEVING, O. P.; REHNBORG, C. S.; HANSEN, G. D. 1971. A proposed standardized bioassay for formulations of *Bacillus thuringiensis* based on the international unit. *Journal of Invertebrate Pathology* 18:240-245.
- DULMAGE, H. T.; GRAHAMr, H. M.; MARTINEZ, E. 1978. Interactions between the Tobacco Budworm, *Heliothis virescens* and the δ -endotoxin produced by the HD-1 isolate of *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*: relationship between length of exposure to the toxin and survival. *Journal of Invertebrate Pathology* 32: 40-50.
- FERRÉ, J.; VAN RIE, J. 2002. Biochemistry and genetics of insect resistance to *Bacillus thuringiensis*. *Annual Review of Entomology* 47: 501-533.
- FITT, G. P. 1989. The ecology of *Heliothis* species in relation to agroecosystems. *Annual Review of Entomology* 34: 17-52.
- 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.; LÓPEZ, 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 Academies of Science, U.S.A. 94: 3519-3523.
- GUJAR, G. T.; KUMARI, A.; KALIA, V.; CHANDRASHEKAR, K. 2000. Spatial and temporal variation in susceptibility of the American bollworm *Helicoverpa armigera* (Hübner) to *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* in India. Current Science (Bangalore) 78: 995-1001.
- 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.
- IGNOFFO, C.M.; HOSTETTER, D. L.; PINNELL, R. E.; GARCIA, C. 1977. Relative susceptibility of six soybean caterpillars to a standard preparation of *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*. Journal of Economic Entomology 70: 60-63.
- I.R.A.C. Insecticide Resistance Action Committee. World web site. <http://www.irac-online.org/about/resistance/>. Fecha último acceso 27 abril 2010.
- ISAAA. International Service for the acquisition of agri-biotech applications. 2006. World wide website. <http://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/35/ppts/slides/default.html>. Fecha último acceso 27 abril 2010.
- KRANTHI, K. R.; DHAWAD, C. S.; NAIDU, S. R.; MATE, K.; BEHERE, G. T.; WADASKAR, R. M.; KRANTHI, S. 2006. Inheritance of resistance in Indian *Helicoverpa armigera* (Hübner) to Cry1Ac toxin of *Bacillus thuringiensis*. Crop Protection 25: 119-124.
- LI, G.-P.; WU, K.-M.; GOULD, F.; WANG, J.-K.; MIAO, J.; GAO, X.-W.; GUO, Y.-Y. 2007. Increasing tolerance to Cry1Ac cotton from cotton bollworm, *Helicoverpa armigera*, was confirmed in Bt cotton farming area in China. Ecological Entomology 32: 366-375.
- LIU, Y.-B.; TABASHNIK, B.E. 1997. Inheritance of resistance to the *Bacillus thuringiensis* toxin Cry1C in the diamondback moth. Applied and Environmental Microbiology 63: 2218-2223.
- LUTTRELL, R. G.; WAN, L.; KNIGHTEN, K. 1999. Variation in susceptibility of noctuid (Lepidoptera) larvae attacking cotton and soybean to purified endotoxin proteins and commercial formulations of *Bacillus thuringiensis*. Journal of Economic Entomology 92: 21-32.
- 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.
- MATTEN, S.R.; REYNOLDS, A. 2003. Current resistance management requirements for Bt cotton in the United States. Journal of New Seeds 5: 1317-1378.
- PÉREZ, C. J.; TANG, J. D.; SHELTON, A. M. 1997. Comparison of leaf-dip and diet bioassay for monitoring *Bacillus thuringiensis* resistance in field populations of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). Journal of Economic Entomology 90: 94-101.
- SIVASUPRAMANIAM, S.; MOAR, W. J.; RUSCHKE, L. G.; OSBORN, J. A.; JIANG, C.; SEBAUGH, J. L.; BROWN, G. R.; SHAPPLEY, Z. W.; OPPENHUIZEN, M. E.; MULLINS, J. W.; GREENPLATE, J. T. 2008. Toxicity and characterization of cotton expressing *Bacillus thuringiensis* Cry1Ac and Cry2Ab2 proteins for control of lepidopteran pests. Journal of Economic Entomology 101: 546-554.
- SPARKS, T. C. 1981. Development of insecticide resistance in *Heliothis zea* and *Heliothis virescens* in North America. Bulletin of the Entomological Society of America 27: 186-192.

- STONE, T. B.; SIMS, S. R. 1993. Geographic susceptibility of *Heliothis virescens* and *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae) to *Bacillus thuringiensis*. Journal of Economic Entomology 86: 986-994.
- TABASHNIK, B. E.; PATIN, A. L.; DENNEHY, T. J.; LIU, Y.-B.; CARRIÉRE, Y.; SIMS, M. A.; ANTILLA, L. 2002. Frequency of resistance to *Bacillus thuringiensis* in field populations of pink bollworm. Proceedings of the National Academy of Sciences 97: 12980-12984.
- TABASHNIK, B. E.; VAN RENSBURG, J. B. J.; CARRIÉRE, Y. 2009. Field-evolved insect resistance to *Bt* crops: Definition, theory, and data. Journal of Economic Entomology 102: 2011-2025.
- TERÁN-VARGAS, A. P.; RODRÍGUEZ, J. C.; BLANCO, C. A.; MARTÍNEZ-CARRILLO, J. L.; CIBRIÁN-TOVAR, J.; SÁNCHEZ-ARROYO, J. H.; RODRÍGUEZ-DEL-BOSQUE, L. A.; STANLEY, D. 2005. Bollgard cotton and resistance of the tobacco budworm (Lepidoptera: Noctuidae) to conventional insecticides in Southern Tamaulipas, Mexico. Journal of Economic Entomology 98: 2203-2209
- U.S.D.A.-N.A.S.S. United States Department of Agriculture – National Agricultural Statistics Service. World web site. http://www.nass.usda.gov/Charts_and_Maps/Field_Crops/cotnac.asp. Fecha último acceso 27 abril 2010.
- VANDEKAR, M.; DULMAGE, H. T. 1982. Guidelines for production of *Bacillus thuringiensis* H-14; Proceedings of a consultation held in Geneva, Switzerland, 25-28 October, 1982. UNDP / World Bank / WHO, Geneva.
- WANG, P.; ZHAO, J.-Z.; RODRIGO-SIMÓN, A.; KAIN, W.; JANMAAT, A. F.; SHELTON, A. M.; FERRÉ, J.; MYERS, J. 2007. Mechanism of resistance to *Bacillus thuringiensis* toxin Cry1Ac in a greenhouse population of the cabbage looper, *Trichoplusia ni*. Applied and Environmental Microbiology 73: 1199-1207.
- WU, Y.; VASSAL, J.-M.; ROYER, M.; PIERETTI, I. 2009. A single linkage group confers dominant resistance to *Bacillus thuringiensis* –endotoxin Cry1Ac in *Helicoverpa armigera*. Journal of Applied Entomology 133: 375-380.
- ZENNER-DE-POLANÍA, I.; ÁLVAREZ-RODRÍGUEZ, J. A.; ARÉVALO-MALDONADO, H. A.; MEJÍA-CRUZ, R.; BAYONA, M. A. 2008. Susceptibilidad de cuatro nóctuidos plaga (Lepidoptera) al gene Cry1Ac del *Bacillus thuringiensis* incorporado al algodónero. Revista Colombiana de Entomología 34: 41-50.

El rol de la entomología en el escenario de las ciencias forenses

The role of Entomology in Forensic Sciences

María Dolores García García

Doctora en Biología. Profesora Titular de Zoología, Área de Zoología. Facultad de Biología. Universidad de Murcia. 30100 Murcia. España, *mdgarcia@um.es*

Resumen

Existe una gran variedad de campos de interés en relación con las Ciencias Forenses, desde la datación de cadáveres a través de la valoración polínica o ficológica hasta las tecnologías más punteras de identificación vocal o técnicas analíticas. Entre estos campos se encuentra la Entomología, ciencia zoológica que tiene como objeto de estudio el grupo animal más diverso y numeroso existente en la Tierra.

La Entomología, aplicada a las Ciencias Forenses, se ocupa, también, de muy diversas tareas y enfoques entre los que destaca el relacionado con la práctica médico-legal. Aunque la datación de cadáveres a partir de evidencias entomológicas está, incluso, de moda, los campos de aplicación de la Entomología Forense son muy diversos. Además de la estimación del intervalo postmortem, puede aplicarse a la valoración del lugar de un fallecimiento, de las circunstancias perimortem, la identificación de un sospechoso, de presuntos malos tratos, de muertes súbitas, de la aplicación de terapias miásicas, detección de fármacos, drogas o estupefacientes, actuaciones en relación con fauna, valoración de infestaciones en alimentos, plagas urbanas y domésticas.

Todas estas aplicaciones descansan en la identificación precisa de las evidencias, por lo que la Taxonomía se revela como la herramienta fundamental para esta disciplina forense.

La Entomología Forense es una más de las Ciencias Forenses. De ella cabe esperar una información más, crucial o complementaria según el caso. Lo que importa es que esta disciplina se aplique de modo creciente y ocupe su lugar, como otras Ciencias Forenses, en los procedimientos habituales de investigación.

Palabras clave: Ciencias Forenses. Entomología. Aplicación. Taxonomía.

Abstract

There are many ways in which the Forensic Sciences can be applied, from the estimation of postmortem interval on the basis of pollen or algae in the corpse to the technology for vocal identification or analysis. The Entomology is one of these ways.

Forensic Entomology deals with diverse applications, the most famous being, probably, the medico-legal practice. Although the estimation of postmortem interval on the basis of entomological evidence is, even, fashionable, Forensic Entomology can be applied to the evaluation of the place where death occurred, the perimortem circumstances, a guilty or suspicious identification, neglect cases, sudden deaths, myiasis therapy, detection of drugs or toxins, wild fauna cases, stored products cases, urban and house pests.

All these applications are based on the correct identification of the evidence at the highest possible level. So, Taxonomy shows as the essential tool for this science. Forensic Entomology is just one of

the Forensic Sciences, which can offer some information, crucial or not, about a case. The most important thing is to apply more and more this science. So it will occupy its place as well as other Forensic Sciences, in the habitual research procedures.

Key words: Forensic sciences. Entomology. Application. Taxonomy.

Introducción

Las Ciencias Forenses, esto es, la aplicación de los métodos científicos a cuestiones legales, son un apasionante campo de estudio, complejo y multidisciplinar.

En ellas, se emplean principios científicos (químicos, físicos, biológicos...), así como de ciencias sociales y jurídicas, para la resolución de casos legales. De hecho, el término “forense” describe cualquier ciencia aplicada a la ley (Walker, 2006).

En conjunto, las Ciencias Forenses constituyen una disciplina en rápida evolución que adquiere una importancia cada vez mayor en los ámbitos científico y jurídico. Esto tiene que ver, por un lado, con el creciente número de casos de violencia, voluntaria o no, generadores de conflictos que involucran, con frecuencia, resoluciones judiciales y, por otro lado, la exigencia creciente, por parte de las distintas instancias que intervienen en el sistema judicial, en cuanto al rigor y la seguridad de las pruebas científicas producidas.

La importancia que las Ciencias Forenses tienen para la administración de justicia reside en su potencial capacidad de aportar información vital acerca de cómo se ha cometido una acción de tipo criminal y quién la ha cometido (Kiely 2005). Pero, realmente, las Ciencias Forenses pueden intervenir en muchas otras actuaciones que, aun teniendo repercusiones legales, no se encuadran dentro del campo criminal.

La complejidad de las cuestiones ligadas a las pruebas y a su obtención otorga protagonismo a las Ciencias Forenses y a su carácter multidisciplinar. Hoy en día nadie discute el concepto de interdisciplinariedad de las Ciencias Forenses, es más, suele ser uno de los ejemplos paradigmáticos de la complementariedad de las distintas áreas de conocimiento orientadas a un objetivo común, en este caso el auxilio a la administración de la justicia mediante el aporte de evidencias que permiten la reconstrucción de unos hechos objeto de litigio (Luna Maldonado y García García 2006).

Existe una gran variedad de campos de interés en relación con estas Ciencias, desde la investigación en la práctica de la datación de cadáveres a través de la valoración polínica o ficológica hasta las tecnologías más punteras de identificación vocal o técnicas analíticas. De hecho, en relación con ellas podemos encontrar disciplinas tan distintas como Arqueología, Patología, Toxicología, Odontología, Antropología, Biología, Entomología, Ingeniería, Informática, Psicología, Psiquiatría,... En las Ciencias Forenses, el científico siempre trabaja como miembro de un gran equipo, quizá con otros científicos especializados, investigadores policiales, fiscales, abogados,... cada uno aportando su propia contribución a la resolución de un caso.

La información generada por las Ciencias Forenses se suele mencionar como evidencia forense simplemente para distinguirla de la información no generada de modo científico, como los datos circunstanciales o las opiniones de los peritos (Kiely 2005).

Seguramente tenemos todos en mente, al hablar de las Ciencias Forenses, la exitosa serie de televisión CSI en sus tres versiones, Las Vegas, Miami y Nueva York. Y, seguramente, eso mismo nos produzca alguna inquietud por las expectativas creadas por esa serie en cuanto al potencial resolutivo de las muy diversas categorías de evidencias forenses y técnicas aplicables en su estudio.

La Entomología

Se trata de una disciplina zoológica, de las llamadas Ciencias Naturales, tan antiguas como el propio ser humano. De hecho, hay quien considera que la Zoología es la forma básica de cultura humana (Boero 2009) pues de la natural curiosidad del hombre y de su necesidad de controlar en lo posible el ambiente circundante debieron nacer los esfuerzos para conocer los detalles del ambiente que le rodeaba, entre ellos, de los animales. En este ambiente son fundamentales los artrópodos, que representan cerca del 70% de los organismos conocidos y más del 85% de los animales conocidos. A pesar de ello, la Entomología, como disciplina científica, tuvo un surgimiento tardío y éste es el momento en que aún nos son desconocidos muchos de sus aspectos, empezando por un catálogo completo de especies de muchos lugares y ambientes.

Dado que algunos artrópodos resultan ser organismos atractivos, algunos de ellos de extraordinaria belleza, esta disciplina no se sustrae a la actividad de los coleccionistas y aficionados a ella, considerando como estos últimos aquellos que se dedican a la Entomología por afición, no por razón profesional. Aunque el término aficionado puede entenderse, en algunos foros, como peyorativo, no lo es; es más, la labor de los aficionados es, hoy día, de gran valor dado que el entomólogo, como profesional altamente especializado, no tiene una presencia relevante en la sociedad.

Los campos que cubre la Entomología son extraordinariamente diversos. Algunos de ellos se refieren a la estrecha relación, beneficiosa o no, entre los artrópodos y los humanos, lo que constituye la Entomología aplicada. Dentro de ésta, un aspecto de singular interés es, sin duda, el cubierto por la Entomología en su aplicación a las Ciencias Forenses.

La Entomología Forense

Con tal nombre se conoce la aplicación de la Entomología a casos legales (Walker 2006). En palabras de Hall y Huntington (2010), "...es el amplio campo en que la ciencia entomológica y el sistema judicial interactúan". Típicamente, cubre tres áreas de trabajo, en las que suele haber casos en litigio: Entomología Urbana, Entomología de los Productos Almacenados y Bienes de Consumo y Entomología Médico-legal. El último de todos, también llamado médico-criminal es, tal vez, el más conocido y famoso, entre otros por recientes series de televisión, y, a menudo, monopoliza el término Entomología Forense que, así, para muchos, resulta sinónimo de la médico-legal. Sin embargo, no se debe olvidar nunca que los otros dos campos de trabajo son también Entomología Forense y que los casos relacionados con ellos están siendo cada vez más consultados.

En cualquier caso, ¿qué aporta la Entomología a los casos legales? En mi opinión, mucho, porque tiene en consideración a los animales más abundantes y diversos que existen sobre el Planeta, animales que pueblan todos los ambientes conocidos y que son, en muchos casos, tan pequeños y discretos que pasan completamente desapercibidos, por lo que constituyen evidencias difícilmente manipulables y, en consecuencia, muy fiables. Es más, si se deseara manipular la evidencia

entomológica para eliminarla o, por el contrario, introducirla en un determinado escenario forense lo más seguro es que el resultado fuere más llamativo si cabe y, por tanto, más sospechoso.

La Entomología Forense cubre muy diversos campos de aplicación entre los que, tal vez, los más conocidos y demandados, en los que esta disciplina puede alcanzar más notoriedad y protagonismo, son los relacionados con fallecimientos humanos, generalmente por causas violentas o criminales, aunque también naturales. Sin embargo, la Entomología Forense no sólo tiene aplicación a casos legales de índole criminal, sino que es aplicable a muy diversos casos de tipo civil. Sin pretender una revisión en profundidad del tema, a continuación se presentan distintas aplicaciones potenciales de la Entomología con implicaciones forenses.

Estimación del Intervalo Postmortem y Circunstancias Perimortem

Tal vez la aplicación de esta disciplina que es más demandada es la relacionada con la datación de una muerte, esto es, a la estimación del intervalo postmortem (IPM) y también, aunque con menos frecuencia, la evaluación del lugar del fallecimiento.

Para la evaluación del intervalo postmortem se pueden emplear dos “técnicas” distintas. Una de ellas considera el grado de desarrollo de la fauna artropodiana encontrada en el cadáver. Al respecto hay que tener en cuenta que, como animales ectotérmicos que son los artrópodos, dependen de las características ambientales, las térmicas en particular, para poder cumplir sus funciones fisiológicas y, en consecuencia, sus tasas de desarrollo se ven muy influenciadas por las temperaturas reinantes. De este modo, conociendo los niveles de desarrollo de los insectos presentes y las condiciones ambientales reinantes en los días transcurridos, se puede deducir cuánto tiempo ha debido mediar entre que los artrópodos accedieron al cuerpo para la ovoposición y el hallazgo de los restos, siempre que se conozcan previamente las características del desarrollo de las distintas especies. A este tiempo, naturalmente, hay que adicionar el necesario para la llegada de los artrópodos aunque se asume que, en condiciones normales, los insectos son atraídos al cadáver inmediatamente después del fallecimiento, frecuentemente en tan sólo unos minutos (Anderson y VanLaerhoven 1996, Erzincioğlu 1983, Smith 1986, entre otros).

La otra técnica de datación se basa en el conocimiento de la estructura y la dinámica de la fauna entomosarcosaprófaga del área en que se han encontrado los restos. Esta comunidad faunística, tanto en su estructura como en su dinámica (entiéndase proceso de colonización y sucesión faunística), depende en gran medida de diversos factores, entre los que la región geográfica o biogeoclimática es uno de los más importantes por definir el hábitat, la vegetación, tipo de suelo y condiciones meteorológicas (Anderson, 2010). Aunque hay grupos de artrópodos cosmopolitas, las especies concretas que se presentan en las distintas áreas no tienen por qué ser las mismas, lo que otorga singularidad a la comunidad particular de un lugar concreto. Cada una de las etapas de la descomposición de la materia animal resulta atractiva a distintos animales en función de las propias características físico-químicas que la materia animal va adquiriendo. Así, además del conocimiento general de la fauna entomosarcosaprófaga de un lugar determinado, importa conocer cómo se va modificando en relación con las fases de la descomposición. De ahí que resulte preciso conocer, de antemano, los patrones generales de esta comunidad en cada área en que quiera aplicarse la Entomología a la práctica forense (Arnaldos *et al.* 2006b). Pero, una vez cumplido ese objetivo, los resultados son satisfactorios a la hora de su aplicación (cf. p.e., Arnaldos *et al.* 2001, 2005).

A partir del conocimiento de la comunidad entomosarcosaprófaga presente en un lugar, se puede evaluar el lugar del fallecimiento a través de la simple concordancia, o discordancia, entre las faunas encontradas en el cadáver y el área circundante.

La peritación entomológica puede ser también de gran ayuda en casos relacionados con muertes súbitas, inexplicables salvo que se pueda saber que acaecieron como consecuencia un shock anafiláctico tras la picadura de algún insecto, o accidentales por despistes producidos al volante de un auto al intentar escapar del contacto con un insecto que ha penetrado en él (Hall y Huntington 2010).

Entomotoxicología

Esta emergente aplicación de la Entomología Forense tiene en cuenta los artrópodos sarcosaprófagos como especímenes toxicológicos alternativos en casos en que las fuentes toxicológicas tradicionales, como la sangre, orina o tejidos sólidos, no están disponibles o no son susceptibles de análisis (Goff y Lord 2010). El análisis de los insectos necrófagos puede aportar la información toxicológica más precisa en ciertos casos. A pesar de los esfuerzos hechos hasta ahora, queda mucho trabajo que realizar en este campo. Hasta el momento se conocen los efectos que ciertas sustancias producen en la tasa de desarrollo de determinadas especies, pero este conocimiento está lejos de ser completo y generalizado, por lo que no puede aplicarse, de modo general, a la práctica forense. A pesar de ello, el valor de los insectos necrófagos, incluso de sus exuvias y puparios, como objetos de análisis toxicológico cualitativo, está claramente comprobado. De este modo, estas evidencias se revelan como de gran interés a la hora de esclarecer las circunstancias del fallecimiento en determinados casos, por lo que juegan un papel importante en el ámbito de las Ciencias Forenses.

Identificación del culpable. ADN

En relación con casos de índole criminal, la Entomología Forense puede aplicarse con el fin de identificar al culpable de los hechos. En este caso nos encontramos de nuevo con la concordancia, o no, de ciertas especies portadas por el sospechoso y presentes, de modo específico y particular, en un determinado escenario forense en un momento dado. No hay que olvidar que los artrópodos, al menos algunos de ellos, resultan ser excelentes bioindicadores, presentes en ciertas épocas del año, ligados a ambientes particulares, a vegetales concretos, a suelos de cierta naturaleza, y su sola presencia es descriptora de un ambiente preciso.

También en relación con la identificación del culpable son dignos de mención los artrópodos hematófagos, puesto que su contenido digestivo, por contacto con material biológico de la víctima o del sospechoso, puede permitir la caracterización del ADN. No siempre es posible recoger muestras de ADN directamente de los implicados, por lo que es muy interesante poder recogerlo a partir de los insectos hematófagos obtenidos en la investigación. De hecho, se ha recogido ADN humano a partir del contenido digestivo de larvas de moscas, escarabajos, garrapatas, mosquitos y piojos (Byrd y Castner 2010).

Casos de abuso y malos tratos

En la sociedad en que vivimos por desgracia son cada vez más frecuentes los casos de maltrato, abuso y abandono de seres desvalidos, como ancianos, discapacitados y niños de corta edad. Ese

comportamiento también se aplica a mascotas y animales de compañía y, en todos los casos, es execrable y punible, por lo que es importante determinar la responsabilidad de los sospechosos. La Entomología Forense puede contribuir a esclarecer la dinámica y falta de cuidados recibidos por una persona y puede ayudar a exculpar a los cuidadores (De Pancorbo *et al.* 2006). En la literatura entomológica forense pueden encontrarse casos relacionados con todo ello (p.e. Anderson y Huitson 2004, Benecke 2010, Benecke *et al.* 2001, 2004), en los que las evidencias entomológicas, más que proveer indicativos acerca del momento de la muerte, lo que determinan es el alcance del abandono o los malos tratos.

En estos casos, de modo general, lo que se tiene en cuenta es la infestación de heridas ya existentes o la presencia en los pañales desechables, por ejemplo, de larvas de Dípteros, esto es, las miasis que, en ocasiones, llegan a hacerse seminternas (miasis uretrales, vaginales, rectales). El conocimiento de las formas preimaginales de las especies implicadas y sus tasas de desarrollo resultan clave en estos casos. En relación con ellos Benecke (2010) hace notar la relevancia de la exploración del escenario forense por parte de alguien experto a fin de localizar evidencias entomológicas y no contar, tan sólo, con las presentes en relación directa con el cuerpo, que pueden dar lugar a interpretaciones erróneas por aportar sólo información parcial.

Actuaciones en relación con fauna

La Entomología Forense a menudo tiene aplicación en casos de furtivismo relacionado con fauna protegida (cf. Walker 2006). En una sociedad especialmente preocupada por los asuntos de la biodiversidad y la conservación de especies y hábitats, la práctica del furtivismo es, cuando menos, preocupante y constituye un delito tipificado, al menos en ciertos países. El fundamento a aplicar en estos casos es, fundamentalmente, el de la estimación del IPM y, en ocasiones, el de la identificación del lugar de los hechos.

Entomología urbana y de productos almacenados

Los otros aspectos de la Entomología Forense, la Entomología urbana y la de los productos almacenados, también revisten gran interés en relación con las Ciencias Forenses. Ambos campos están muy relacionados en la práctica. Al fin y al cabo, los almacenes no son otra cosa que un medio modificado por el hombre que, por tanto, está sometido a unas condiciones ambientales particulares, distintas de las naturales. Sin embargo, el paralelismo se da más con el medio doméstico (una parte especial del medio urbano) que con el urbano en general puesto que éste engloba, entre otros, ambientes seminaturales, como los parques y jardines.

Dado el impacto económico y sanitario de los artrópodos asociados con la ganadería y explotaciones avícolas, y que la urbanización del medio se incrementa e invade el medio agrícola, este aspecto de la Entomología Forense está en franco desarrollo (Tomberlin y Talley 2010).

La Entomología urbana implica a los artrópodos presentes en edificios y estructuras humanas o ambientes modificados por el hombre. En este campo, los casos normalmente se refieren al descubrimiento del origen de una infestación. Algunos casos se refieren a apariciones masivas de determinados organismos (cucarachas, polillas,...) pero, en su mayoría, se refieren a casos ocurridos en el ambiente puramente doméstico en relación con productos adquiridos, de consumo alimenticio u otro tipo. Muchos artrópodos son atraídos a las viviendas y edificios. En la mayoría de los casos, su presencia es considerada negativa, entre otras cosas porque algunas especies pueden causar daños a causa de mordeduras o picaduras, pero también porque algunas especies viven y se alimentan de

las estructuras de madera de los edificios. Otros, que se nutren de alimentos, muchos de ellos secos, constituyen una contaminación normalmente inocua, pero pueden producir reacciones alérgicas e, incluso, transmitir patógenos (Tomberlin y Talley 2010). No es infrecuente, en absoluto, encontrarse con reclamaciones de consumidores por el encuentro fortuito de artrópodos, completos o en fragmentos, en los alimentos a consumir, generalmente, aunque no siempre, manufacturados.

La Entomología de los productos almacenados tiene que ver, entre otros, con las infestaciones en almacenes de alimentos, generalmente para determinar el momento en que esos productos han sufrido la invasión (Walker 2010), a fin de establecer las oportunas responsabilidades. La presencia de unos pocos animales, sus heces, restos de cutícula... son suficientes para inutilizar un alimento para el consumo humano, lo que puede ocasionar importantes pérdidas económicas y procesos legales (Gunn 2009).

Estos campos suelen implicar más a empresas particulares, compañías de seguros y a los propios consumidores que a las fuerzas policiales, aunque esto no resta interés forense a los casos.

Entre otros, se presentan casos a peritar en relación con alergias de tipo profesional, esto es, manifestadas por trabajadores de determinados ambientes. En estos casos es fundamental determinar la posible causa de la alergia, que resulta incapacitante y, por tanto, tiene repercusiones en cuanto que se pueden reclamar prestaciones por incapacidad o cambio de puesto de trabajo. Y lo cierto es que, en casos en que el trabajador ejerce sus funciones en industrias agroalimentarias, farmacéuticas o panificadoras (p.e. Pajarón Fernández *et al.* 2004), donde se trabaja con animales o en contacto, involuntario, con ellos, la intervención de un entomólogo que ayude a identificar posibles agentes alergénicos es importante.

Otra de las aplicaciones de esta disciplina en relación con productos almacenados tiene que ver con la determinación del origen geográfico de estupefacientes cuando los alijos intervenidos contienen elementos no manufacturados que pueden ir acompañados de evidencias entomológicas. En estos casos, un apropiado conocimiento de la fauna implicada y su distribución geográfica puede dar pistas inequívocas del origen geográfico de la materia prima intervenida.

Importancia médica

Los artrópodos pueden afectar negativamente la salud humana causando efectos directos no alérgicos, como picaduras o mordeduras, o infestación (miasis), necrosis o efectos neurológicos. Además, producen efectos indirectos, como la transmisión de enfermedades y reacciones alérgicas diversas (Goddard 2007). Alguno de estos motivos puede ser origen de alguna reclamación que llegue a ser objeto de procedimiento legal, por lo que cualquiera de los animales potencialmente causantes de los daños comentados es, entonces, de importancia forense. Además, algunas personas sufren parasitosis ilusorias y están convencidos de estar infestados de artrópodos. En realidad, se trata de un desorden emocional, denominado también parasitosis psicogénica y síndrome de Ekborn (cf. Tomberlin y Talley 2010), en la mayoría de los casos una psicosis hipocondríaca monosintomática en la que no se presentan otros desórdenes y que no es el resultado de otra enfermedad psiquiátrica (Goddard 2007). Relacionados con la parasitosis ilusoria están otras reacciones anormales, como la entomofobia o las dermatitis de los despachos, aunque no son el mismo caso. El estudio detallado de las evidencias aportadas por los individuos

“infestados”, o del ambiente de trabajo, aportará conclusiones acerca de la presencia, o no, de los artrópodos causantes de las lesiones, y se podrá proceder, en su caso, al correcto tratamiento de las patologías.

La taxonomía - crucial

De todo lo antedicho se desprende, o así debería, la absoluta necesidad de reconocer las especies precisas implicadas en cada caso. Aunque, incluso a escala política, se han hecho esfuerzos para el conocimiento de la biodiversidad mundial, y se reconoce la necesidad de conocer y nombrar las especies existentes, la Taxonomía, disciplina encargada de esa misión, ha caído, inexplicablemente, en franco desprestigio. Éste no ha sido sino el resultado de unas políticas científicas que, en los últimos tiempos, se fundamentan en ciertos indicadores “objetivos” (léase índice de impacto del Institute for Scientific Information) que ignoran, de modo general, las publicaciones dedicadas a la taxonomía, al menos a la taxonomía tradicional (Boero 2010). La consecuencia está siendo un abandono en tropel de las prácticas taxonómicas tradicionales en beneficio de otros tipos de estudios que renten más ventajas y beneficios a los autores aunque, probablemente, sean de menor vida media científica y menor generación de conocimiento.

La Taxonomía está en la base del conocimiento científico en lo que se refiere a la Biología. Incluso en relación con disciplinas biológicas más tecnificadas (Bioquímica, Genética, Fisiología...) la Taxonomía resulta fundamental. Por ejemplo, existen bases de datos, como Gene Bank, que pueden contener secuencias adscritas a taxones identificados erróneamente (Boero 2009). Incluso, para determinar si la base de datos de referencia es adecuada para una determinada investigación, hace falta el concurso de un conocimiento especializado de las especies implicadas ((Wells y Stevens 2010). Así, el reconocimiento de las especies, el estudio de los fenotipos (Boero 2009), continúa siendo fundamental en todos los niveles del conocimiento de la biodiversidad.

Entiendo que éste es un momento adecuado para reivindicar el trabajo de los taxónomos cara a su reconocimiento científico y público. Sin una base taxonómica no existe ningún trabajo aplicado que se fundamente en especies. Y no se debe pensar que el conocimiento existente hasta el momento es suficiente. Como Boero (2009, 2010) señala, se conocen y han recibido nombre, hasta ahora, unos 2 millones de especies, pero debe haber hasta unos 10 ó 15 millones de ellas, que hay que conocer y, está claro, nombrar.

En el caso de la Entomología Forense, el problema taxonómico es de enorme importancia. A nadie puede escapársele que no tiene por qué ser aplicable a una especie la información relativa a otra, ni siquiera aunque pertenezcan a la misma familia, o al mismo género. En la familia Calliphoridae (Insecta, Diptera) pueden encontrarse ejemplos sencillos de esto. En el sureste de la Península Ibérica varias especies de esta familia se asocian con restos animales en descomposición; algunas de ellas pertenecen a las llamadas “moscas verdes” pero, aunque comparten aspecto general, tienen comportamientos bien distintos. *Phaenicia sericata* (Meigen, 1826) es propia de la época primaveral, cuando domina la comunidad sarcosaprófaga, mientras que *Chrysomya albiceps* (Wiedemann, 1819) es más abundante en la etapa final del verano, dominando claramente la comunidad durante el otoño (Arnaldos *et al.* 2001). Sin embargo, en otros lugares de la propia Península Ibérica el panorama es bien distinto, apareciendo una comunidad de Dípteros sarcosaprófagos bien distinta a la antes comentada. Por ejemplo, en Portugal, *Ph. sericata* está lejos de ser especie dominante en ningún momento del año (Prado e Castro *et al.* 2010). Pero, lejos de ser éste el único aspecto que les diferencia, y que puede ser determinante en la evaluación de un IPM, ambas especies se diferencian

en su comportamiento larvario; mientras que *Ph. sericata* consume tejidos en descomposición, *Ch. albiceps* tiene un comportamiento depredador e, incluso, caníbal durante su desarrollo larvario (Del Bianco Faria *et al.* 1999, Grassberger *et al.* 2003). Teniendo esto en cuenta, no creo que fuera recomendable emplear esta especie en miasis terapéuticas, por ejemplo. Otro caso que ejemplifica lo anterior se refiere a dos especies del género *Calliphora*, *Calliphora vicina* Robineau-Desvoidy 1830 y *Calliphora vomitoria* (Linnaeus, 1758). Estas especies presentan requerimientos ambientales distintos; en medios urbanos o suburbanos la especie presente es *C. vicina* y en ambientes silvestres se pueden presentar las dos, con un cierto desfase en los momentos de colonización de un cadáver, siendo la primera en aparecer *C. vicina* y menos abundante *C. vomitoria* (Greenberg 1971; Smith 1986). Siendo lo anterior comúnmente conocido y aceptado, datos recientes indican que, en un medio urbano de Portugal central (Coimbra), la circunstancia es distinta; las dos especies conviven y *C. vomitoria* es la más abundante (Prado e Castro *et al.*, en prensa).

A efectos forenses la trascendencia de la correcta identificación de las evidencias entomológicas es obvia. Desde el momento en que una peritación pivota sobre la presencia de un conjunto de especies, o sobre el grado de desarrollo de algunas de ellas, la identificación específica debe ser, ineludiblemente, exacta. Una imprecisión o error en la identificación puede llevar a una conclusión absolutamente errónea y que puede acarrear consecuencias dramáticas para una persona (el sospechoso) o entidad (empresa presuntamente responsable de una infestación). Ésta es una perspectiva que siempre ha de tenerse presente.

En los equipos forenses intervienen profesionales muy diversos que, en su mayoría, son ajenos a la Taxonomía. Por este motivo, y dado que en los casos forenses se trata, muy frecuentemente, con estados preimaginales de insectos, de muy difícil identificación a través de caracteres morfológicos, se están invirtiendo esfuerzos en establecer métodos de taxonomía molecular que permitan una identificación fiable de cualquier evidencia entomológica aun sin el concurso del experto entomólogo. Este empeño es muy loable pero, como se apuntó antes, las bases de datos de este tipo deben construirse sobre la más absoluta certeza de la identidad del material original y esto, hasta el momento, sólo puede hacerse a partir del estudio de la morfología y anatomía de los ejemplares, esto es, de su fenotipo, por parte de un experto taxónomo. De nuevo, la taxonomía tradicional se muestra fundamental.

Ahora, que parece que países adelantados, que, en su momento, prescindieron de los taxónomos, están intentando rescatarlos por haberse dado cuenta de la trascendencia de su labor (cf. Boero 2010) es el momento de no ir a la zaga de ellos y, siquiera por una vez, tomar un atajo y adelantarles, evitando ese camino de ida y vuelta que implicaría la pérdida de los taxónomos para volverlos a recrear. Tengamos presente que un taxónomo no se improvisa; la mayoría de los casos son el resultado de toda una vida de estudio especializado. Aprovechemos a los que aún tenemos.

Necesidad de formación específica

El problema de la Entomología Forense (de la Entomología en sí misma) es su propia virtud: trata de los organismos más abundantes y diversos que existen. Esto implica la necesidad de un conocimiento difícilmente abarcable por un único investigador, pues no sólo debe ser capaz de identificar cualquier tipo de evidencia entomológica sino que debe tener conocimientos altamente especializados acerca de su bionomía (o biología en sentido amplio). A nadie se le oculta que esto no es posible y que esta especialidad requiere, como las propias Ciencias Forenses, el trabajo en

equipo. En este punto, se debe considerar el problema de la formación del entomólogo forense y, cómo no, la necesidad de interrelación entre universidades, centros de investigación y otras instituciones para dar respuesta práctica al problema planteado. Así, la formación se puede estructurar en tres niveles (Luna Maldonado & García García, 2006): a) formación básica (dirigida a otros especialistas y como requisito previo a la formación especializada), b) formación especializada para la capacitación de los especialistas en Entomología Forense y c) formación especializada para la capacitación específica en campos muy concretos para especialistas previamente formados.

En el ámbito de la Entomología Forense existe gran preocupación por los aspectos metodológicos y de procedimiento a aplicar y su estandarización, a fin de que los resultados obtenidos sean contrastables por otros investigadores y no exista asomo de duda sobre su validez a la hora de ser admitidos ante un tribunal de justicia (Arnaldos *et al.* 2006a).

Teniendo en cuenta que el entomólogo forense no suele participar en los equipos policiales de investigación y, por tanto, no puede personarse en el lugar de los hechos para proceder a la recogida de evidencias, parece urgente capacitar a los miembros de los cuerpos y fuerzas de seguridad en estos menesteres, de modo que la eventual recogida de evidencias se realice en las condiciones y con los métodos y procedimientos adecuados para garantizar un estudio solvente por parte del entomólogo especialista. El empleo de la Entomología tras el descubrimiento de un cuerpo debe ser sistemático, lo mismo que un muestreo balístico o la búsqueda de huellas dactilares, tanto más cuanto que se trata de indicios vivos que cambian con el paso del tiempo (Pasquerault *et al.* 2006). A modo de ejemplo, se ha de comentar que la Gendarmería francesa (Institute de la Recherche Criminelle de la Gendarmerie Nationale, en París), es una de las pocas instituciones policiales que cuenta con un equipo completo y un laboratorio operativo (Benecke, 2008) de Entomología Forense, que ha sistematizado el método de recogida de evidencias entomológicas (cf. Pasquerault *et al.* 2006). Éste es un empeño que, al menos en ciertos lugares (y Bogotá es uno de ellos), se está tratando de resolver, y existen protocolos establecidos para la actuación de los efectivos policiales en estos casos, además de disponer de una unidad específica de Entomología Forense.

Otro tanto hay que hacer en relación con los efectivos médicos implicados en los procedimientos de autopsia. En muchos casos, las evidencias entomológicas encontradas durante estos procedimientos son ignoradas y eliminadas, con lo que se pierde una importante fuente de información (en cantidad y en calidad) de posible trascendencia para el desarrollo y resolución del caso. También, por suerte, existen médicos muy sensibilizados con las cuestiones relativas a las Ciencias Forenses como conjunto, conscientes de la imposibilidad de conocer todo de todos los campos potencialmente implicados. Éstos tratan de formar escuela y establecer cooperación con otros grupos científicos o técnicos, pero aún queda mucho camino por andar hasta lograr que la recogida de evidencias entomológicas durante el procedimiento de autopsia sea una rutina más, como la recogida de contenido estomacal, por ejemplo, y la pericia entomológica forme parte habitual del proceso.

Se han hecho diversos intentos para normalizar los procedimientos en relación con la recogida y tratamiento de evidencias entomológicas en diversas partes del mundo. A modo de ejemplo, cabe citar la obra de Catts y Haskell (1990) o la, más reciente, de Amendt *et al.* (2007), que tratan de fomentar un alto nivel de competencia en la disciplina.

Es innegable, por otra parte, que los científicos forenses generales deben tener conocimientos de las distintas disciplinas aplicables y, además de sus procedimientos, al menos, de sus fundamentos

científicos. Así, y como preámbulo de una formación especializada, todos los científicos forenses deben adquirir formación en Entomología Forense, como una ciencia forense más. Aquellos que deseen una formación específica en esa disciplina, o deseen una capacitación específica en campos muy concretos de su aplicación, deben disponer de vías y programas formativos adecuados. En cada país, los sistemas educativos proveen de elementos para lograr esta formación (cursos de especialización, másteres, doctorados...). Tan sólo hay que lograr que la Entomología Forense, igual que otras ciencias, esté presente en el entramado formativo.

Conclusión

De todo lo anterior se desprende la aplicabilidad que la Entomología tiene en casos forenses de muy distinta índole, por lo que debe ser considerada al mismo nivel que otras disciplinas forenses y no sólo como disciplina auxiliar y facultativa.

Dado que la investigación forense normalmente implica la coordinación de un esfuerzo multidisciplinar, que implica la participación de distintos profesionales (investigadores, magistrados y científicos) sólo la cooperación entre ellos puede llevar a una comprensión global de las evidencias recogidas en un caso concreto.

Por ello, se debe hacer un esfuerzo importante y constante en materia de comunicación entre investigadores y magistrados para informar de las posibilidades y los límites del método (Pasquerault *et al.* 2006). Además, y paralelamente, se debe realizar una labor formativa, en distintos niveles de profundización y especialización, para proveer de personal suficientemente capacitado en todas y cada una de las etapas de aplicación, de modo que se alcance un nivel de competencia y calidad que asegure la validez de las evidencias recogidas y procesadas y, posteriormente, estudiadas, a partir de las cuales se obtengan unas conclusiones admisibles por cualquier tribunal de justicia.

En el campo de la Entomología Forense, la Taxonomía resulta una disciplina fundamental que debe ser alentada e impulsada para garantizar la correcta identificación de las evidencias y el alcance de conclusiones válidas y fiables. Sin una base sólida (la Taxonomía) la construcción de las conclusiones puede derrumbarse.

Referencias

- AMENDT, J.; CAMPOBASSO, C.P.; GAUDRY, E.; REITER, C.; LeBLANC, H.; HALL, M.J.R. 2007. Best practice in forensic entomology-standards and guidelines. *International Journal of Legal Medicine* 121: 90-104.
- ANDERSON, G.S. 2010. Factors that influence insect succession on carrion. En: Byrd, J.H. y Castner, J.L. (Eds.). *Forensic Entomology. The utility of arthropods in legal investigations*. CRC Press, Boca Raton. Pp: 201-250.
- ANDERSON, G.S.; HUITSON, N.R. 2004. Myiasis in pet animals in British Columbia : The potential of forensic entomology for determining duration of possible neglect. *Canadian Veterinary Journal* 45: 993-998.
- ANDERSON, G.S.; VANLAERHOVEN, S.L. 1996. Initial studies on insect succession on carrion in southwestern British Columbia. *Journal of Forensic Sciences* 41: 617-625.

- ARNALDOS, I.; GARCÍA, M.D.; ROMERA, E.; PRESA, J.J.; LUNA, A. 2005. Estimation of postmortem interval in real cases on the basis of experimentally obtained entomological evidence. *Forensic Science International* 149: 57-65.
- ARNALDOS, M.I.; LUNA, A.; PRESA, J.J.; LÓPEZ-GALLEGO, E.; GARCÍA, M.D. 2006a. Entomología Forense en España: hacia una buena práctica profesional. *Ciencia Forense* 8: 17-38.
- ARNALDOS, M.I.; PRADO E CASTRO, C.; PRESA, J.J.; LÓPEZ-GALLEGO, E.; GARCÍA, M.D. 2006b. Importancia de los estudios regionales de fauna sarcosaprófaga. Aplicación a la práctica forense. *Ciencia Forense* 8: 63-81.
- ARNALDOS, I.; ROMERA, E.; GARCÍA, M.D.; LUNA, A. 2001. An initial study on the succession of sarcosaprophagous Diptera (Insecta) on carrion in the southeastern Iberian peninsula. *International Journal of Legal Medicine* 114: 156-162.
- BENECKE, M. 2008. A brief survey of the history of forensic entomology. *Acta Biologica Benrodis* 14: 15-38.
- BENECKE, M. 2010. Cases of neglect involving entomological evidence. . En: Byrd, J.H. y Castner, J.L. (Eds.). *Forensic Entomology. The utility of arthropods in legal investigations*. CRC Press, Boca Raton. Pp: 627-635.
- BENECKE, M., JOSEPHI, E.; ZWEIHOFF, R. 2004. Neglect of the elderly: forensic entomology cases and considerations. *Forensic Science International* 146S: S195S199.
- BENECKE, M.; LESSING, R. 2001. Child neglect and forensic entomology. *Forensic Science International* 120: 155-159.
- BOERO, F. 2009. Zoology in the era of biodiversity. *Italian Journal of Zoology* 76 (3): 239.
- BOERO, F. 2010. The study of species in the era of biodiversity: a tale of stupidity. *Diversity* 2: 115-126.
- BYRD, J.H.; CASTNER, J.L. 2010. Insects of forensic importance. En: Byrd, J.H. y Castner, J.L. (Eds.). *Forensic Entomology. The utility of arthropods in legal investigations*. CRC Press, Boca Raton. Pp: 39-126.
- CATTS, E.P.; HASKELL, N.H. (Eds.) 1990. *Entomology & Death: a procedural guide*. Joyce's Print Shop, Inc. Clemson, South Carolina. 182 p.
- DE PANCORBO, M.M.; RAMOS, R.; SALOÑA, M.; SÁNCHEZ, P. 2006. Entomología molecular forense. *Ciencia Forense* 8: 107-130.
- DEL BIANCO FARIA, L.; ORSI, L. TRINCA, L.A.; GODOY, W.A.C. 1999. Larval predation by *Chrysomya albiceps* on *Cochliomyia macellaria*, *Chrysomya megacephala* and *Chrysomya putoria*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 90: 149-155.
- ERZINCIOGLU Y.Z. 1983. The application of entomology to forensic medicine. *Medicine, Science and the Law* 23: 57-63.
- GODDARD, J. 2007. *Physicians's guide to arthropods of medical importance*. Fifth edition. CRC Press. Boca Raton. 457 pp.
- GOFF, M.L.; LORD, W.D. 2010. Entomotoxicology. Insects as toxicological indicators and the impact of drugs and toxins on insect development. En: Byrd, J.H. y Castner, J.L. (Eds.). *Forensic Entomology. The utility of arthropods in legal investigations*. CRC Press, Boca Raton. Pp: 427-436.
- GRASSBERGER, M.; FRIEDRICH, E.; REITER, C. 2003. The blowfly *Chrysomya albiceps* (Wiedemann) (Diptera: Calliphoridae) as a new forensic indicator in Central Europe. *International Journal of Legal Medicine* 117: 75-81.
- GREENBERG, B. 1971. *Flies and Disease, Volume I: Ecology, Classification and Biotic Associations*. Princeton University Press, New Jersey.
- GUNN, A. 2009. *Essential Forensic Biology*. Second edition. Wiley-Blackwell. Chichester. 424 pp.

- HALL, R.D.; HUNTINGTON, T.E. 2010. Introduction: perceptions and status of Forensic Entomology. En: Byrd, J.H. y Castner, J.L. (Eds.). *Forensic Entomology. The utility of arthropods in legal investigations*. CRC Press, Boca Raton. Pp: 1-16
- KIELY, T.F. 2005. Forensic Evidence. En: James, S.H. y Nordby, J.J. *Forensic Science. An Introduction to Scientific and Investigative Techniques*. Second Edition. CRC Press, Boca Raton. Pp: 649-666.
- LUNA MALDONADO, A.; GARCÍA GARCÍA, M.D. 2006. La enseñanza de la Entomología Forense. La realidad española. *Ciencia Forense* 8: 11-16.
- PAJARÓN FERNÁNDEZ, M.J.; GARCÍA GARCÍA, M.D.; PALACIO GAVIRIA, M.P.; BARTOLOMÉ ZAVALA, B.; JOVER CERDÁ, V.; SÁNCHEZ GASCÓN, F. 2004. Alergia ocupacional por monosensibilización a *Tribolium confusum*. *Alergología e Inmunología Clínica* 19, 2: 121-124.
- PASQUERAULT, Th.; VINCENT, B.; DOUREL, I.; CHAUVET, B.; GAUDRY, E. 2006. Los muestreos entomológicos: de la escena del crimen a la peritación. *Ciencia Forense* 8: 39-56.
- PRADO E CASTRO, C.; ARNALDOS, M.I.; GARCÍA, M.D. 2010. Additions to the Calliphoridae (Diptera) fauna from Portugal, with description of new records. *Boletín de la Asociación española de Entomología* 33 (3-4) (2009): 425-437.
- PRADO E CASTRO, C.; SOUSA, J.P.; ARNALDOS, M.I.; GASPAR, J.; GARCÍA, M.D. (en prensa). Blowfly (Diptera: Calliphoridae) species composition and community structure in sun exposed and shaded pig carrion in Portugal. *Annales de la Société Entomologique de France*.
- SMITH, K.G.V. 1986. *A manual of forensic entomology*. Trustees of the British Museum (Natural History). London. 205 pp.
- TOMBERLIN, J.K.; TALLEY, J. 2010. Livestock entomology. En: Byrd, J.H. y Castner, J.L. (Eds.). *Forensic Entomology. The utility of arthropods in legal investigations*. CRC Press, Boca Raton. Pp: 477-491.
- WALKER, M. 2006. *Entomology and Palynology. Evidence from the Natural World*. Mason Crest Publishers. 112 pp.
- WELLS, J.D.; STEVENS, J.R. 2010. Molecular methods for Forensic Entomology. En: Byrd, J.H. y Castner, J.L. (Eds.). *Forensic Entomology. The utility of arthropods in legal investigations*. CRC Press, Boca Raton. Pp: 437-452.

Ecología química nas relações tritróficas planta-praga-inimigo natural

Chemical ecology in tritrophic interactions plant-pest-natural enemy

José Maurício Simões Bento e Cristiane Nardi

PhD, Universidade de São Paulo – USP, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ, Lab. Ecologia Química e Comportamento de Insetos, 13418-900 Piracicaba SP. Brasil, jmsbento@esalq.usp.br

Para os insetos, a percepção de sinais químicos a longa distância é de extrema importância no processo de localização hospedeira, uma vez que esses sinais podem proporcionar informações precisas sobre o hospedeiro, como a sua localização, o estágio de desenvolvimento e a condição fisiológica. Assim, a eficiência em responder a tais sinais é um fator adaptativo importante, pois além de proporcionar o acesso ao alimento e o suprimento das necessidades nutricionais, pode significar o encontro de um sítio de acasalamento, oviposição e sobrevivência de sua progênie (Dicke 2000; Bede *et al.* 2007).

Os sinais químicos utilizados pelos insetos são divididos em dois grupos: os aleloquímicos, que compreendem as substâncias envolvidas na comunicação interespecífica, e os feromônios, que agem como sinais intraespecíficos. Os aleloquímicos atuam no processo de busca pelo alimento, tanto para fitófagos, quanto para zoófagos, uma vez que são utilizados para localizar os organismos de níveis tróficos inferiores. Tais compostos podem agir como alomônios, cairomônios, sinomônios ou apneumônios, dependendo dos organismos que emitem e recebem os sinais (Nordlund and Lewis 1976; Dicke and Sabelis 1988). Os feromônios, por sua vez, também podem exercer importante função na busca hospedeira, agindo como marcadores de trilha em direção a uma fonte alimentar, como um estímulo a agregação ou como atraentes sexuais, facilitando o encontro de parceiros em locais propícios para acasalamento e oviposição (Nordlund and Lewis 1976). Adicionalmente, os feromônios podem agir de maneira associada aos aleloquímicos (ex. ação sinérgica de feromônios de agregação e compostos da planta hospedeira) ou terem sua emissão influenciada pelos aleloquímicos (ex. produção de feromônios de agregação somente na presença da planta hospedeira) (Landolt and Phillips 1997; Reddy and Guerrero 2004).

As pesquisas que envolvem feromônios já estão consolidadas e incluem a comercialização de inúmeros compostos sintéticos para o manejo de diversas espécies em todo o mundo. Nas últimas décadas, diversos estudos têm sido realizados acerca dos efeitos de aleloquímicos voláteis de plantas sobre insetos herbívoros, predadores e parasitóides. Além disso, o interesse dos pesquisadores vem crescendo, tanto no âmbito ecológico quanto em relação às novas perspectivas geradas para o manejo de insetos na agricultura (Karban and Baldwin 1997; Arab and Bento 2006; Turlings and Ton 2006; Cook *et al.* 2007).

Neste capítulo serão discutidas as interações tróficas mediadas pelos sinais químicos voláteis e o seu papel no processo de busca hospedeira por insetos. Inicialmente, serão abordados o mecanismo de recepção dos sinais químicos pelos insetos e os processos de orientação destes em direção aos organismos hospedeiros. Posteriormente, será discutida a influência dos componentes voláteis na busca hospedeira de insetos no contexto das interações de plantas e herbívoros, bem como das relações tritróficas e multitróficas envolvendo os inimigos naturais.

1. O mecanismo de busca hospedeira em insetos

A localização de um hospedeiro nutricionalmente adequado pelos insetos requer um sofisticado mecanismo de detecção dos sinais presentes no ambiente, incluindo os estímulos visuais, sonoros, táteis e olfativos (Chapmann 1998; Visser 1986).

Considerando-se que, em longas distâncias, o custo energético para locomoção e procura do alimento é elevado, a habilidade e eficiência do inseto em reconhecer os sinais de seu hospedeiro são determinantes para o sucesso da localização (Dicke 2000; Bede *et al.* 2007). Os compostos químicos voláteis (estímulos olfativos) adquirem importância significativa, por possuírem alta capacidade de transmissão e durabilidade no ambiente, sendo específicos e precisamente detectados pelos receptores dos insetos (Thornhill and Alcock 1983; Greenfield 2002).

Embora o processo de busca hospedeira possa variar com a espécie, hábitos do inseto e conjunto de sinais disponíveis, geralmente ocorrem seqüências comportamentais bem definidas. Estas se iniciam com a dispersão ao acaso e localização em longas distâncias, seguindo-se do reconhecimento, seleção e aceitação/rejeição do hospedeiro após o contato direto (Bernays and Chapmann 1994; Schoonhoven *et al.* 2005). Para tais atividades, os insetos realizam movimentos não-direcionados (cineses), que ocorrem até que se estabeleça o primeiro contato com os estímulos do hospedeiro, após o qual se iniciam os movimentos mais precisos e orientados (taxias) em direção ao alimento. Nesta etapa, as moléculas químicas provenientes do hospedeiro estão dispersas no ar em forma de plumas de odor e, uma vez em contato com as sensilas das antenas, são absorvidas e acopladas a receptores neuro-sensoriais específicos.

Diante dos estímulos recebidos, os insetos podem responder por quimiotaxia (orientação baseada nas alterações de concentração dos compostos químicos) e anemotaxia (manutenção de um ângulo constante com a fonte de odor pela ação do vento) (Chapmann 1998; Greenfield 2002). Em geral, a locomoção é baseada na clinotaxia e na tropotaxia, que permitem ao inseto localizar a fonte de odor a partir das diferenças temporais e/ou quantitativas em que os sinais são recebidos pelas sensilas de ambas as antenas (Marsh *et al.* 1978; Bell *et al.* 1994; Schoonhoven *et al.* 2005).

Após se aproximar do hospedeiro, o inseto passa a reconhecer e responder, principalmente, aos gradientes de concentração dos sinais químicos até que ocorra, finalmente, o contato direto. Nesta etapa, a seqüência de comportamentos pode ser afetada pelas características físicas e químicas do hospedeiro. Então, pelo comportamento exploratório, se dá a avaliação por meio de locomoção e contato superficial das antenas, tarsos, aparelho bucal e/ou ovipositor, antes da aceitação/rejeição do hospedeiro (Waldbauer and Friedman 1991; Schoonhoven *et al.* 2005).

De maneira geral, os sinais químicos podem apresentar influência diferenciada sobre o comportamento de busca em insetos, dependendo da sua complexidade estrutural, do hábito de dispersão dos organismos envolvidos e da forma como o sinal é disponibilizado e recebido. Entretanto, sabe-se que os infoquímicos podem desencadear interações com alto grau de refinamento e especificidade (Rhoades 1979; Karban and Baldwin 1997; De Moraes *et al.* 1998, 2001; Turlings *et al.* 1990).

2. Interações tróficas mediadas por infoquímicos

Os ecossistemas consistem de complexas relações tróficas entre plantas, herbívoros e demais organismos da cadeia trófica. Como seres do primeiro nível trófico, as plantas representam uma importante fonte de recursos nutricionais para um grande número de consumidores, entre eles os insetos. Entretanto, a herbivoria pode ser evitada ou reduzida a partir de diversos mecanismos de defesa presentes nas plantas, incluindo a produção de substâncias do metabolismo secundário (SMS). Entre o amplo complexo de SMS produzidas nas plantas, os compostos voláteis são importantes por influenciar o comportamento de busca hospedeira em insetos, que se adaptaram, ao longo do processo evolutivo, a identificar e utilizar tais componentes em seu benefício (Rhoades 1979).

Os voláteis de plantas podem ser agrupados em: compostos constitutivos, produzidos e liberados constantemente pelas plantas, e compostos induzidos, sintetizados somente após a ação de herbívoros (alimentação ou oviposição) (Karban and Baldwin 1997). Esses compostos podem ser utilizados por herbívoros como sinais para localização da planta hospedeira, reconhecimento de sua condição nutricional, associação com insetos coespecíficos, competidores ou inimigos naturais (Bernasconi *et al.* 1998; Dicke and van Loon 2000; De Moraes *et al.* 2001; Randlkofer *et al.* 2007). Além disso, organismos dos demais níveis tróficos também podem reconhecer os sinais químicos emitidos pelas plantas, orientando-se para aquelas que disponibilizam recursos alimentares (néctar e pólen) e abrigo, bem como para plantas que sinalizam a presença de herbívoros, pelos voláteis induzidos (Karban and Baldwin 1997).

Diversos estudos têm documentado que os voláteis de plantas são recursos importantes para a busca hospedeira de insetos herbívoros, predadores e parasitóides. Esses compostos têm sido apontados como mediadores de interações bitróficas, tritróficas ou multitróficas, dependendo do contexto ecológico em que tais interações são analisadas (Vet and Dicke 1992; Soler *et al.* 2007).

3. Interações planta-herbívoro

As SMS de plantas representam um importante componente para sua defesa direta contra os herbívoros, sendo representadas por substâncias tóxicas, repelentes ou deterrentes. Ao longo do tempo, entretanto, os insetos passaram por adaptações que os permitem ultrapassar essas barreiras e explorar tais compostos, incrementando seu sucesso adaptativo (Rhoades 1979). Nesse contexto, o reconhecimento dos voláteis de plantas é significativamente importante, pois pode determinar o sucesso da busca hospedeira, além de evitar o contato com plantas não adequadas às suas exigências. Tais mecanismos para a busca hospedeira por herbívoros podem ocorrer em resposta aos voláteis constitutivos ou induzidos, dependendo das interações envolvidas e dos sinais disponíveis no ambiente.

3.1. Os voláteis constitutivos e as interações planta-herbívoro

Dentre os voláteis constitutivos de plantas, estão aqueles que possuem ação negativa (repelentes) contra algumas espécies de insetos e aqueles que atuam como sinais da presença de recursos nutricionais (atrativos) para filófagos, frugívoros, polinívoros, etc.

Para os insetos herbívoros, a identificação dos sinais químicos da planta hospedeira pode ocorrer baseada em compostos isolados ou em misturas com proporções particulares de diferentes compostos comuns a vários grupos de plantas. De acordo com Bruce *et al.* (2005), o reconhecimento

de tal mistura de voláteis é mais comum, pois proporções específicas de diversos compostos são reconhecidas de forma mais eficiente.

A relação específica entre um único composto químico e a atratividade de um inseto herbívoro foi demonstrada para *Brevicorne brassicae* L. (Hemiptera: Aphididae) e *Ceutorhynchus assimilis* Paykull (Coleoptera: Curculionidae), os quais utilizam exclusivamente isotiocianatos de Brassicaceae para localização dessas plantas (Nottingham *et al.*, 1991; Blight *et al.*, 1995). Por sua vez, uma mistura de três componentes de pessegueiro ((Z)-acetato-3-hexen-1-ila; (Z)-3-hexen-1-ol; benzaldeído) em proporção de 4:1:1 foi atrativa para fêmeas de *Cydia molesta* (Busck) (Lepidoptera: Tortricidae), enquanto que os compostos testados individualmente, ou em outras proporções, não apresentaram tal atividade (Natale *et al.* 2003).

Em muitos casos, as plantas produzem compostos tóxicos que podem afetar a biologia e/ou causar a morte de insetos herbívoros generalistas. Entretanto, tais plantas são inofensivas para insetos especialistas, uma vez que estes possuem mecanismos de desintoxicação ou seqüestro das toxinas, podendo utilizá-las para sua própria defesa ou para a síntese de feromônios (Hartmann 1999; Nishida 2002). Assim, reconhecendo os voláteis constitutivos emitidos por essas plantas, os insetos especialistas direcionam-se a elas e alimentam-se sem sofrer os danos que um inseto generalista sofreria.

Para *Tyria jacobaeae* L. (Lepidoptera: Arctiidae), por exemplo, ocorre o reconhecimento e direcionamento aos voláteis de *Senecio jacobea* L. (Asteraceae), que possui em seus tecidos, os alcalóides pirrolizidínicos, recursos alimentares importantes para a defesa do herbívoro contra inimigos naturais (van Dam *et al.* 1995; Hägele and Rowell-Rahier 1999). Da mesma forma, os adultos de *Cisseps fulvicollis* Hubner (Lepidoptera: Arctiidae) são atraídos por voláteis de plantas que contém alcalóides pirrolizidínicos nos seus tecidos e, a partir da alimentação, seqüestram tais compostos e os utilizam como precursores bioquímicos de feromônios (Hartmann and Ober 2000).

Para herbívoros generalistas e menos adaptados aos compostos tóxicos de plantas, a eficiência em reconhecer e evitar os mesmos é extremamente importante para sua sobrevivência. Os voláteis de plantas podem agir como alomônios, indicando a presença de substâncias inadequadas a sua sobrevivência ou reprodução. Como exemplo, os isotiocianatos emitidos por Brassicaceae são altamente repelentes aos afídeos *Phorodon humuli* (Schrank) e *Aphis fabae* Scopoli (Hemiptera: Aphididae), que não utilizam essas plantas como hospedeiras (Nottingham *et al.* 1991). Sobre esse aspecto, e considerando-se o significativo efeito repelente de algumas plantas, a sua utilização em áreas agrícolas tem sido apontada como forma de evitar a presença de diversos insetos-praga. Nesse sentido, estudos recentes têm demonstrado que *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae), uma importante praga de citros, é repelida por voláteis de goiabeira (Noronha and Bento 2008).

Dentre os compostos constitutivos de plantas, os voláteis de flores e nectários extraflorais também podem exercer influencia sobre a busca hospedeira, uma vez que indicam a presença de recursos nutricionais importantes para o incremento da longevidade e potencial reprodutivo de insetos (Wäckers *et al.* 2007). Diversos estudos têm sido realizados para caracterizar as interações de plantas, herbívoros e inimigos naturais, mediadas pela presença de pólen, néctar floral e extrafloral em plantas (Wäckers and Wunderlin 1999; Heil *et al.* 2001).

3.2 Os voláteis induzidos e as interações planta-herbívoro

A indução de voláteis pelos herbívoros

Em resposta à herbivoria ou à oviposição de insetos, as plantas liberam compostos voláteis, quantitativa e qualitativamente diferentes daqueles liberados na ausência do dano (Karban and Baldwin 1997). Essas respostas induzidas pelos insetos podem resultar na liberação de compostos no local danificado ou na emissão sistêmica, nas quais as substâncias indutoras são transportadas via floema, alterando a produção e emissão de compostos em tecidos de toda a planta (McKey 1979; Karban and Baldwin 1997; Dicke and van Loon 2000; Turlings and Wäckers 2004).

Os voláteis induzidos de plantas incluem alcoóis de seis carbonos, monoterpenos, sesquiterpenos e outros compostos derivados de processos bioquímicos complexos. Embora alguns desses compostos sejam comuns a várias espécies de plantas, o conjunto de substâncias liberadas pode variar em termos de características genótípicas, idade, tecido da planta, mecanismos de indução, espécie de herbívoro, entre outros (Turlings *et al.* 1998; Ferry *et al.* 2004).

A indução ocasionada pelos herbívoros tem sido amplamente estudada nos últimos anos e os processos bioquímicos envolvidos já foram elucidados para vários sistemas planta-inseto (Turlings *et al.* 1990; Paré and Tumlinson 1997). De acordo com tais estudos, os processos bioquímicos que desencadeiam a indução são variáveis e dependem dos organismos envolvidos na interação, podendo ocorrer um considerável grau de especificidade entre plantas e herbívoros. Assim, já são conhecidos sistemas em que ocorre a emissão diferencial de compostos, conforme a espécie do herbívoro que age sobre a planta (De Moraes *et al.* 1998; Paré and Tumlinson 1997). Essa especificidade se deve a substâncias presentes na secreção salivar de algumas espécies de herbívoros, as quais entram em contato com receptores específicos dos tecidos da planta e ativam rotas bioquímicas para a produção de compostos específicos (Alborn *et al.* 2000). Tal processo foi inicialmente demonstrado pela ação do β -glucosinolato, presente na secreção salivar de *Pieris brassicae* L. (Lepidoptera: Pieridae), e do ácido graxo volicitina (N-(17-hidroxi-linolenil)-L-glutamina), produto da secreção salivar de *Spodoptera exigua* (Hubner) (Lepidoptera: Noctuidae), os quais ativam a produção de voláteis específicos em Brassicaceae e *Zea mays* L. (Poaceae), respectivamente (Mattiacci *et al.* 1995; Turlings *et al.* 2000). Posteriormente, outros ácidos graxos foram isolados de secreções orais de outras espécies, indicando que a especificidade da indução pode ocorrer para outros organismos (Paré *et al.* 1998; Pohnert *et al.* 1999; Alborn *et al.* 2000, 2003; Halitschke *et al.* 2001).

Também em decorrência da indução por herbivoria ou oviposição, podem ocorrer interações com distintos graus de especificidade, nas quais a emissão dos voláteis é determinada primordialmente pela ação de hormônios da própria planta (ex. ácido jasmônico, ácido salicílico e etileno) (Mcconn *et al.* 1997; Ryan and Pearce 2001). Como consequência, a ação desses hormônios pode resultar na liberação de misturas distintas (qualitativa ou quantitativamente) de compostos, de acordo com a espécie de herbívoro, estágio de desenvolvimento ou tipo de dano ocasionado pelo mesmo (Turlings *et al.* 1998; Hilker and Meiners 2002). Alternativamente, podem ocorrer menores níveis de especificidade, em que são liberados padrões comuns de compostos, mesmo em decorrência da ação de diferentes espécies de insetos.

Os voláteis induzidos influenciando a busca hospedeira por herbívoros

Os estudos a respeito da indução de voláteis em plantas têm demonstrado a existência de interações bastante complexas entre os organismos (van Dam *et al.* 2003; Turlings *et al.* 1990). Desse modo, além de sinalizar a localização do alimento para os herbívoros, os voláteis induzidos podem também indicar aos insetos a presença de organismos competidores e do conseqüente decréscimo qualitativo da planta (Bernasconi *et al.* 1998; Dicke 2000). Ademais, a seleção de uma planta já induzida pode significar a exposição aos efeitos prejudiciais de substâncias defensivas da mesma, seja diretamente contra o herbívoro, ou indiretamente, pela atração de inimigos naturais (Carrol *et al.* 2006; Kessler and Halitschke 2007).

Os voláteis induzidos de plantas podem ter efeito de atração e de repelência a insetos herbívoros (Dicke and van Loon 2000). Em Aphidae, por exemplo, a indução de voláteis em plantas geralmente tem ação de repelência, enquanto que para *Oreina cacaliae* (Schrank) e *Phyllotreta cruciferae* (Goeze) (Coleoptera: Chrysomelidae), os voláteis induzidos demonstraram efeito atrativo (Kalberer *et al.* 2001; Turlings and Wäckers 2004).

De acordo com os estudos realizados até o momento, o comportamento dos insetos em relação aos voláteis induzidos pode variar de acordo com o seu sexo e estado fisiológico, tempo decorrido após a indução da planta, além dos ritmos circadianos destas e dos insetos envolvidos na interação. Arab *et al.* (2007) demonstraram que os voláteis induzidos de *Solanum tuberosum* L. (Solanaceae) são atrativos a fêmeas acasaladas de *P. operculella*. Já as fêmeas virgens não diferenciam os voláteis de plantas sadias ou induzidas. Esses resultados indicam uma alteração no comportamento de busca de acordo com o estado fisiológico dos insetos. De Moraes *et al.* (2001) observaram que plantas induzidas de *Nicotiana tabacum* L. (Solanaceae) emitem voláteis específicos durante a noite, os quais atuam como repelentes para fêmeas noturnas de *Heliothis virescens* F. (Lepidoptera: Noctuidae), que evitam ovipositar em plantas induzidas. Os autores sugerem que essa repelência pode estar sinalizando a presença de competidores ou inimigos naturais de *H. virescens*. Do mesmo modo, em muitos insetos os voláteis induzidos podem ser utilizados para identificar sítios de oviposição, uma vez que as fêmeas tendem a ovipositar em plantas adequadas para a sobrevivência da sua progênie (Randlkofer *et al.* 2007).

3.3 O efeito dos voláteis de plantas sobre a emissão de feromônios por insetos

Além do papel isolado dos voláteis de plantas sobre o processo de busca hospedeira em herbívoros, esses compostos podem também influenciar a emissão e recepção dos feromônios pelos insetos. Como conseqüência, a ação conjunta desses infoquímicos voláteis produz uma resposta comportamental diferenciada daquela desencadeada por componentes isolados (Dicke 2000; Reddy and Guerrero 2004).

De modo geral, os feromônios de agregação estão entre os feromônios mais importantes para a busca hospedeira de herbívoros, pois são constantemente associados à localização de sítios de alimentação, acasalamento e oviposição (Landolt and Phillips 1997). Existem espécies de insetos que são estimuladas a liberar feromônios de agregação quando entram em contato com os voláteis constitutivos da planta hospedeira, como ocorre com *Rynchophorus phoenicis* F. (Coleoptera: Curculionidae) e *Elaeis guineensis* (Jacq.) (Arecaceae) (Jaffé *et al.* 1993).

Em muitas espécies de insetos, o efeito sinérgico de feromônios de agregação e de voláteis induzidos de plantas incrementa as possibilidades de sucesso na localização hospedeira por

herbívoros. Para *Anthonomus grandis* Boheman (Coleoptera: Curculionidae), Dickens (1989) evidenciou o aumento na atratividade de machos e fêmeas em resposta a ação conjunta de voláteis induzidos de algodoeiro (trans-2-hexenol, cis-3-hexenol ou 1-hexenol) e do feromônio de agregação. Em *Melolontha melolontha* L. (Coleoptera: Scarabaeidae) verificou-se um padrão de resposta semelhante, produzido pela associação de feromônio de agregação e de voláteis induzidos das plantas (Reinecke *et al.* 2002). O acréscimo das respostas comportamentais em herbívoros também foi verificado como consequência da associação de voláteis induzidos de plantas e de feromônios sexuais, como em *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) e *Helicoverpa zea* (Bodie) (Lepidoptera: Noctuidae). Nesses insetos, a produção de feromônio sexual pelas fêmeas ocorre após o contato com as suas plantas hospedeiras. Além disso, os machos são mais atraídos para armadilhas contendo uma mistura do feromônio sexual e de aleloquímicos voláteis das plantas, do que para aquelas com os compostos isolados (Reddy *et al.* 2002). Esse incremento da atratividade de coespecíficos pode ser adaptativamente vantajoso para os herbívoros, uma vez que aumenta a eficiência da localização de alimento e do encontro de indivíduos do sexo oposto, reduzindo o dispêndio de recursos energéticos para tais atividades. Ademais, a ação conjunta desses compostos pode facilitar a ação dos inimigos naturais dos herbívoros, pois consistem em pistas confiáveis e precisas sobre a localização de sua presa. Desse modo, o valor adaptativo da emissão e percepção de tais compostos pelos insetos herbívoros é determinado pelo balanço entre as vantagens de encontrar sítios de alimentação e acasalamento, e os custos da mobilização até esses locais.

Em contraste aos aleloquímicos de plantas que incrementam a possibilidade de comunicação entre herbívoros coespecíficos, existem os voláteis de plantas com ação antagonista aos feromônios, diminuindo ou anulando sua atividade. Hayes *et al.* (1994) demonstraram a redução da atratividade de adultos ao feromônio de *Dendroctonus frontalis* Zimmermann (Coleoptera: Scolytidae), em decorrência da associação com o 4-alil anisol, um composto constitutivo de *Pinus taeda* L. (Pinaceae). De maneira similar, os voláteis induzidos também demonstraram ação antagonista aos feromônios de agregação em alguns insetos. Neste caso, os chamados voláteis de folhas verdes, primeiros compostos liberados pelas plantas após o dano físico, reduziram significativamente a atratividade de feromônios em várias espécies de Scolytidae (Dickens *et al.* 1992; De Groot and MacDonald 1999; Poland *et al.* 1998; Poland and Haack 2000; Huber and Borden 2001).

4. Interações planta-herbívoro-inimigo natural

Nas cadeias tróficas em que os parasitóides e predadores estão envolvidos, vários sinais químicos podem ser utilizados para a localização hospedeira. Dentre esses compostos podem estar aqueles provenientes diretamente do corpo da presa, ou aqueles derivados de organismos a ela associados, como microrganismos ou plantas. Esses voláteis utilizados pelos inimigos naturais podem ser classificados como alomônios, kairomônios ou sinomônios, dependendo das interações e dos organismos envolvidos. Entretanto, na maioria das vezes a busca hospedeira pelos inimigos naturais está envolvida em um contexto multitrófico (Price *et al.* 1980).

No processo de busca hospedeira por inimigos naturais, a eficiência em encontrar a presa é dificultada pela grande quantidade de voláteis presentes no meio e, muitas vezes, pela mobilidade da presa. Nesse sentido, estudos têm demonstrado que os parasitóides e predadores aperfeiçoam o processo de busca, baseando-se na exploração de sinais químicos que proporcionem alto grau de detectabilidade e confiabilidade (Vet and Dicke 1992). A detectabilidade representa a propriedade de um composto de ser percebido pelo inseto, o que pode ser difícil quando o emissor encontra-se muito distante do receptor e quando as quantidades liberadas são pequenas e não alcançam longas

distâncias. Por sua vez, a confiabilidade é determinada pela associação entre a presença de um determinado sinal e a presença da presa. Como exemplo, é comum que voláteis presentes no corpo do hospedeiro-presa, embora seja altamente confiável, não seja detectado a longas distâncias. Nesses casos, os inimigos naturais fazem uso de diferentes mecanismos para garantir o sucesso de busca: o desvio de infoquímicos, utilizando voláteis relacionados indiretamente ao hospedeiro (ex. parasitóide de pupa identifica voláteis de larvas); o aprendizado associativo, relacionando estímulos fáceis de detectar a estímulos confiáveis, porém com baixa detectabilidade; e o reconhecimento de voláteis induzidos, ou seja, estímulos criados pela interação específica entre o herbívoro-presa e sua planta hospedeira (Price *et al.* 1980; Vet and Dicke 1992).

Considerando-se que os voláteis de plantas são estímulos diretamente relacionados aos herbívoros, esses compostos adquirem importância significativa no processo de aprendizado associativo em inimigos naturais. Além disso, os voláteis emitidos pelas plantas após a indução podem aumentar a confiabilidade dos sinais, fornecendo informações adicionais como localização, abundância e estágio de desenvolvimento do herbívoro ali presente (Vet and Dicke 1992; Karban and Baldwin 1997).

Em parasitóides e predadores, o grau de especificidade em relação ao hospedeiro determina diferenças significativas no comportamento de busca e na exploração dos sinais químicos disponíveis. Assim, compostos não específicos podem ser confiáveis para inimigos naturais generalistas, mas somente voláteis resultantes de interações específicas são confiáveis para inimigos naturais especialistas. Nesse contexto, a interação de um herbívoro especialista com uma única espécie de planta pode possibilitar o uso de sinais desta para a localização da presa. Nesse caso, os voláteis constitutivos e induzidos da planta poderiam ser explorados, sendo facilmente detectáveis e confiáveis. Por outro lado, quando um inimigo natural está associado a herbívoro(s) generalista(s), a gama de voláteis a serem percebidos é maior e, na maioria das vezes, torna-se necessário o reconhecimento concomitante de sinais da presa e da(s) planta(s), aumentando assim o sucesso da busca.

4.1 Os voláteis constitutivos e as interações planta-herbívoro-inimigo natural

Os recursos nutricionais provenientes do néctar floral são importantes fatores para a sobrevivência de parasitóides e predadores. Sobre esse aspecto, já são conhecidos alguns sistemas em que a emissão de néctar extrafloral incrementa a visita de inimigos naturais de herbívoros às plantas (Turlings and Wäckers 2004). Os voláteis provenientes do néctar de plantas podem agir como sinônimos (substâncias que beneficiam o organismo emissor e o receptor), fornecendo fontes adicionais de nutrientes aos parasitóides e predadores, os quais se beneficiam pela localização facilitada de suas presas.

A produção de néctar extrafloral ocorre de forma constitutiva na planta, mas pode ser incrementada após sua exploração por consumidores ou em resposta aos danos mecânicos na planta, causados ou não pela herbivoria (Wäckers and Wunderlin 1999; Heil *et al.* 2001). Essas respostas podem desencadear o aumento do volume de néctar produzido ou a alteração nas características qualitativas no néctar (ex. aumento da concentração de aminoácidos) (Del-Claro and Oliveira 1993). Kost and Heil (2005) comprovaram que o incremento da disponibilidade de néctar extrafloral foi responsável pela maior atração de predadores (formigas, vespas e moscas) e de parasitóides (Chalcidoidea). Para *Microplitis croceipes* (Cresson) (Hymenoptera: Braconidae), os recursos disponibilizados pelo néctar extrafloral promovem o incremento da longevidade e a reprodução de fêmeas, sendo também a única fonte nutricional desse inseto quando os voláteis de flores não estão

disponíveis. Observações comportamentais realizadas por Röse *et al.* (2006) demonstraram que esse parasitóide realiza a busca hospedeira baseada em voláteis provenientes do néctar extrafloral de plantas de algodão. Além disso, a presença desse recurso aumentou o tempo de permanência dos insetos na planta, o que pode implicar no incremento do parasitismo de larvas de *H. virescens* e outros noctuídeos presentes nas plantas.

4.2 Os voláteis induzidos e as interações planta-herbívoros-inimigo natural

Nos últimos anos, diversos estudos têm demonstrado que a herbivoria ou oviposição de insetos herbívoros induz a produção local ou sistêmica de voláteis pelas plantas, os quais agem como atrativos para os inimigos naturais dos herbívoros (defesa indireta) (De Moraes *et al.* 1998). Esses compostos são importantes para localização hospedeira em parasitóides e predadores, por proporcionarem informações específicas e confiáveis sobre a presença da presa (Vet and Dicke 1992; Karban and Baldwin 1997).

Para insetos predadores, o uso de voláteis induzidos de plantas para a busca hospedeira pode incrementar o potencial de predação, além de possibilitar a redução nos gastos energéticos para a localização hospedeira (Vet and Dicke 1992; Dicke and Vet 1999). Entretanto, os estudos sobre esses aspectos são escassos em relação àqueles realizados para parasitóides.

A busca hospedeira por inimigos naturais consiste em uma série de comportamentos, os quais são afetados pelas informações químicas disponíveis no ambiente. Embora muitos desses insetos utilizem compostos de herbívoros ou de microorganismos associados à presa ou a seu habitat, os voláteis de plantas são as principais fontes de informação utilizadas para a busca hospedeira (Lewis and Martin 1990; Vet *et al.* 1990; Karban and Baldwin 1997).

A identificação dos voláteis de plantas pelos parasitóides se dá pelo reconhecimento de *blends* específicos, sendo que muitos são capazes de discriminar entre plantas saudáveis e induzidas, direcionando-se àquelas em que suas presas estão presentes. Estudos de Turlings *et al.* (1991) demonstraram que os voláteis emitidos por plantas de milho, em resposta a herbivoria por *S. exigua*, foram utilizados por seu parasitóide, *Cotesia marginiventris* (Cresson) (Hymenoptera: Braconidae), para a localização hospedeira.

Os voláteis induzidos de plantas podem ser liberados somente no local onde ocorreu o dano (voláteis de folhas verdes) ou, na maioria dos casos, de forma sistêmica. Sendo assim, o dano causado a uma estrutura da planta induz a produção de voláteis nos tecidos da planta inteira (De Moraes *et al.* 1998). Além disso, as respostas das plantas à ação de herbívoros (alimentação ou oviposição) podem ocorrer de maneira distinta, dependendo do grau de especificidade das interações envolvidas e das rotas bioquímicas desencadeadas pela indução (Hilker and Meiners 2002). Assim, se as plantas respondem de forma diferencial a distintas formas de indução e espécies de herbívoros, ocorre a produção de misturas de voláteis para cada caso, e os sinais químicos podem proporcionar informações específicas aos inimigos naturais, como a espécie ou a fase de desenvolvimento do herbívoro presente na planta (Turlings and Wäckers 2004).

Para *Cotesia kariyai* (Watanabe) (Hymenoptera: Braconidae) a atração só ocorre pelos voláteis induzidos a partir da herbivoria por larvas recém-eclodidas de *Pseudaletia separata* Walker (Lepidoptera: Noctuidae) (Takabayashi *et al.*, 1995). Do mesmo modo, o parasitóide de ovos *Oomyzus gallerucae* (Fonscolombe) (Hymenoptera: Eulophidae) é atraído por voláteis emitidos

somente após a oviposição por *Xanthogaleruca luteola* Muller (Coleoptera: Chrysomelidae) em *Ulmus minor* (Miller) (Ulmaceae).

Em alguns casos, o alto grau de especificidade das interações planta-herbívoro-parasitóides é decorrente do mecanismo de indução que desencadeia a emissão de voláteis. Assim, a presença de enzimas na secreção salivar ou no fluido de oviposição de herbívoros pode desencadear rotas específicas na planta e a liberação de compostos resultantes, exclusivamente, de tal interação (Turlings and Wäckers 2004). De Moraes *et al.* (1998) demonstraram que o parasitóide *Cardiochiles nigriceps* Viereck (Hymenoptera: Braconidae) é capaz de reconhecer, especificamente, os voláteis induzidos de plantas após a herbivoria de sua presa, *H. virescens*. Para a interação tritrófica *M. croceipes* (Hymenoptera: Braconidae), *S. exigua* e *Z. mays*, Turlings *et al.* (2000) comprovaram que a substância volicitina, presente na secreção salivar do herbívoro, desencadeou a emissão de voláteis específicos e a atração do parasitóide.

5. Consideracoes finais

Nas últimas décadas, o incremento significativo nos estudos sobre ecologia química tornou possível a exploração de infoquímicos no manejo comportamental de insetos, tais como o uso de feromônios e voláteis de plantas. A descoberta de que plantas atacadas por herbívoros podem reagir ao ativar suas defesas indiretas e alertar predadores e parasitóides sobre a presença de suas presas causou crescente interesse de pesquisadores, os quais têm investigado mecanismos bioquímicos e consequências ecológicas de tais interações, bem como as implicações e perspectivas de uso desses compostos na agricultura (Turlings and Ton 2006). De acordo com Karban and Baldwin (1997), a indução artificial, por meio da aplicação de substâncias indutoras de defesas em plantas pode ser uma das estratégias para aumentar o potencial de repelência a insetos herbívoros ou incrementar a atratividade aos seus inimigos naturais. Adicionalmente, os mecanismos moleculares envolvidos na indução de voláteis de plantas têm indicado a possibilidade de serem desenvolvidas variedades com maior potencial defensivo, as quais podem expressar constantemente ou de forma induzida tal característica (Agelopoulos 1999; Turlings and Ton 2006).

Embora tenham sido geradas muitas expectativas para o uso extensivo de voláteis induzidos de plantas na agricultura, é consenso que muitos estudos ainda são necessários para se estabelecer uma estratégia efetiva em campo (Karbon and Baldwin 1997; Turlings and Ton 2006; Arab and Bento 2006; Cook *et al.* 2007). Nesse sentido, um importante avanço nessa área será alcançado a partir de estudos ecológicos e aplicados sobre a ecologia nutricional e química, relacionados às interações tróficas entre plantas, insetos herbívoros e seus inimigos naturais.

Literatura citada

- AGELOPOULOS, N.; BIRKETT, M.A.; HICK, A.J.; HOOPER, A.M.; PICKETT, J.A.; POW, E.M.; SMART, L.E.; SMILEY, D.W.M.; WADHAMS, L.J.; WOODCOCK, C.M., 1999, Exploiting semiochemical in insect control. *Journal of Pesticide Science*, Tokio, v. 55, p. 225-235,
- ALBORN, H.T.; BRENNAN, M.M.; TUMLINSON, J.H. 2003, Differential activity and degradation of plant volatile elicitors in regurgitant of tobacco hornworm (*Manduca sexta*) larvae. *Journal of Chemical Ecology*, New York, v. 29, p.1357-1372.
- ALBORN, H.T.; JONES, T.H.; STENHAGEN, G.S.; TUMLINSON, J.H. 2000, Identification and synthesis of volicitin and related components from beet armyworm oral secretions. *Journal of Chemical Ecology*, New York, v. 26, p. 203-220.

- ARAB, A.; BENTO, J.M.S., 2006, Plant Volatiles: New Perspectives for Research in Brazil. Neotropical Entomology, New York, v. 35, p. 151-158.
- ARAB, A.; TRIGO, J.R.; LOURENÇÃO, A.L.; PEIXOTO, A.M.; RAMOS, F.; BENTO, J.M.S., 2007, Differential Attractiveness of Potato Tuber Volatiles to *Phthorimaea operculella* (Gelechiidae) and the Predator *Orius insidiosus* (Anthocoridae). Journal of Chemical Ecology, New York, v. 33, p. 1845–1855.
- BEDE, J.C.; MCNEIL, J.N.; TOBE, S.S., 2007, The role of neuropeptides in caterpillar nutritional ecology. Peptides, New York, v. 28, p. 185-196.
- BELL, W.J.; KIPP, L.R.; COLLINS, R.D. The role of chemo-orientation in search-behavior. In: CARDÉ, R.T.; BELL, W.J. Chemical Ecology of Insects. New York: Chapman & Hall, 1994. p. 105-152, 433p.
- BERNASCONI, M.L.; TURLINGS, T.C.J.; AMBROSETTI, L.; BASSETTI, P.; DORN, S. , 1998, Herbivore-induced emissions of maize volatiles repel the corn leaf aphid, *Rhopalosiphum maidis*. Entomologia Experimentalis et Applicata, Oxford, v. 87, p. 133-142.
- BERNAYS, E.A.; CHAPMAN, R.F., 1994, Host-plant selection by phytophagous insects. New York: Chapman & Hall, 312p.
- BLIGHT, M.M.; PICKET, J.A.; WADHAMS, L.J.; WOODCOCK, C.M., 1995, Antennal perception of oilseed rape, *Brassica napus* (Brassicaceae), volatiles by the cabbage seed weevil *Ceutorhynchus assimilis* (Coleoptera: Curculionidae). Journal of Chemical Ecology, New York, v. 21, p. 1649–1664.
- BRUCE, T.J.A.; WADHAMS, L.J.; WOODCOCK, C.M., 2005, Insect host localization: a volatile situation. Trends in Plant Science, London, v. 10, p. 269-274.
- CARROL, M.J.; SCHMETZ, E.A.; MEAGHER, R.L. TEAL, P.E.A. Attraction of Spodoptera frugiperda to volatiles from herbivore-damage maize seedlings. Journal of Chemical Ecology, New York, v. 32, p. 1911-1924, 2006.
- CHAPMAN, R.F., 1998, The Insects: Structure and Function. Cambridge: Cambridge University Press, 788p.
- COOK, A.M.; KAHAN, Z.R.; PICKETT, J.A. The use of push-pull strategies in integrated pest management. Annual Review of Entomology, Palo Alto, CA, v. 52, p. 57-80, 2007.
- DE GROOT, P.; MACDONALD, L.M., 1999, Green leaf volatiles inhibit response of red pine cone beetle *Conophthorus resinosae* (Coleoptera: Scolytidae) to a sex pheromone. Naturwissenschaften, Berlin, v. 86, p. 81-85.
- DE MORAES, C.M.; LEWIS, W.J.; PARÉ, P.W.; ALBORN, H. T.; TUMLINSON, J. H., 1998, Herbivore-infested plants selectively attract parasitoids. Nature, London, v. 393, p. 570-573.
- DE MORAES, C.M.; MESCHER, M.C.; TUMLINSON, J.H., 2001, Caterpillar-induced nocturnal plant volatiles repel conspecific females. Nature, London, v. 410, p. 577-580.
- DEL-CLARO, K.; OLIVEIRA, 1993, P. S. Ant-Homoptera interaction: do alternative sugar sources distract tending ants? Oikos, Dinamarca, v. 68, p. 202–206.
- DICKE M.; VET, L.E.M. Plant–carnivore interactions: evolutionary and ecological consequences for plant, herbivore and carnivore. In: OLFF, H.; BROWN, V.K.; DRENT. R.H., 1999, Herbivores: Between Plants and Predators. Oxford: Blackwell Science, p. 483-520. 639p.
- DICKE, M., 2000, Chemical ecology of host-plant selection by herbivorous arthropods: a multitrophic perspective. Biochemical Systematics and Ecology, Oxford, v. 28, p. 601-617.
- DICKE, M.; SABELIS, 1988, M. W. Infochemical Terminology: Based on Cost-Benefit Analysis Rather than Origin of Compounds? Functional Ecology, London, v. 2, p. 131-139.
- DICKE, M.; van LOON, J.A., 2000, Multitrophic effects of herbivore-induced plant volatiles in an evolutionary context. Entomologia Experimentalis et Applicata, Oxford, v. 97, p. 237-249.

- DICKENS, J.C. , 1989, Green leaf volatiles enhance aggregation pheromone of boll weevil, *Anthonomus grandis*. Entomological Experimentallis et Applicatta, Oxford, v.52, p. 191-203.
- DICKENS, J.C.; BILLINGS, R.F.; PAYNE, T.L., 1992, Green leaf volatiles interrupt aggregation pheromone response in bark beetles infesting southern pines. Experientia, Basel, Switzerland, v. 48, p. 523-524.
- FERRY, N.; EDWARDS, M.G.; GATEHOUSE, J.A.; GATEHOUSE, A.M.R. , 2004, Plant-insect interactions: Molecular approaches to insect resistance. Current Opinion Biotechnology, London, v. 15, p. 155-161.
- GREENFIELD, M.D., 2002, Signalers and Receivers: Mechanisms and Evolution of Arthropod Communication. New York: Oxford University Press. 432p.
- HÄGELE, B.F.; ROWELL-RAHIER, M., 1999, Dietary mixing in three generalist herbivores: nutrient complementation or toxin dilution? Oecologia, Berlin, v. 119, p. 521-533.
- HALITSCHKE, R.; SCHITTKO, U.; POHNERT, G.; BOLAND, W.; BALDWIN, I.T., 2001, Molecular interactions between the specialist herbivore *manduca sexta* (Lepidoptera, Sphingidae) and its natural host *Nicotiana attenuata*. III Fatty aci-amino acid conjugates in herbivore oral secretions are necessary and sufficient for herbivore-soecific plant response. Plant Physiology, Lancaster, PA, v. 125, p. 711-717.
- HARTMANN, T., 1999, Chemical Ecology of pyrrolizidine alkaloids. Planta, Berlin, v. 207, p. 483-495.
- HARTMANN, T.; OBER, D., 2000, Biosynthesis and metabolism of pyrrolizidine alkaloids in plants and specialized insect herbivores. Topics in Current Chemistry, Berlin, v. 209, p. 207-243.
- HAYES, J.L.; STROM, B.L.; ROTON, L.M.; INGRAM, L.L., 1994, Repellent properties of the host compound 4-allylanisole to the southern pine beetle. Journal of Chemical Ecology, New York, v. 20, p. 1595-1615.
- HEIL, M.; KOCH, T.; HILPERT, A.; FIALA, B.; BOLAND, W.; LINSSENMAIR, K.E., 2001, Extrafloral nectar production of the ant-associated plant, *Macaranga tanarius*, is an induced, indirect, defensive response elicited bu jasmonic acid. Proceedings of the National Academy of Sciences, USA, Washington, v. 98, p. 1083-1088.
- HILKER, M.; MEINERS, T., 2002, Induction of plant responses towards oviposition and feeding of herbivorous arthropods: a comparison. Entomologia Experimentalis et Applicata, Oxford, v. 104, p. 181-192.
- HUBER, D.P.W.; BORDEN, J.H., 2001, Angiosperm bark volatiles disrupt response of Douglas-fir beetle, *Dendroctonus pseudotsugae*, to attractant-baited traps. Journal of Chemical Ecology, New York, v. 27, p. 217-233.
- JAFFÉ, K.; SANCHEZ, P.; CERDA, H.; HERNANDEZ, R.; URDANETA, N.; GUERRA, G.; MARTINEZ, R.; MIRAS, B., 1993, Chemical ecology of the palm weevil *Rhynchophorus palmarum* (L.) (Coleoptera: Curculionidae): attraction to host plants and to a male-produced aggregation pheromone. Journal of Chemical Ecology, New York, v. 19, p.1703-1720.
- KALBERER, N.M.; TURLINGS, T.C.J.; RAHIER, M. Attraction of a leaf beetle (*Oreina cacaliae*) to damaged host plants. Journal of Chemical Ecology, New York, v. 27, p. 647-661, 2001.
- KARBAN, R.; BALDWIN, I.T. Induced Responses to Herbivory. Chicago: Chicago Univ. Press, 1997. 319p.
- KESSLER, A.; HALITSCHKE, R. Specificity and complexity: the impact of herbivore-induced plant responses on arthropod community structure. Current Opinion in Plant Biology, London, v. 10, p. 409-414, 2007.
- KOST, C.; HEIL, M. Increased availability of extrafloral nectar reduces herbivory in lima bean plants (*Phaseolus lunatus*, Fabaceae). Basic and Applied Ecology, Jena, v. 6, p. 237-248, 2005.

- LANDOLT, P. J.; PHILLIPS, T. W. Host plant influences on sex pheromone behavior of phytophagous insects. *Annual Review of Entomology*, Palo Alto, CA, v. 42, p. 371-391, 1997.
- LEWIS, W.J.; MARTIN, W.R. Semiochemicals for use with parasitoids: Status and future. *Journal of Chemical Ecology*, New York, v. 16, p. 3067-3089, 1990.
- MARSH, D.; KENNEDY, J.S.; LUDLOW, A.R. An analysis of anemotactic zigzagging flight in male moths stimulated by pheromone. *Physiological Entomology*, Oxford, v. 3, p. 221-240, 1978.
- MATTIACI, L.; DICKE, M.; POSTHUMUS, M.A. Beta-Glucosidase: an elicitor of herbivore induced plant odor that attracts host-searching parasitic wasps. *Proceedings of the North Central Branch of the Entomological Society of America*, North Central Branch, v. 92, p. 2036-2040, 1995.
- McCONN, M.; CREELMAN, R.A.; BELL, E.; MULLET, J.E.; BROWSE, J. Jasmonate is essential for insect defense in *Arabidopsis*. *Proceedings of the North Central Branch of the Entomological Society of America*, North Central Branch, v. 94, p. 5473-5477, 1997.
- McKEY, D. The distribution of secondary compounds within plants. In: ROZENTHAL, G.A.; JANZEN, D.H. *Herbivores: their interactions with secondary plant metabolites*. New York: Academic Press, 1979, p. 56-122. 718p.
- NATALE, D.; MATTIACCI, L.; PASQUALINI, E.; DORN, S. Response of female *Cydia molesta* (Lepidoptera Tortricidae) to plant derived volatiles. *Bulletin of Entomological Research*, v. 93, p. 335-342, 2003.
- NISHIDA, R. Sequestration of defensive substances from plants by Lepidoptera. *Annual Review of Entomology*, Palo Alto, CA, v. 47, p. 57-92, 2002.
- NORDLUND, D.A.; LEWIS, W.J. Terminology of chemical releasing stimuli in intraspecific and interspecific interactions., v. 2, p. 211-20, 1976.
- NORONHA, N.C.; BENTO, J.M.S. Volatiles of citrus and guava plants: something in the air to the psyllid *Diaphorina citri*. *International society of chemical ecology: 25th anniversary ISCE Meeting*, Pennsylvania. 74p. 2008.
- NOTTINGHAM, S.F.; HARDIE, J.; DAWSON, G.W.; HICK, A.J.; PICKETT, J.A.; WADHAMS, L.J.; WOODCOCK, C.M. Behavioral and electrophysiological responses of aphids to host and nonhost plant volatiles. *Journal of Chemical Ecology*, New York, v. 17, p. 1231-1242, 1991.
- PARÉ, P.; ALBORN, H.T.; TUMLINSON, J.H. Concerted biosynthesis of an insect elicitor of plant volatiles. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Washington, USA, Washington, v. 95, p. 13971-13975, 1998.
- PARÉ, P.W.; TUMLINSON, J.H. *De novo* biosynthesis of volatiles induced by insect herbivory in cotton plants. *Plant Physiology*, Lancaster, PA, v. 114, p. 1161-1167, 1997.
- POHNERT G.; JUNG, V.; HAUKIOJA, E.; LEMPA, K.; BOLAND, W. New fatty acid amides from regurgitant of lepidopteran (Noctuidae, Geometridae) caterpillars. *Tetrahedron*, Oxford, v. 55, p. 11275-11280, 1999.
- POLAND, T.M.; BORDEN, J.H.; STOCK, A.J.; CHONG, L.J. Green leaf volatiles disrupt responses by the spruce beetle, *Dendroctonus rufipennis*, and the western pine beetle, *Dendroctonus brevicornis* (Coleoptera: Scolytidae) to attractant-baited traps. *Journal of the Entomological Society of British Columbia*, Canadá, v. 95, p. 17-24, 1998.
- POLAND, T.M.; HAACK, R.A. Pine shoot beetle, *Tomicus piniperda* (Col., Scolytidae), responses to common green leaf volatiles. *Journal of Applied Entomology*, Berlin, v. 124, p. 63-69, 2000.
- PRICE, P.W.; BOUTON, C.E.; GROSS, P.; McPHERON, A.E. Interactions among three trophic levels: influence of plant interactions between insect herbivores and natural enemies. *Annual Review of Ecology and Systematics*, Palo Alto, CA, v. 11, p. 41-65, 1980.
- RANDLKOFER, B; OBERMAIER, E.; MEINERS, T. Mother's choice of the oviposition site: balancing risk of egg parasitism and need of food supply for the progeny with an infochemical shelter? *Chemoecology*, Stuttgart, v. 17, p. 177-186, 2007.

- REDDY, G. V. P.; GUERRERO, A. Interactions of insects pheromones and plant semiochemicals. *Trends in Plant Science*, Oxford, v. 9, p. 253-261, 2004.
- REDDY, G.V.P.; HOLOPAINEN, J. K.; GUERRERO, A. Olfactory Responses of *Plutella xylostella* Natural Enemies to Host Pheromone, Larval Frass, and Green Leaf Cabbage Volatiles. *Journal of Chemical Ecology*, New York, v. 28, p. 131-143, 2002.
- REINECKE, A.; RUTHER, J.; HILKER, M. The scent of food and defence: green leaf volatiles and toluquinone as sex attractant mediate mate finding in the European cockchafer *Melolontha melolontha*. *Ecology Letters*, Oxford, v. 5, p. 257–263, 2002.
- RHOADES, D.F. Evolution of plant chemical defense against herbivores. In: ROZENTHAL, G.A.; JANZEN, D.H. *Herbivores: their interactions with secondary plant metabolites*. New York: Academic Press, 1979, p.4-48. 718p.
- RÖSE, U. S. R.; LEWIS, J.; TUMLINSON, J. H. Extrafloral nectar from cotton (*Gossypium hirsutum*) as a food source for parasitic wasps. *Functional Ecology*, London, v. 20, p. 67-74, 2006.
- RYAN, C.A.; PEARCE, G.L. Polypeptide hormones. *Plant Physiology*, Lancaster, v. 125, p. 65- 68, 2001.
- SCHOONHOVEN, L. M.; van LOON, J.J.A.; DICKE, M. *Insect-plant biology*. New York: Oxford University Press, 2005. 421p.
- SOLER, R.; HARVEY, J.A.; KAMP, A.F.D.; VET, L.E.M.; van der PUTTEN, W.H.; van DAM, N.M.; STUEFER, J.F.; GOLS, R.; HORDJK, C.A.; BEZEMER, T.M. Root herbivores influence the behaviour of an aboveground parasitoid through changes in plant-volatiles signals. *Oikos*, Dinamarca, v. 116, p. 367-376, 2007.
- TAKABAYASHI, J.; TAKABAYASHI, S.; DICKE, M.; POSTHUMUS, M.A.; Developmental stage of herbivore *Pseudaletia separata* affects production of herbivore-induced synomone by corn plants. *Journal of Chemical Ecology*, New York, v. 21, p. 273-287, 1995.
- THORNHILL, R.; ALCOCK, J. *The evolution of insect mating systems*. Cambridge: Harvard University Press, 1983. 546 p.
- TURLINGS, T.C.J.; ALBORN, H.T.; LOUGHRIN, J.H.; TUMLINSON, J.H. Volicitin, an elicitor of corn volatiles in oral secretion of *Spodoptera exigua*: isolation and bioactivity. *Journal of Chemical Ecology*, New York, v. 26, p. 189-202, 2000.
- TURLINGS, T.C.J.; LENGWILWER, U.B.; BERNASCONI, M.L.; WECHSLER, D. Timing of induced volatile emissions in maize seedlings. *Planta*, Berlin, v. 207, p. 146-152, 1998.
- TURLINGS, T.C.J.; TON, J. Exploiting scents of distress: the prospect of manipulating herbivore-induced plant odours to enhance the control of agricultural pests. *Current Opinion in Plant Biology*, London, v. 9, p. 421-427, 2006.
- TURLINGS, T.C.J.; TUMLINSON, J.H.; HEATH, R.R.; PROVEAUX, A.T.; DOOLITTLE, R.E. Isolation and identification of allelochemicals that attract the larval parasitoid, *Cotesia marginiventris* (Cresson), to the microhabitat of one of its hosts. *Journal of Chemical Ecology*, New York, v. 17, p. 2235-2251, 1991.
- TURLINGS, T.C.J.; WÄCKERS, F. Recruitment of predators and parasitoids by herbivore-injured plants. In: CARDÉ, R.T.; MILLAR, J.G. *Advances in Insect Chemical Ecology*. Cambridge: Cambridge University Press, p. 21-75, 2004. 352p.
- TURLINGS, T.J.C.; TUMLINSON, J.H.; LEWIS, W.J. Exploitation of herbivore-induced plant odors by host-seeking parasitic wasps. *Science*, Washington, v. 250, p. 1251-1253, 1990.
- van DAM, N.M.; HARVEY, J.A.; WÄCKERS, F.L.; BEZEMER, T.M.; van der PUTTEN, W.H.; VET, L.E.M. Interactions between aboveground and belowground induced responses against phytophages. *Basic and Applied Ecology*, Jena, v. 4, p. 63–77, 2003.
- van DAM, N.M.; VUISTER, L.W.M.; BERGSHOEFF, C.; VOS, H. de; van der MEIJDEN, E. The raison d'être of pyrrolizidine alkaloids in *Cynoglossum officinale*-deterrent effects against generalist herbivores. *Journal of Chemical Ecology*, New York, v. 21, p. 507–523, 1995.

- VET, L.E.M.; DICKE, M. Ecology of infochemical use by natural enemies in a tritrophic context. *Annual Review of Entomology*, Palo Alto, CA, v. 37, p. 141–172, 1992.
- VET, L.E.M.; LEWIS, W.J.; PAPA, D.R.; van LANTEREN, J.C. A variable-response model for parasitoid foraging behavior. *Journal of Insect Behavior*, New York, v. 3, p. 471-490, 1990.
- VISSER, J.H. Host odor perception in phytophagous insects. *Annual Review of Entomology*, Palo Alto, CA, v. 31, p. 121-144, 1986.
- WÄCKERS, F.L.; JÖRG, R.; VAN RIJN, P. Nectar and pollen feeding by insect herbivores and implications for multitrophic interactions. *Annual Review of Ecology and Systematics*, Palo Alto, CA, v. 52, p. 301-323, 2007.
- WÄCKERS, F.L.; WUNDERLIN, R. Induction of cotton extrafloral nectar production in response to herbivory does not require a herbivore-specific elicitor. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, Oxford, v. 91, p. 149-154, 1999.
- WALDBAUER, G.P.; S. FRIEDMAN. Self-selection of optimal diets by insects. *Annual Review Entomology*, Palo Alto, CA, v. 36, p. 43-63, 1991.

Nuevas tecnologías para el manejo integrado de insectos

Luis E. Gómez y Thomas C. Sparks

Dow AgroSciences LLC 9330 Zionsville Road, Indianapolis, IN 46268. *egomez2@dow.com*.

Durante esta presentación haremos una breve revisión histórica del uso e implementación de diferentes tácticas para el manejo integrado de plagas insectiles (MIP). Empezaremos con el desarrollo de los primeros insecticidas hasta el descubrimiento de las nuevas clases de productos para el control de insectos. La mayor parte de nuestra presentación estará enfocada en prestar principal atención a aquellas tecnologías que han revolucionado el manejo de plagas a través de la historia como lo son:

1. El descubrimiento y posterior comercialización de nuevas clases de insecticidas como por ejemplo, los neonicotinoides, química líder para el control de insectos chupadores y los spinosines, química líder para el control de lepidópteros y otros masticadores del follaje.
2. El desarrollo de cultivos transgénicos a través de la incorporación de genes insecticidas como el BT para el control de insectos, así como la tecnología SmartStax™ la cual consiste en la integración de múltiples genes ya sea para el control de insectos de follaje y raíz así como también la incorporación de genes que proveen tolerancia a herbicidas.
3. El desarrollo y uso de nuevas tecnologías de aplicación de productos y desarrollo de nuevos usos para moléculas existentes como por ejemplo:
 - La optimización de cebos insecticidas para el control de insectos como lo es GF-120® Cebo para moscas de la fruta.
 - La técnica de atracción y eliminación de machos con productos como SPLAT-MAT™ Spinosad ME.
 - El uso de semioquímicos para detección y control de insectos (control etológico)
 - Tratamientos de semilla a través del uso de polímeros e ingredientes activos (insecticidas, fungicida, y otros) para su protección.

Finalmente daremos una sinopsis del futuro presentando algunas de las tecnologías que creemos podrían, una vez mas, revolucionar el manejo integrado de plagas insectiles.

Footnotes:

SmartStax™ es una marca registrada de Monsanto Technology LLC

GF-120® y SPLAT-MAT™ Spinosad ME son marcas registradas de Dow AgroSciences LLC

Production Agriculture and Ecosystem Services: *Can GM Crops Bridge the Gap?*

William D. Hutchison

Professor, Dept. of Entomology, Univ. of Minnesota, St. Paul, MN 55108 USA, hutch002@umn.edu

During the past decade, adoption of genetically modified (GM), or transgenic crop technology increased worldwide to reach 134 million ha of transgenic crops planted in 25 countries during 2009. In the U.S., maize has been the most abundant transgenic crop planted to resist insect pests, with hybrids engineered to express insecticidal proteins isolated from the bacterium *Bacillus thuringiensis* (i.e., Bt maize). Adoption of Bt maize has been one of the most widely adopted pest management technologies in U.S. agriculture. In 2009, Bt maize was planted on more than 22.2 million ha, comprising 63% of the U.S. crop. Bt maize was initially targeted against one of the most widespread insect pests throughout the U.S. Corn Belt, the European corn borer (ECB), *Ostrinia nubilalis* (Hübner).

Although several reports have recently been published questioning the value of transgenic crops in production agriculture, the Bt maize-ECB system will be presented as a case study to more carefully examine some of the longer-term ecological and economic benefits of Bt maize, as well as new challenges in the near future. This discussion will also be placed within the context of current challenges to production agriculture, and how GM crops might contribute to both ecosystem services and economic goals.

In brief, for Bt sweet corn (fresh-market and processing), compared to conventional insecticide-based management, we found that natural enemies of ECB were conserved at a high rate, ca. 133,000/ac, compared to maize treated with pyrethroid insecticides. For Bt maize, grown for livestock and ethanol production (i.e., field corn), we conducted a long-term economic analysis of the benefits to both Bt and non-Bt maize acres, since commercialization of Bt maize in 1996. We show that suppression of the primary pest (ECB) is associated with cumulative Bt maize use. Cumulative benefits from Bt and non-Bt maize over 14 years are conservatively estimated at nearly \$6.8 billion for a 5-state region, with cumulative benefits to growers of non-Bt maize accounting for more than \$4.0 billion of this total. These results affirm theoretical predictions of pest population suppression and highlight economic incentives for growers to maintain non-Bt maize refugia for sustainable insect resistance management.

Longitudes de onda e intensidades de luz en la atracción de insectos hematofagos

Attraction of wavelength and intensity of light in blood-sucking insects

Mario Iván Ortiz¹, Jorge Molina²

¹ Biólogo, M.Sc, asistente graduado doctoral, CIMPAT-Universidad de los Andes, Carrera 1 No 18A-10, *mario-or@uniandes.edu.co*. ² Dr. rer. nat., profesor asistente, CIMPAT-Universidad de los Andes, Carrera 1 No 18A-10, *jmolina@uniandes.edu.co*

Resumen

Una corta introducción sobre el papel de la luz visible y la evolución de la visión en los animales es presentada como preámbulo para la profundización en el estudio de los ojos de los insectos hematófagos. Una revisión bibliográfica en la morfología y los experimentos comportamentales y electrofisiológicos realizados con insectos hematófagos permitirá profundizar en los elementos básicos a ser utilizados para el diseño de mejores trampas de luz.

Palabras clave: Longitud de onda, luz, ojos, hematófagos

Abstract

A brief introduction on the role of white light and the evolution of animal eyes will be used as a preliminary approach to understand the eyes in blood-sucking insects. A review of literature on morphology and behavioral and electrophysiological experiments carried out with haematophagous insects will be useful in the future to design better light traps.

Key words: Wavelength, light, eyes, blood-sucking

Luz visible

El sol emite energía a diferentes longitudes de onda. El espectro solar incluye desde longitudes de onda cortas (100 a 400 nm) de alta energía como las ultravioletas hasta longitudes de onda largas (700 nm hasta 1 mm) con baja energía en el infrarrojo. Entre estos dos rangos espectrales se encuentra la luz visible (400 a 700 nm) donde se encuentran, como su nombre lo indica, las longitudes de onda principalmente detectadas por los sistemas visuales de los organismos vivos.

La luz visible es parte del espectro electromagnético que más fácilmente penetra la atmósfera y logra llegar a la superficie terrestre. El mayor pico de las longitudes visibles se encuentra alrededor de los 500 nm que corresponde a la luz azul-verde, sin embargo los organismos vivos utilizan dentro del visible diferentes espectros dependiendo de que longitudes de onda particulares utilicen.

Por qué los organismos vivos no utilizan las longitudes de onda infrarrojas para ver? Varias razones juegan un papel, entre ellas que son fuertemente absorbidas por el vapor de agua de la atmósfera y el agua rodeando las células vivas. Adicionalmente por tener longitud de onda larga no son muy buenas para crear resolución y por lo tanto crean imágenes difusas. Los animales que detectan radiación infrarroja la emplean principalmente para detectar objetivos y para navegar y no para examinar o manipular objetos (Ings 2007).

Por el lado del ultravioleta se encuentra que aves, insectos, peces y ratones tienen capacidades de detección de estas longitudes de ondas cortas, pero en ningún caso se trata de animales grandes. La

razón para ello radica en que entre mas grande sea al ojo mayor cantidad de luz puede entrar y por lo tanto se espera un mayor daño por parte de las ondas ultravioletas muy energéticas. Los animales que detectan estas ondas se caracterizan entonces por tener cortas vidas y por lo tanto mueren antes de que sus fotopigmentos del ojo sean destruidos. Para el caso de los humanos (grandes ojos y largas vidas) nuestros ojos son protegidos de los dañinos rayos ultravioletas por el lente que actúa como un filtro (Ings 2007).

Evolución de la visión

A pesar que el origen de los organismos vivos se extiende a aproximadamente 3465 millones de años (McClendon 1999), la aparición de los ojos para poder ver se remonta a hace aproximadamente 538 millones de años (Ings 2007). La aparición de la visión es tan importante que este es el único sistema sensorial que ha sido capaz de dividir el tiempo geológico de la vida sobre la tierra en dos fases distintas: antes y después de la visión (Parker 2004).

La explicación para la aparición tardía de la visión se encuentra en la relación entre el tamaño de los organismos y el tamaño de las longitudes de onda de la luz. Las longitudes de onda entre el ultravioleta y el visible se encuentran entre los 0.35 y los 0.8 μm (apenas el ancho de una pequeña bacteria). Protistas como *Euglena* con 50 μm (solamente 60 veces mas grande que la longitud de onda de color rojo) son ya lo suficientemente largos como para detectar la luz (y en efecto lo hacen con el estigma) pero no para ver porque son todavía muy pequeñas. La visión requiere entonces un organismo grande con una estructura que permita revelar brillos y sombras; es decir, hay un tamaño mínimo para que pueda contar el organismo con un ojo que forme imágenes (Ings 2007).

Modelos teóricos con premisas conservativas en las presiones de selección y en la cantidad de variación en las poblaciones naturales sugieren que la secuencia completa para la aparición de ojos con lente como el de los humanos a partir de un epitelio sensitivo a la luz como el que debió existir en los primeros organismos pudo haberse alcanzado en tan solo 400.000 generaciones de un organismo (Nilsson y Pelger 1994).

El paso final en la evolución de la visión requirió no solamente la presencia de ojos, sino también un nivel mínimo de complejidad que incluye un sistema nervioso lo suficientemente complejo como para procesar la información que suministra el ojo (Ings 2007).

Tipos de ojos

El reto mas grande de un ojo es conseguir capturar la mayor cantidad de luz de diferentes partes de la escena para formar una imagen (Ings 2007). Una solución al problema es entonces tener ojos grandes tipo cámara con un lente para que enfoque los rayos lumínicos y permita formar imágenes claras. La otra solución es tener ojos compuestos donde cada subunidad obtenga información de una determinada región de la escena. Esta última solución lo que permite es crear una imagen con tantos pixeles como subunidades compongan el ojo. La primera solución fue adoptada por los vertebrados mientras que dentro de los organismos que adoptaron la segunda solución se encuentran los insectos y los crustáceos.

Un ojo compuesto está entonces conformado por subunidades llamadas omatidios que por lo general cuentan con 6 células retinulares cada una con una región especializada para capturar la luz llamada rhabdómero.

Tres tipos de ojos compuestos pueden ser encontrados en los insectos: a) aposición, b) superposición y c) superposición neuronal. La principal diferencia desde el punto de vista funcional radica en que en los ojos por aposición cada omatidio captura únicamente aquellos rayos de luz que le entran perpendicular mientras que los ojos por superposición cada subunidad concentra la luz en fotorreceptores específicos. La consecuencia de estas diferencias funcionales es que los ojos por aposición son buenos bajo condiciones de alta luminosidad (insectos diurnos) mientras que los de superposición son ideales bajo condiciones de poca luz (insectos nocturnos).

Herramientas para el estudio de la visión en insectos hematófagos

Tres son las principales herramientas a ser utilizadas en estudios dirigidos a profundizar en la visión de insectos hematófagos: a) Histología, b) experimentos comportamentales y c) experimentos electrofisiológicos (electroretinogramas).

Las herramientas histológicas son importantes para tener una mejor aproximación a la morfología de los ojos de los insectos. Algunos elementos a tener en cuenta son el número y la distribución de las células retinulares y la ubicación de los rhabdómeros dentro de los omatidios.

Los experimentos comportamentales de laboratorio y de campo permitirán establecer en la práctica cuales son las longitudes de onda que juegan un papel en la atracción o repulsión de los insectos y para complementar la información se deberán realizar experimentos electrofisiológicos o electroretinogramas que ayuden a confirmar los resultados registrados durante los experimentos comportamentales.

Ojos y ocelos en insectos hematófagos

De los 33 órdenes de insectos actuales solamente los órdenes Phthiraptera, Heteroptera, Siphonaptera, Diptera y Lepidoptera son reconocidos por tener especies con la capacidad de alimentarse de la sangre de hospederos vertebrados (Klass *et al.* 2002, Grimaldi y Engel 2005).

A continuación vamos a presentar de manera resumida (con excepción de Lepidoptera) algunos datos morfológicos, comportamentales y electrofisiológicos del sistema visual en los diferentes órdenes de los insectos hematófagos.

a) Phthiraptera: En los piojos se pueden encontrar ojos compuestos vestigiales en pocas especies de los géneros *Haematopinus*, *Linognathus*, *Solenopotes*, *Ratemia*, *Prolinognathus*, *Hybophthirus* y *Antarctophthirus*. Ojos con lentes simples y con presencia de pigmentos bajo el lente se pueden encontrar en *Pediculus*, *Pthirus*, *Pedicinus*, *Microthoracicus* y *Pecaroecus* (Ferris 1951, Roberts y Janovy 2000). No se tiene información ni comportamental ni electrofisiológica para este orden de insectos.

b) Heteroptera: En los *Cimex* a cada lado de la cabeza se encuentra una pequeña proyección cuticular que termina en unos ojos compuestos de varias facetas (Usinger 1966). No se tiene información ni comportamental ni electrofisiológica para la familia Cimicidae. Para el caso de la subfamilia Triatominae se sabe que los ocelos son ausentes en las ninfas y en los adultos del género *Belminus* y *Cavernicola* son obsoletos (Settembrini 1984, Insausti y Lazzari 2000a). Los ocelos de *Triatoma infestans* tienen una “pupila” que no cambia con la intensidad de la luz pero si con la edad de los insectos (Insausti y Lazzari 2000b). Los adultos de los otros géneros de triatominos además de tener ocelos tienen ojos compuestos a cada lado de la cabeza. Las facetas de los ojos compuestos son redondeadas en las ninfas y hexagonales en los adultos de *T. infestans* y el número de facetas

por ojo está correlacionado con el tamaño corporal del insecto (Settembrini 1984). Los ojos de *Rhodnius prolixus* son de aposición y cada omatidio tiene seis células retinulares en la periferia y dos más fusionadas formando un sistema central. De las ocho células en total solamente siete tienen rhabdómeros (Müller 1970). No se sabe electrofisiológicamente a qué longitudes de onda responden mejor los triatominos, pero por trabajos con *Notonecta* se sabe que los Hemipteros tienen como cromóforo el 11-cis retinal y que responden al ultravioleta, azul y verde (Briscoe y Chittka 2001). Desde el punto de vista de los experimentos comportamentales en laboratorio se sabe que los triatominos despegan hacia fuentes de luz blanca (Minoli y Lazzari 2006) y que son fotofóbicos a luces blancas y monocromáticas de colores azul y verde principalmente (Reisenman y Lazzari 2006). Finalmente se conoce además que la respuesta fotofóbica de los triatominos está controlada de manera circadiana (Reisenman *et al.* 1998) y que el ritmo circadiano induce cambios morfológicos en los ojos compuestos de *T. infestans* (Reisenman *et al.* 2002). Tanto los ojos como los ocelos juegan un papel importante en la respuesta fototáctica de los triatominos (Lazzari *et al.* 1998).

c) Siphonaptera: Las pulgas no tienen ojos compuestos, sino un ojo simple a cada lado de la cabeza. El desarrollo del ojo es variable, siendo particularmente grandes en *Xenopsylla* y reducidos en varias otras especies o ausentes como en *Leptopsylla segnis*. Sus larvas no tienen ojos. Experimentos comportamentales con *Ceratophyllus gallinae* demostraron que la sola sombra provocada por un huésped potencial atrae a la pulga (Humphries 1968) mientras que trampas que utilizan bombillos incandescentes o filtros en el rango del verde fueron útiles para capturar pulgas en casas (Dryden y Broce 1993, Creswell y Stratman 2007). Por medio de electroretinogramas se sabe que las mejores respuestas a luces se encuentran cuando estas están en el rango entre los 510 y 550 nm (Pickens *et al.* 1987, Kettle 1995, Roberts y Janovy 2000).

d) Diptera: Para el caso de *Lutzomyia longipalpis* experimentos electrofisiológicos han demostrado que la sensibilidad de sus ojos se encuentra en el rango ultravioleta y en el azul verdoso (Mellor *et al.* 1996). Experimentos comportamentales con trampas CDC iluminadas con LEDs de diferentes colores han demostrado sin embargo que *Phlebotomus papatasi* es fuertemente atraído por los LEDs rojos (Hoel *et al.* 2007). En la familia Culicidae electroretinogramas realizados con *Aedes aegypti* demostraron también una sensibilidad en el rango del azul y el verde (Gibson 1995). Sin embargo, en este caso también experimentos comportamentales realizados con *Anopheles gambiae* demostraron sensibilidad de esta especie de mosquito en el rango del rojo y el infrarrojo (Gibson 1995). Desde el punto de vista morfológico se ha encontrado que en los mosquitos las facetas de los ojos compuestos apuntando hacia el frente y abajo son más grandes que las dorsales, de igual manera los ojos adaptados a la oscuridad presentan variaciones morfológicas que contribuyen a capturar más luz como es la dilatación del iris y la proyección hacia el lente de los rhabdómeros (Land *et al.* 1999). Los mosquitos nocturnos como *An. gambiae* tienen ojos tipo aposición con rhabdómeros cortos mientras que los diurnos como *Sabethes cyaneus* o *Toxorhynchites brevipalpis* tienen ojos tipo superposición neuronal y con rhabdómeros largos (Land *et al.* 1999). Otro caso documentado dentro de los Diptera es el del género *Glossina*, en estas moscas experimentos electrofisiológicos demostraron sensibilidad en el rango del ultravioleta, azul-verde y rojo (Green y Cosens 1983).

Implicaciones de los estímulos visuales en el diseño de trampas para la captura de insectos vectores

El conocimiento de aspectos morfológicos, comportamentales y electrofisiológicos en insectos hematófagos es de vital importancia para dirigir el diseño de trampas con estímulos visuales hacia

estrategias de control (trampas con estímulos visuales impregnadas con insecticidas o con mecanismos para electrocutar) y para mejorar las tasas de capturas de trampas utilizadas en estudios epidemiológicos de foco.

La existencia en la actualidad de LEDs muy económicos con emisiones casi monocromáticas y en casi todas las longitudes de onda abre un nuevo campo de estudio en la ecología sensorial de insectos de importancia médica especialmente cuando se tiene en cuenta la posibilidad de diseñar trampas multi-estímulo (luces, olores y temperatura).

Literatura citada

- BRISCOE, A.D. CHITTKA, L. 2001. The evolution of color vision in insects. *Annual Review of Entomology*. 46:471-510.
- CRESWELL, C.H. STRATMAN, E.J. 2007. Clinical pearl: A flea trap made from common household supplies. *Skinmed: Dermatology for the Clinician*. 6:59-60.
- DRYDEN, M.W. BROCE, A.B. 1993. Development of a trap for collecting newly emerged *Ctenocephalides felis* (Siphonaptera: Pulicidae) in homes. *Journal of Medical Entomology*. 30:901-906.
- FERRIS, G.F. 1951. The sucking lice. New York Litographing Corporation, New York. 320 p.
- GIBSON, G. 1995. A behavioural test of the sensitivity of a nocturnal mosquito, *Anopheles gambiae*, to dim white, red and infra-red light. *Physiological Entomology*. 20:224-228.
- GREEN, C.H. COSENS, D. 1983. Spectral responses of the tsetse fly, *Glossina morsitans morsitans*. *Journal of Insect Physiology*. 29:795-800.
- GRIMALDI, D.; ENGEL, M.S. 2005. Evolution of insects. Cambridge University Press, Cambridge. 755 p.
- HOEL, D.F. BUTLER, J.F. FAWAZ, E.Y. WATANY, N. EL-HOSSARY, S.S. VILLINSKI, J. 2007. Response of phlebotomine sand flies to light-emitting diode-modified light traps in Southern Egypt. *Journal of Vector Ecology*. 32:302-308.
- HUMPHRIES, D.A. 1968. The host-finding behaviour of the hen flea, *Ceratophyllus gallinae* (Schrank) (Siphonaptera). *Parasitology*. 58:403-414.
- INGS, S. 2007. The eye: A natural history. Bloomsbury Publishing, London. 322 p.
- INSAUSTI, T.C. LAZZARI, C.R. 2000a. The postembryonic development of the ocellar system of *Triatoma infestans* Klug (Heteroptera: Reduviidae). *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz*. 95:877-881.
- INSAUSTI, T.C. LAZZARI, C.R. 2000b. An ocellar "pupil" that does not change with light intensity, but with the insect age in *Triatoma infestans*. *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz*. 95:743-746.
- KETTLE, D.S. 1995. Medical and veterinary entomology. CAB International, Wallingford. 725 p.
- KLASS, K.D.; ZOMPRO, O.; KRISTENSEN, N.P.; ADIS, J. 2002. Mantophasmatodea: A new insect order with extant members in the afrotropics. *Science*. 296:1456-1459.
- LAND, M.F. GIBSON, G. HORWOOD, J.ZEIL, J. 1999. Fundamental differences in the optical structure of the eyes of nocturnal and diurnal mosquitoes. *Journal of Comparative Physiology A*. 185:91-103.
- LAZZARI, C.R. REISENMAN, C.E. INSAUSTI, T.C. 1998. The role of the ocelli in the phototactic behaviour of the haematophagous bug *Triatoma infestans*. *Journal of Insect Physiology*. 44:1159-1162.
- MCCLENDON, J.H. 1999. The origin of life. *Earth-Science Review*. 47:71-93.
- MELLOR, H.E. HAMILTON, J.G.C. ANDERSON, M. 1996. Spectral sensitivity in the eyes of male and female *Lutzomyia longipalpis* sandflies. *Medical and Veterinary Entomology*. 10:371-374.

- MINOLI, S.A. LAZZARI, C.R. 2006. Take-off activity and orientation of triatomines (Heteroptera: Reduviidae) in relation to the presence of artificial lights. *Acta Tropica*. 97:324-330.
- MÜLLER, J. 1970. Feinbau und Dunkelampassung der Komplexaugen von *Rhodnius prolixus* (Stal). *Zoologische Jahrbuch Physiologie*. 75:111-133.
- NILSSON, D-E.; PELGER, S. 1994. A pessimistic estimate of the time required for an eye to evolve. *Proceedings of the Royal Society of London B*. 256:53-58.
- PARKER, A. 2004. In the blink of an eye: How vision kick-started the big bang of evolution. Simon & Schuster, Sydney. 316 p.
- PICKENS, L.G. CARROLL, J.F. FARHANG, A. 1987. Electrophysiological studies of the spectral sensitivities of cat fleas, *Ctenocephalides felis*, and oriental rat fleas, *Xenopsylla cheopis* to monochromatic light. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 45:193-195.
- REISENMAN, C.E. LAZZARI, C. Spectral sensitivity of the photonegative reaction of the blood-sucking bug *Triatoma infestans* (Heteropta: Reduviidae). *Journal of Comparative Physiology A*. 192:39-44.
- REISENMAN, C.E. LAZZARI, C.R. GIURFA, M. 1998. Circadian control of photonegative sensitivity in the haematophagous bug *Triatoma infestans*. *Journal of Comparative Physiology A*. 192:533-541.
- REISENMAN, C.E. INSAUSTI, T.C. LAZZARI, C.R. 2002. Light-induced and circadian changes in the compound eye of the haematophagous bug *Triatoma infestans* (Hemiptera: Reduviidae). *Journal of Experimental Biology*. 205:201-210.
- ROBERTS, L.S. JANOVY, J. 2000. Gerald D. Schmidt and Larry S. Roberts Foundations of parasitology. Mc Graw Hill, Boston. 670 p.
- SETTEMBRINI, B.P. 1984. The compound eyes of *Triatoma infestans* and *Rhodnius prolixus* (Hemiptera: Reduviidae). *Journal of Medical Entomology*. 21:477-479.
- USINGER, R.L. 1966. Monograph of Cimicidae. The Horn-Shafer Company, Baltimore. 585 p.

Comparative studies of the biology of invasive species in their native and introduced ranges: a tool for understanding the causes of their success

Edward G. LeBrun

University of Texas at Austin, USA. elebrun@mail.utexas.edu

Solving the puzzle of how a species introduced into a novel environment, establishes itself, and achieves densities far in excess of the members of the community that evolved within that environment remains the central problem of invasion biology. This talk will center on understanding the processes that allow invasive ant species to reach such inordinate densities in their exotic ranges. Invasive ants are among some of the most ecologically damaging of invasive species. Five of the 17 terrestrial invertebrate species listed in the IUCN's 100 worst invasive species are ants. Of those 5 globally invasive species, four evolved in central South America. What causes this global asymmetry in invasion success? Are their factors that make central South America unique? Eusocial insects bring an added level of complexity to the problem of species invasions. Their social organization allows them to adapt to and exploit their environment in ways not possible in solitary organisms. Almost unique among invasive ant species is a social organization involving the loss of all behavioral boundaries between colonies and the fusion of entire populations into a unicolonial entity. Does this unique social organization fuel their success? Is it a product of evolution in their new environment? Studies comparing the biology of invasive species in their native and introduced ranges are a key tool for understanding the causes the success of invasive species in their exotic ranges. This talk will present the details of several of these studies. The preponderance of empirical evidence indicates that the primary force structuring assemblages of ants is interspecific competition with other species of ants. To what degree might the success of invasive ants arise as a result of escape from competitors? Do biogeographic disparities in the intensity of interspecific competition create the opportunity for ants to invade novel environments? A mystery of many ant invasions is that not only do invasive ants succeed in displacing their native competitors, but in many instances they achieve a biomass in excess of the combined biomass of all the native ant species they displace. How does this come to be? The talk will explore how mutualistic interactions in their native and introduced ranges and changes in the trophic ecology of the invaders post invasion allow for this apparent energetic paradox.

Cambio y variabilidad del clima y relaciones con la agricultura colombiana con énfasis en aspectos sanitarios

Climate change and variability & its relation to sanitary aspects of Colombian agriculture

Francisco Boshell V.

Profesor Asociado, Universidad Nacional de Colombia. Sede Bogotá.
Posgrado Meteorología. *jfboshell@gmail.com*

1. La variabilidad y el cambio climático

Los conceptos de variabilidad y cambio climático son diferentes. La variabilidad climática se refiere a las oscilaciones naturales y periódicas que presentan las condiciones del clima en una región dada, tanto dentro de un año (variabilidad intra anual; por ejemplo la acción de la Zona de Convergencia Intertropical, ZCIT, genera meses de alta pluviosidad) como entre uno y otro año (variabilidad inter anual, como los eventos de calentamiento o enfriamiento del Océano Pacífico Tropical, llamados eventos Niño o Niña respectivamente). Asimismo hay variabilidad climática espacial que determina diferencias climáticas dentro de regiones aparentemente homogéneas.

El cambio climático es una alteración progresiva de las condiciones climáticas regionales o planetarias en una escala amplia de tiempo. El cambio climático actual está siendo generado por las actividades humanas y se relaciona directamente con un aumento en las concentraciones atmosféricas de los llamados gases de efecto invernadero (GEI). El dióxido de carbono (CO_2), el óxido nitroso (N_2O) y el metano (CH_4) son GEI propios de la atmósfera terrestre. El hexafluoruro de azufre (SF_6), los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC) son gases de efecto invernadero de origen antrópico, emitidos por diferente tipo de industrias.

El Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático, IPCC, (2007a) señala que entre las principales manifestaciones del cambio climático en nuestro planeta, se encuentran las muy altas concentraciones atmosféricas actuales de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso, que han aumentado sensiblemente desde 1750 como resultado de las actividades humanas.

El dióxido de carbono es el gas de efecto de invernadero antropogénico más abundante. La concentración de dióxido de carbono en la atmósfera mundial ha pasado de un valor preindustrial de aproximadamente 280 ppm a 379 ppm en 2005. La concentración atmosférica de CO_2 actual supera su margen de variación natural durante los últimos 650.000 años (entre 180 y 300 ppm). En la Figura 1 se aprecia el incremento progresivo de las emisiones de GEI entre 1970 y 2004, según el IPCC (2007a).

Asimismo destaca el IPCC que once de los doce años entre 1995–2006 se encuentran entre los más calurosos en los registros instrumentales de la temperatura global en superficie, desde 1850. La tendencia lineal de 100 años (1906 a 2005) es de $0,74^\circ\text{C}$. La tendencia lineal del calentamiento de los últimos 50 años ($0,13^\circ\text{C}$ por decenio) casi duplica la de los últimos 100 años (Figura 2).

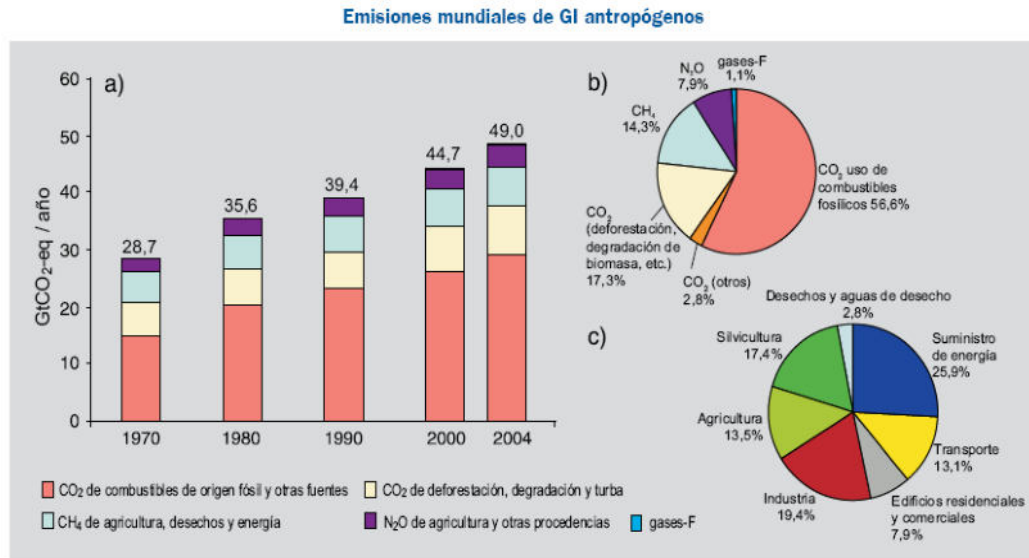


Figura RRP.3. a) Emisiones anuales mundiales de GEI antropógenos entre 1970 y 2004⁴. b) Parte proporcional que representan diferentes GEI antropógenos.

Figura 1. Aumento de las emisiones mundiales de GEI entre 1970 y 2004 (IPCC 2007a)

Según IDEAM (2008) Colombia solo contribuye en un 0,35% a las emisiones mundiales de GEI, pero recibe los efectos de todos los países emisores y se deben diseñar estrategias de adaptación a los cambios climáticos actuales y futuros. De acuerdo con los estudios realizados por Pabón (2008) y Benavides (2008), las manifestaciones del CC en Colombia se reflejan en el incremento progresivo de la temperatura del aire en los recientes decenios, en las modificaciones de las condiciones pluviales en relación con los decenios previos y en el aumento en la frecuencia de eventos meteorológicos extremos o sin precedentes.

Los cambios previstos en el clima para los próximos decenios, confirman la tendencia hacia mayores temperaturas y eventos extremos con una mayor recurrencia.

La ocurrencia más frecuente de eventos de calentamiento y enfriamiento anómalos de las aguas superficiales del océano Pacífico Ecuatorial, eventos Niño y Niña, está causando períodos más frecuentes de lluvias escasas (cuando ocurre “El Niño”) o excesivas (cuando ocurre “La Niña”) en varias regiones del país. Asimismo se están registrando episodios de heladas, granizadas y altas temperaturas, con frecuencias e intensidades no conocidas en los historiales de las entidades meteorológicas que llevan los registros correspondientes.

Por ello es importante analizar las condiciones de variabilidad y cambio climático y sus efectos potenciales en la agricultura en general y en los insectos en particular

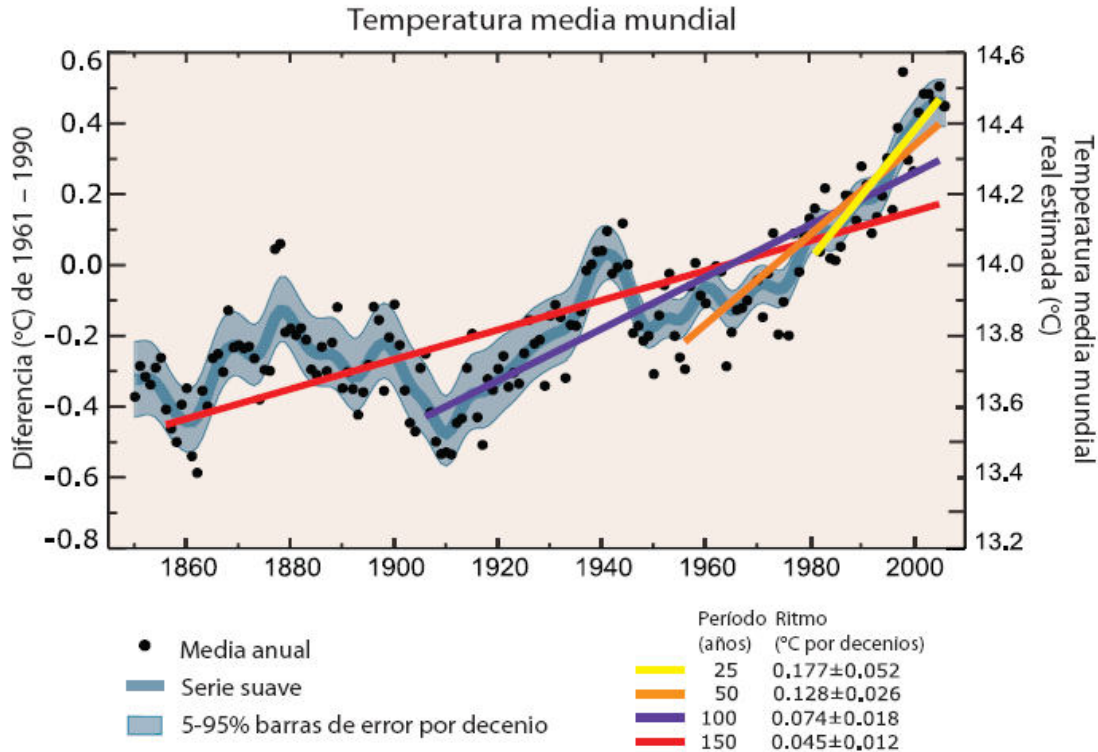


Figura 2. Variación de la temperatura media del planeta en diversos períodos, desde 1860 (Fuente: IPCC, 2007a)

2. El cambio climático, la agricultura y los insectos

La relación del cambio climático con la agricultura es de dos vías. Por una parte la agricultura está afectando el clima, ya que en diversos procesos involucrados en la producción agropecuaria se están generando varios de los GEI, como N_2O y CH_4 . Pero por otra parte, la agricultura está siendo afectada por el cambio climático, ya que los eventos climáticos extremos y las nuevas tendencias en el comportamiento de las variables meteorológicas, están afectando la respuesta de los sistemas productivos agropecuarios.

Según el IPCC, en el año 2005 la agricultura fue responsable del 10 al 12% de las emisiones globales de CO_2 (IPCC, 2007b). Por otra parte, la producción ganadera tiene un papel protagónico en las emisiones de GEI, ya que es responsable del 37% de todas las emisiones antropogénicas de metano (CH_4) y del 65% de las emisiones de óxido nitroso (N_2O) (FAO, 2006).

Según el Inventario Nacional de Fuentes y Sumideros de GEI 2000 – 2004 para Colombia, las emisiones agrícolas de GEI son las siguientes (Ideam, 2009):

- En 2004 se emitían alrededor de 180,000 Gg de CO_2eq en el país.
- El 38 % de las emisiones correspondía al total sector agricultura.

- El 19.1% de las emisiones nacionales totales era atribuible a la ganadería (fermentación entérica, manejo estiércol) y el 18.9% a la agricultura (suelos, arroz riego).
- Dentro del sector, el 93% de las emisiones de CH₄ eran por fermentación entérica, 4% por el arroz y 3% por manejo estiércol.
- Dentro del sector, el 99% de las emisiones de N₂O eran por los suelos agrícolas.

La variabilidad climática extrema (por ejemplo, eventos severos ENOS, “El Niño”/La Niña”) relacionada con los efectos del cambio climático, ha tenido diversos impactos en la agricultura. Durante los períodos ENOS severos, los rendimientos han aumentado o decrecido en relación con los rendimientos promedios, de acuerdo al patrón regional de lluvias y al sistema agropecuario productivo involucrado. En el caso colombiano, durante el evento “Niño” del período 1997–1998, la producción de azúcar aumentó en el cultivo de la caña de azúcar (componente de un sistema altamente tecnificado, con irrigación permanente) mientras que los rendimientos de los cultivos de secano (sin riego) como el maíz “tradicional”, disminuyeron de manera sensible.

Los efectos de varios de estos fenómenos en la agricultura nacional son nefastos, como lo demuestran las enormes pérdidas registradas en el sector agropecuario del altiplano cundiboyacense por causa de las heladas severas ocurridas en febrero de 2007, que alcanzaron temperaturas mínimas hasta de 8° bajo cero (-8°C) en algunos sectores, valores nunca antes registrados.

Los insectos son organismos ectotermos, no pueden regular su temperatura corporal, dependen de las condiciones climáticas externas y obtienen el calor exponiéndose a la radiación solar; a su vez lo disipan mediante evaporación, conducción o convección. La distribución territorial de los insectos y la longitud de su ciclo de vida son afectados por las condiciones climáticas, especialmente por las temperaturas. Por lo tanto, 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.

El elemento meteorológico que más afecta el desarrollo de los insectos es la temperatura. Cada especie tiene un rango térmico en donde su desarrollo y tasa de reproducción es óptimo. Se espera que en zonas tropicales el cambio climático favorezca el aumento de las tasas de reproducción o el desarrollo de los insectos que tienen una alta plasticidad fenotípica o capacidad de adaptación a diferentes ambientes (Deutsch et al, 2008, citados por Boshell et al 2009).

Un efecto importante de la variabilidad climática extrema asociada con el cambio climático, se relaciona con el acortamiento del ciclo de crecimiento de los cultivos durante los eventos El Niño, debido al aumento de la temperatura del aire. Asimismo, se ha observado un aumento en la incidencia de insectos plaga en la agricultura, durante la fase cálida del evento ENOS.

El calentamiento global puede afectar a los insectos a través de cambios en la cantidad y la calidad de la vegetación. El incremento en la temperatura induce cambios directos sobre los rangos de distribución y redundo en el aumento en el número de generaciones por año (Kiritani 2006). Uno de los mayores efectos de la variabilidad climática extrema y el cambio climático será la aceleración en el cambio del rango de distribución de las especies de insectos. Muchas especies de insectos tienen rangos geográficos que no son directamente limitados por la vegetación o por barreras, sino por

temperatura. En la medida en que el planeta se caliente, las especies de insectos limitadas por temperatura tendrán la posibilidad de expandirse tan rápido como sus propios mecanismos de dispersión lo permitan (Kiritani 2006).

El gusano cogollero del maíz y de otros cultivos, *Spodoptera frugiperda*, tiene la capacidad de sobrevivir durante todo el año en áreas tropicales donde la temperatura mínima media sea superior a 10°C. En Colombia el insecto está presente por debajo de los 2000 msnm, límite altitudinal de dicha temperatura. En regiones tropicales las poblaciones de *Spodoptera frugiperda* tienden a fluctuar con los cambios estacionales de las lluvias.

La respuesta de los insectos al clima está vinculada con varios factores, tales como cantidad y calidad de hospederos, diversidad de cultivos (incluidos pastos y perennes) por área de terreno y la dinámica temporal de las áreas cultivadas (rotaciones) (Aguilera et al, 2008) y por ello la dinámica poblacional de insectos se debe explicar tomando en consideración, de modo integrado, los factores enunciados. El uso exclusivo de datos climáticos para explicar la presencia del insecto puede generar errores en su manejo y control (Boshell et al, 2009).

Por lo anterior, las correlaciones entre capturas de *S. frugiperda* y variables climáticas dependen de las condiciones biofísicas propias de cada zona de estudio. Por ejemplo, en un estudio realizado en el Tolima se encontró que mientras que en el norte (sector de Ambalema) existía una alta relación entre la temperatura media y las capturas del insecto, en el centro (sector de El Espinal) las más altas correlaciones se obtuvieron con los grados día *Spodoptera* (GDS) (Boshell et al, 2009).

Por otra parte, las mayores concentraciones atmosféricas de CO₂ pueden afectar las relaciones planta – insecto. Hamilton *et al.* (2005, citados por Hatfield *et al.*, 2008) encontraron que la soya cultivada con elevado CO₂ tenía un 57 % más de daño por insectos, probablemente por los incrementos en los azúcares en las hojas.

3. Adaptación de la agricultura ante la variabilidad climática extrema y el cambio climático. Caso de los insectos plaga.

Entre las prácticas que han sido aplicadas en diversos países, con el fin de mitigar las emisiones de GEI hacia la atmósfera por parte del sector agropecuario y prevenir así el mayor incremento de las temperaturas globales, se destacan las siguientes (FAO, 2000):

- Restauración de tierras degradadas
- Conversión de tierras de bajo potencial agrícola en praderas y pastos
- Sustitución de cultivos temporales por sistemas agroforestales
- Agricultura de conservación
- Rotación de cultivos
- Conservación de la cubierta forestal
- Prevención y control de los incendios forestales
- Utilización mejorada de la madera
- Reforestación y forestación
- Implantación de cultivos para producción de biocombustibles
- Limitación o eliminación del pastoreo excesivo

- Apoyo a programas de uso de la tierra dirigido a la retención de carbono, a través de subsidios o estímulos fiscales.
- Vinculación de subsidios con medidas de conservación del suelo (el suelo es la mayor reserva en el ciclo terrestre del carbono)
- Apoyo a la reducción de las emisiones de GEI, eliminando el crédito al cultivo de tierras en las zonas donde se ha eliminado el bosque
- Revisión de la legislación existente de los impuestos sobre la tierra y aumento de las tasas para las prácticas de producción no sostenibles.

Por otra parte, es necesario adoptar políticas para reducir la vulnerabilidad de las comunidades rurales ante el CC. Por ello se deberían implementar una serie de medidas de adaptación ante los impactos del CC para el sector agrícola, como las siguientes (FAO, 2005; FAO et al, 2006; FAO, 2007):

- Mejorar la capacidad de respuesta de los agricultores ante el cambio climático, a través de políticas oficiales para la reducción de la pobreza y la diversificación de los medios de vida.
- Implicar a la población rural pobre, especialmente a las mujeres, en la gobernabilidad de los recursos naturales.
- Mejorar el manejo de la tierra a través de la rehabilitación de bosques y manglares, la reforestación y prácticas de silvicultura para la protección contra inundaciones y deslizamientos.
- Mejorar el manejo de los recursos hídricos a través de la promoción de la construcción de estanques, canales, depósitos de almacenamiento y de facilidades para “cosechar” el agua lluvia y mejorar su disponibilidad y uso.
- Adaptarse a las variaciones estacionales con cambios oportunos en las fechas de siembra y en los períodos de otras actividades agrícolas, según las predicciones climáticas de largo plazo, difundidas por las entidades meteorológicas oficiales como el IDEAM.
- Utilizar distintas especies o variedades de cultivo que pueden ser resistentes o tolerantes a la sequía u otras presiones bióticas; distribuir nuevas variedades de cultivo o cultivos adaptados localmente; poner en marcha programas de reproducción de cultivos; seleccionar especies animales para un aumento de la productividad.

En el caso colombiano, ya se están realizando proyectos de investigación destinados a mejorar la mitigación y la adaptación en el sector agropecuario, en relación con el cambio climático. Entre estos proyectos se destacan los siguientes:

- a. Establecimiento de línea base de indicadores de calidad del suelo para monitorear los efectos del cambio climático sobre los sistemas de producción agrícola en el Piedemonte Llanero (UNAL – Corpoica).
- b. Evaluación de sistemas de alimentación en vacas Holstein y su efecto sobre la productividad animal, la emisión de metano y de óxido nitroso y la captura de carbono en la Sabana de Bogotá. (UNAL - Corpoica)
- c. Producción intensiva de carne en pasturas con diferente capacidad de inhibir nitrificación y reducir las emisiones de Gases Efecto Invernadero (Corpoica).
- d. Cambio climático y fluctuaciones de Clostridios patógenos asociados al suelo. Relación con enfermedades animales causantes de mortalidad súbita en bovinos de leche (Corpoica).

- e. Modelación espacial y temporal de la garrapata *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* en el Trópico Alto Colombiano (Corpoica).
- f. Desarrollo de un Sistema de Manejo y Alerta Temprana para la Chinche de los Pastos, *Collaria scenica*, en relación con el Cambio Climático en el Altiplano Cundiboyacense (Corpoica).
- g. Investigación sobre los efectos del Cambio Climático en la distribución altitudinal de insectos plaga y sus enemigos naturales: El caso del cultivo del café en Colombia (Corpoica).

La Chinche de los Pastos - *Collaria scenica*, es una importante plaga que afecta las gramíneas forrajeras de la Sabana de Bogotá. Estudios realizados por Barreto (1996), documentan la importancia de la plaga, la cual reduce la disponibilidad de biomasa forrajera hasta 25% y disminuye la digestibilidad en un 10%. El mismo estudio reporta un descenso en la producción de leche de entre 0.5 y 5 litros/vaca/día y, en algunas fincas, pérdidas de 27 litros/fanegada /día. Estos efectos van acompañados de una reducción de la capacidad de carga de los potreros afectados, reducción que fue estimada por ganaderos encuestados entre 0.2 y 2 unidades animales/fanegada. En general, se estima que los ganaderos dejan de recibir entre 19 y 34% de su ingreso normal, como consecuencia del ataque de la chinche.

En un trabajo realizado por Duarte *et al.* (1998), se observó que la chinche de los pastos parecía presentar un avance territorial en dirección norte desde la Sabana de Bogotá. El trabajo reportó que en la Sabana de Bogotá los meses de mayor infestación de los potreros fueron Diciembre - Febrero y Junio - Julio, coincidiendo con los registros más bajos de precipitación.

Debido a la importancia del clima en el desarrollo de este insecto, en la Universidad Nacional se está desarrollando, a través de una tesis de maestría (Rodriguez, A., 2010) un sistema de alertas agroclimáticas tempranas para su mejor manejo y control en la sabana de Bogotá. Con el trabajo se busca apoyar la investigación que en el tema está realizando Corpoica, analizar la relación entre la presencia del insecto y la variabilidad de los elementos agroclimáticos, analizar la tendencia de las series de temperatura y precipitación en las estaciones localizadas en las zonas piloto, analizar las posibles temperaturas medias anuales, precipitación anual, evapotranspiración anual, para los años 2020 y 2030 en las estaciones involucradas y los impactos esperados en la presencia y distribución espacial de la plaga y definir un sistema de alertas tempranas para la chinche.

Literatura citada

- AGUILERA, E., J. AGUDELO, L. FUENTES, F. NEIRA, L. SANTA, 2008. Dinámica de *Spodoptera frugiperda* (Lepidóptera: Noctuidae) en dos paisajes agropecuarios del Tolima. Resumen de presentación oral del XXXV Congreso colombiano de entomología.
- BARRETO, N., 1996. Estudios básicos para el manejo de poblaciones de chinche de los pastos (*Collaria columbiensis*, carvalho) En la sabana de Bogotá. Tesis M.Sc. Ciencias agrarias Universidad Nacional de Colombia Bogotá. 76 p.
- BENAVIDES, H. O. 2008. Análisis de índices de extremos climáticos para Colombia usando el RCLimdex. En: "Seminario sobre cambio climático en Iberoamérica". IDEAM. Bogotá.
- BOSHELL, F., A. PEÑA Y E. AGUILERA. 2009. Variabilidad climática y cambio climático. Implicaciones para el manejo de los insectos de importancia agrícola en dos zonas del Valle cálido del alto Magdalena (Tolima). Capítulo 2. Libro: Relaciones entre *Spodoptera frugiperda* y las

- condiciones paisajísticas en dos regiones agrícolas del Tolima. Autor principal: E. Aguilera. En edición.
- DUARTE, O., CASTILLO, S., GOMEZ, F., REY, A., Y ARAGÓN, R., 1998. La chinche de los pastos efectos de sus ataque y estrategias para su control en fincas lecheras. Boletín de investigación. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. Regional uno (Boyacá-Cundinamarca). Programa Nacional de Agroecosistemas. 18 pp.
- FAO. 2000. Two essays on climate change and agriculture, a developing country perspective. Economic and Social Development Paper. FAO, Roma.
- FAO. 2005. Impact of Climate Change, Pests and Diseases on Food Security and Poverty Reduction. 31ª Sesión del Comité de Seguridad Alimentaria Mundial, 23-26 mayo 2005. FAO, Roma.
- FAO and Asian Disaster Preparedness Centre. 2006. Livelihood adaptation to climate variability and change in drought-prone areas of Bangladesh. (Institution for Rural Development case study), FAO, Roma.
- FAO. 2007. Adaptation to climate change in agriculture, forestry and fisheries: Perspective framework and priorities. GTI sobre cambio climático, FAO, Roma.
- HATFIELD, J., K. BOOTE, P. FAY, L. HAHN, C. IZAURRALDE, B.A. KIMBALL, T. MADER, J. MORGAN, D. ORT, W. POLLEY, A. THOMSON, AND D. WOLFE, 2008. Agriculture. In: *The effects of climate change on agriculture, land resources, water resources, and biodiversity*. A Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research. Washington, DC., USA, 362 pp
- IDEAM. 2008. El Cambio Climático en Colombia: Emisiones, Impactos y Adaptación. Ricardo J. Lozano - Director General. En: Seminario "Cambio climático: retos y oportunidades para Colombia". Bogotá.
- IDEAM. 2009. Inventario nacional de fuentes y sumideros de gases de efecto invernadero. 2000 – 2004. Bogotá. 340 pp.
- IPCC. 2007a. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribución del Grupo de Trabajo I al cuarto informe de evaluación del IPCC. Cambridge University Press, Cambridge Reino Unido y Nueva York, EEUU.
- IPCC. 2007b. Climate change 2007: Mitigation. Contribución del Grupo de Trabajo III al cuarto informe de evaluación del IPCC. Cambridge University Press, Cambridge Reino Unido y Nueva York, EEUU.
- KIRITANI, K., 2006. Predictings impacts of global warming on population dynamics and distribution of arthropods in Japan. *Population ecology* 48:5-12
- PABÓN, J. D. 2008. Escenarios de cambio climático en Colombia bajo condiciones IPCC A2 y B2. En: "Seminario sobre cambio climático en Iberoamérica". IDEAM. Bogotá.
- RODRÍGUEZ, A. 2010. Desarrollo de un sistema de alertas agroclimáticas tempranas para la chinche de los pastos, *Collaria scenica*, en la Sabana de Bogotá. Proyecto de Tesis de Maestría en Ciencias – Meteorología. Universidad Nacional de Colombia.

La diversidad de insectos en Colombia: entognatos a polineópteros

Insect diversity in Colombia: Entognata and Polyneoptera

Germán Amat y Fernando Fernández

Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Apartado 7495, Bogotá D.C., Colombia.
gdamatg@unal.edu.co, ffernandezca@unal.edu.co.

Introducción

Los insectos son el grupo de animales más exitoso en el Planeta Tierra, con más de un millón de especies descritas. Parte de esta abundancia se debe a su variada biología, unida a una larga historia de más de 400 millones de años y muy poca respuesta a las extinciones en masa. El escenario más importante, del pasado y presente, donde se ha cumplido esta exitosa diversificación es la región tropical, en ella se han alojado la mayoría de especies de insectos, muchos de ellos sin describir.

Diversos estudios y estimaciones califican a Colombia como un país “megadiverso”, es decir, poseedor de altos números de especies de plantas y animales. Buena parte de esta riqueza se debe a grupos relativamente bien conocidos de plantas y animales como angiospermas o vertebrados, aunque la diversidad potencial de artrópodos podría ratificar abruptamente la condición de Colombia como uno de los principales países de la megabiodiversidad.

En esta presentación se muestran y analizan datos firmes de especies descritas y/o presentes en el país, como una primera tarea conducente a conocer la dimensión real de la riqueza de hexápodos en Colombia. Dado que los hexápodos comprenden unos 28 órdenes vivientes en la Región Neotropical (y Colombia), es imposible realizar esta tarea con todos los órdenes. Obtener información fiable, moderna y completa sobre la diversidad de los hemipteroideos (Paraneoptera o Hemineoptera) y los holometábolos (Endopterygota o Endoneoptera) es imposible debido a la escasez de datos o catálogos accesibles para muchos órdenes o familias. Por este motivo esta visión de diversidad se realiza con los hexápodos no eumetábolos (Cuadro 1), es decir endognatos (Parainsecta), los insectos apterigotos (Archaeognatha y Zygentoma), los “paleópteros” (Ephemeroptera y Odonata) y los polineópteros (Plecoptera a Zoraptera).

Objetivos y métodos

El propósito de esta presentación es ofrecer un contexto histórico general y una síntesis de la diversidad de los hexápodos no eumetábolos, es decir hexápodos excepto Hemineoptera (piojos, trips y chinches) y holometábolos (Endopterygota). Para obtener información se ha recurrido a literatura primaria, revisiones o monografías y catálogos impresos o en la red. En cada caso se cita la fuente de información y en la sección de agradecimientos los nombres de las personas que ofrecieron información, datos o referencias.

La información y análisis se basan en los géneros y especies descritas o registradas para el país y no en estimaciones. Las especies no registradas para el país, pero incluidas en los números presentados, son sólo aquellas cuya presencia en Colombia es segura por estar en países vecinos y

opuestos, como Panamá y Ecuador, o Panamá y Brasil. Especies sólo en países vecinos, aunque probables, no se incluyen en los resultados.

Marco histórico del conocimiento de la diversidad de insectos en Colombia

La estimación de la diversidad de insectos en nuestro país tiene un referente de partida importante, la Real Expedición Botánica del Nuevo Reino de Granada, liderada por José Celestino Mutis, entre 1783 y 1812. El proyecto “Fauna Cundinamarquesa” estuvo a cargo de Jorge Tadeo Lozano y el tema entomológico recayó en otro zoólogo de la expedición, Fray Diego García. A partir de 1793, y durante 6 años, colectó una muestra representativa de insectos en gran parte del territorio granadino. Durante el siglo XIX y los inicios del s. XX se conoció una gran variedad de especies de insectos, como fruto de la misión docente e investigativa ejercida desde la Escuela de Ciencias Naturales, creada en el seno de la Universidad Nacional de Colombia y de las publicaciones periódicas de la Sociedad Colombiana de Ciencias Naturales. Después de 1912 surgieron instituciones, personajes, excursiones nacionales y colecciones científicas que dieron cuerpo a la documentación de la biodiversidad entomológica colombiana. Hasta 1996, año del I encuentro del Grupo Invertebrados de Colombia, convocado por la Universidad Nacional y el Instituto Humboldt, se conoce de aproximadamente 20.000 especies, que corresponde tan sólo al 2% de todas las especies conocidas del mundo. El número estimado de especies puede superar las 60.000 especies, esto es aproximadamente el 30% de todas las especies presentes en toda la región Neotropical. Muchos grupos de insectos están sin conocer en el país y actualmente se describen especies nuevas con cierta regularidad (Amat *et al.* 1999; Fernández *et al.* 2004).

Hoy, los estudios sobre la composición y riqueza de especies tienen los siguientes componentes: a) Prospecciones faunísticas: con colectas y muestreos. b) Catalogación de colecciones entomológicas: con bases de datos y georeferenciación. c) Estudios taxonómicos: estudios de taxonomía alfa para consolidar listas de inventario a nivel local y regional. d) Incorporación del componente filogenético a los programas de investigación, con el influjo de la biología molecular y los códigos de barras en la genómica (*DNA barcodes*).

Riqueza de Hexápodos no eumetabolos en Colombia

ENDOGNATHA (PARAINSECTA)

Collembola

Este orden de hexápodos es el mejor conocido dentro de los Endognatha; hay un consenso en la riqueza mundial del grupo concentrado alrededor de las 6700 especies (Deharveng 2004). Mari Mutt y Bellinger (1990) produjeron el catálogo para las especies neotropicales, con adiciones posteriores de Mari-Mutt *et. al* (1996-2001) y Palacio-Vargas (1997). Pese a esto, los estudios que dan a conocer las especies en Colombia son escasos; sólo se conocen unas 70 especies agrupadas en 7 familias, especialmente Neauridae, Isotomidae y Entomobryidae.

Protura

Este es uno de los órdenes de hexápodos menos estudiado taxonómicamente, por lo menos en la Región Neotropical. Szeptycki (2002) registra 5 géneros y 15 especies para Centroamérica y 14 géneros y 39 especies para Sudamérica. Los países que han sido objeto de algunos estudios son México, Brasil y Argentina. Aunque en la red hay una lista de taxones del Mundo (*Synopsis of the*

described Protura 2006), no hay información de distribución geográfica. No existen monografías, catálogos ni claves para la fauna Neotropical. No se ha podido establecer alguna publicación que incluya alguna especie descrita o existente en Colombia; según Tuxen (1977) *Delamarentulus tristani* (Silvestri) es una especie común en el norte de Sudamérica. Parte del pobre conocimiento de los proturos se debe al tamaño y fragilidad de los especímenes, la dificultad en coleccionarlos y la carencia de recursos o herramientas para su identificación. No se conoce de especialistas trabajando la fauna Neotropical.

Diplura

Como en el caso de los proturos, existe una lista de las especies del Mundo, en este caso afortunadamente con datos de distribución. De acuerdo a esta lista (Synopsis of the described Diplura 2006) hay 19 géneros y 200 especies en 6 familias para la Región Neotropical. Como en Protura, son pocos los países con datos de distribución de taxones publicados, entre ellos México, Cuba, Brasil y Argentina. Excepto quizás por *Parajapyx isabellae* (Grassi), un Parajapygidae tropicópola y *Campodea fragilis* Meinert, un Campodeidae cosmopolita, no hay publicaciones conocidas que permitan inferir la existencia de dipluros en Colombia. También como en los proturos, el pequeño tamaño, la rareza en colecciones y las casi nulas monografías existentes impiden cualquier valoración de la diplurofauna de Colombia. No se conoce de especialistas dedicados a la fauna Neotropical. El conocimiento de los dipluros en Colombia es prácticamente nulo.

INSECTA

Archaeognatha

Gracias a los estudios de varios entomólogos europeos, especialmente Helmut Sturm (Universidad de Hildesheim) y Carmen Bach (Universidad de Barcelona), se poseen publicaciones que abordan la biología, sistemática y comportamiento de los arqueognatos. El tratado de Sturm y Machida (2001) es la fuente más completa y reciente sobre el orden, donde hay claves supragenéricas y un capítulo de morfología muy útil para interpretar claves y descripciones. Del orden se conocen dos familias en el Neotrópico, Machilidae (6 géneros y 10 especies) y Meinertellidae (9 géneros y 95 especies). Esta última familia es gondwánica (principalmente al sur de Sur América) con dos géneros y 4 especies descritas para Colombia (Sturm 1983). Aunque los arqueognatos pueden coleccionarse con relativa facilidad en los ambientes apropiados (e incluso con trampas Malaise), deben preservarse con cuidado debido a sus cuerpos frágiles. La identificación a nivel de especie es difícil; las claves para *Meinertellus*, uno de los dos géneros conocidos en Colombia, están en alemán y en revista de difícil acceso (Sturm 1974). No hay especialistas activos dedicados a la fauna Neotropical.

Zygentoma

Un grupo de insectos muy pobremente conocido en taxonomía y filogenia (Mendes 2002), siendo uno de los pocos órdenes de insectos sobre los cuales no hay evidencia de monofilia. Para la Región Neotropical se conocen tres familias, Lepismatidae (13 géneros y 28 especies), Maindroniidae (un género y una especie de Chile) y Nicoletiidae (25 géneros y 80 especies). De Colombia se conocen cinco géneros y seis especies de Lepismatidae y dos géneros y dos especies de Nicoletiidae. Luis Mendes (Instituto de Investigación Científica Tropical de Portugal) es uno de los taxónomos

reconocidos en Zygentoma del Mundo; Luis Espinasa (Departamento de Biología, Marist College, New York) es experto en la fauna de nicolétidos del Nuevo Mundo. No hay claves o monografías disponibles para la fauna Neotropical.

Ephemeroptera

Corresponde, numéricamente hablando, a un pequeño orden de Hexapoda, con cerca de 31000 especies formalmente descritas, incluidas en 40 familias y unos 400 géneros (Barber-James *et. al* 2008). El conocimiento de las especies neotropicales es muy pobre y no hay un consenso real sobre los taxa a nivel de suborden, e incluso de superfamilias (Domínguez 2001). Para Colombia, es importante la revisión de Zuñiga *et. al* (2004) en la que se dan a conocer 39 especies con nombre y 42 géneros.

Odonata

Este es un orden con un conocimiento relativamente avanzado, aunque su taxonomía a nivel de familias es un poco inestable. En el mundo están descritas aproximadamente 5600 especies, gran parte de ellas citadas en la red (Schorr *et. al* 2000). Garrison *et. al* (2006) dieron a conocer los géneros presentes en la Región Neotropical, lo que se constituye un referente importante para el reconocimiento de géneros en Colombia junto con el listado de Paulson (2009), disponible en la red. De acuerdo con León, Palacino y Rojas figuran listadas aproximadamente 330 especies colombianas en las principales fuentes de información taxonómica del grupo.

Plecoptera

Como las efémeras, las “moscas de la piedra” (Plecoptera) son un grupo aceptablemente conocido gracia a su importancia biológica y ecológica como indicadores de calidad de agua dulce. En el Neotrópico el grupo es más común en las partes frías del sur de Suramérica, con una representación más pobre en el norte de Suramérica. En Colombia se han descrito 4 géneros y 69 especies. Existen monografías y claves (Stark *et al.* 2009) y un catálogo en línea puesto en la red recientemente (*Plecoptera Species File* 2010). Entre los especialistas se destaca a María del Carmen Zuñiga (Universidad del Valle) y Eduardo Domínguez (Universidad Nacional de Tucumán).

Dictyoptera

Uno de los grupos mejor estudiados desde el punto de vista de filogenia (Lo 2003; Deitz *et al.* 2003; Klass 2003, 2009). Diversos estudios soportan la monofila del orden, y la parafilia de “Blattodea” con respecto a Isoptera (Inward *et al.* 2007). Lo mejor es considerar a sus tres integrantes, cucarachas, termitas y mántidos como un solo orden, debido a las dificultades en separar dichos grupos como linajes aparte.

En el caso de “Blattodea” se conocen 68 géneros y 68 especies en 5 familias para Colombia, información híbrida entre la lista de Vélez *et al* (2006) y el catálogo en línea del *Blattodea Species File* (2010). En comparación con el Neotrópico la fauna colombiana es pobre, lo cual muestra que hay bastante trabajo por hacer en taxonomía alfa. En Colombia Andrés Vélez (Universidad de Antioquia) ha trabajado con el grupo y Esteban Rodríguez (Museo Nacional de Historia Natural de Cuba) ha descrito especies neotropicales.

Las termitas se han estudiado mejor gracias a su importancia biológica y económica y sus hábitos eusociales. Son fuentes imprescindibles para el conocimiento de la composición de géneros y especies los estudios de Araujo (1977) quien presentó el primer catálogo de termitas del Nuevo Mundo, en el que aparecen listados 70 géneros y 471 especies (excluyendo fósiles). Actualmente se conocen de la Región Neotropical más de 500 especies, incluidas en 83 géneros (Constantino 1998). Constantino (2002) elaboró una clave para el reconocimiento de los géneros neotropicales, aspecto que sin lugar a dudas permitirá avanzar en el conocimiento generico del grupo en nuestro país, cuyo listado inicial fue dado a conocer por Vargas *et al.* (2005) en el que se relacionan 60 géneros para Colombia.

Los mántidos incluyen 8 familias y 1800 especies en la Región Neotropical (Agudelo *et al.* 2007); de acuerdo a Agudelo (2004) hay 6 familias y 116 especies; aunque este número ha aumentado desde entonces, gracias a los trabajos de este mismo autor y Julián Salazar en Caldas (p.e. Ariza y Salazar 2005).

Orthoptera

De todos los órdenes de hexápodos no eumetábolos, Orthoptera es el más grande y muy estudiado en filogenia y sistemática (Flook y Rowell 1997, 1998; Flook *et al.* 1999). Numerosos estudios han abordado diversos aspectos de evolución y biología, con énfasis en uso del canto para separar especies. Del *Orthoptera Species File Online* consultado en la red (2010) y del catálogo de los ortópteros celíferos de Colombia (Carbonell *et al.* 2007) se obtiene la figura de 289 géneros y 749 especies en 16 familias de los subórdenes Caelifera y Ensifera. Este alto número es, sin embargo, una fracción menor de la fauna Neotropical, y se debe principalmente a descripciones publicadas en la primera mitad del siglo XX.

Phasmida

Los insectos palo han recibido una atención relativamente aceptable a pesar de no poseer interés económico. Consultado el *Phasmida Species File* en la red se obtiene la figura de 28 géneros y 58 especies en 5 familias para Colombia. Hay investigadores foráneos y locales trabajando con la fauna Neotropical y de Colombia.

Dermaptera

Las tijeretas han recibido muy poca atención de los taxónomos en la Región Neotropical. Además de las descripciones originales, las pocas contribuciones se deben a Alan Brindle. Del catálogo de dermápteros neotropicales de Reichardt (1968ab, 1970, 1971ab) se obtienen 29 géneros, 57 especies y 6 familias para Colombia. No existen publicaciones taxonómicas modernas de este grupo de insectos con Colombia o la Región Neotropical. No se conoce de especialistas de la región.

Embiopoda

Un grupo poco coleccionado, estudiado casi exclusivamente en su taxonomía por Ross (1944, 2001, 2003ab). Se conocen 12 géneros y 15 especies de en seis familias en Colombia. El grupo está muy pobremente representado en las colecciones del país. Claudia Szumik (Universidad Nacional de Tucumán) ha estudiado la filogenia del orden y la taxonomía de algunos grupos (Szumik 2001, 2004).

Zoraptera

Este orden comprende una sola familia y un género vivientes. Se ha descrito de Colombia *Zorotypus hamiltoni* New de la Finca Meremberg, Huila. Existen ejemplares de otras partes del país, sin identificación taxonómica. Este único registro es una fracción mínima de las casi 16 especies conocidas para la Región Neotropical (Hubbard 1990; Choe 1989; Engel 2000, 2001). Como en los proturos y dipluros, estos insectos poseen cuerpos blandos que hacen difícil la identificación. No se conoce de especialistas trabajando activamente la fauna Neotropical.

Discusión

Como país “megadiverso” en plantas o vertebrados, Colombia también lo es, sin duda, en artrópodos. Desafortunadamente hacer una valoración del tamaño de la fauna de hexápodos es difícil, entre otras cosas por la dificultad en conseguir literatura primaria sobre las publicaciones que describan o relacionen taxones para el país. En los grupos menos conocidos, como proturos o dipluros, prácticamente es imposible conseguir la literatura primaria para al menos tener una idea de las especies descritas o registradas para el país.

De los 16 órdenes de hexápodos no eumetábolos (Cuadro 1) sólo dos (Grylloblattaria y Mantophasmatodea) no están en el Neotrópico ni Colombia. En Colombia se encuentran todos los demás 14 órdenes vivientes, 80 familias y unas 1673 especies descritas (Cuadro 2). Básicamente es en los endognatos y en Plecoptera y Orthoptera donde algunas de las familias neotropicales no están en Colombia. En el caso de los endognatos se debe más a pobreza de colecciones, y en los otros casos se debe más a razones biogeográficas.

Agradecimientos

A Efraín Becerra y Amanda Varela por su invitación a participar en el XXXVII Congreso Colombiano de Entomología para presentar esta primera valoración de los hexápodos no eumetábolos conocidos en Colombia. A María del Carmen Zuñiga, Nancy Rojas, Carolina Medellín, Carmen Bach, Luis Mendes y Ruyichiro Machida por sus aportes en información y/o literatura para enriquecer la información sobre algunos de los grupos.

Literatura citada

- AMAT G., F. FERNÁNDEZ & G. ANDRADE. 1999. Un vistazo actual a la taxonomía de insectos en Colombia (Coleoptera, Hymenoptera y Lepidoptera), pp.13-33 en: G. Amat, G. Andrade & F. Fernández, eds., Insectos de Colombia Vol. 2, Academia Colombiana de Ciencias, Colección J. Alvarez Lleras No. 13, Bogotá D.C.
- AGUDELO A. 2004. Mántidos de Colombia, pp. 43-60 en: F. Fernández, G. Amat & G. Andrade, eds., Insectos de Colombia Vol. 3. Universidad Nacional de Colombia.
- AGUDELO A., F. LOMBARDO & L. J. JANTSCH. 2007. Checklist of Neotropical Mantids (Insecta, Dictyoptera, Mantodea). Biota Colombiana 8(2):105-158.
- ARAUJO R. 1977. Catalogo dos Isoptera do Novo Mundo. Academia Brasileira de Ciencias. Rio de Janeiro. 92 pp.
- ARIZA G.M. & J. SALAZAR. 2005. Nuevas especies de mántidos para Colombia (Insecta: Mantodea). Boletín Científico Centro de Museos 9:121-135.

- BARBER-JAMES, H. M., GATTOLLIAT, J., SARTORI, M., M. HUBBARD. 2008. Global diversity of mayflies (Ephemeroptera, Insecta) in freshwater. *Hydrobiología* 595, 339-400.
- Blattodea Species File Online. 2010. <http://blattodea.speciesfile.org/HomePage.aspx>
- CARBONELL C.S., C.H.F. ROWELL, A. BENTOS-PEREIRA & M.F. PORRAS. 2007. Checklist of Orthoptera Caelifera from Colombia. *Zootaxa* 1594:39-59.
- CHOE, J. C. 1989. *Zorotypus gurneyi*, new species, from Panama and redescription of *Zorotypus barberi* Gurney (Zoraptera, Zorotypidae). *Annals of the Entomological Society of America* 82(2): 149-155.
- CONSTANTINO R. 1998. Catalog of the living termites of the New World (Insecta:Isoptera) *Arquivos de Zoologia* 35(2):135-231.
- CONSTANTINO R. 2002. An illustrated key to Neotropical termite genera (Insecta: Isoptera) based primarily on soldiers. *Zootaxa* 67:1-40.
- DEHARVENG, L. 2004. Recent advances in Collembola systematics. *Pedobiologia* 48: 415-433.
- DEITZ, L. L., C. NALEPA, AND K. D. KLASS. 2003. Phylogeny of the Dictyoptera re-examined (Insecta). *Entomologische Abhandlungen (Dresden)* 61(1):69-91.
- DOMINGUEZ, E. (ed.). 2001. Trends in Research in Ephemeroptera and Plecoptera. Kluwer Academic /Plenum Publisher, New York.
- ENGEL, M. S. 2000. A new *Zorotypus* from Peru, with notes on related neotropical species (Zoraptera: Zorotypidae). *Journal of the Kansas Entomological Society* 73(1): 11-20.
- ENGEL, M. S. 2001. New Neotropical records for three *Zorotypus* species (Zoraptera: Zorotypidae). *Entomological News* 112(4): 278-280.
- FERNÁNDEZ F., G. ANDRADE Y G. AMAT. 1999. El estudio de los insectos en Colombia y los retos de la entomología del Nuevo Siglo, pp. 11-15 en: F. Fernández, G. Amat & G. Andrade, eds., *Insectos de Colombia Vol. 3*. Universidad Nacional de Colombia.
- FLOOK, P. K. & ROWELL, C. H. F. 1997. The phylogeny of the Caelifera (Insecta, Orthoptera) as deduced from mitochondrial rRNA gene sequences. *Molecular Phylogenetics & Evolution* 8: 89-103.
- FLOOK, P. K. & ROWELL, C. H. F. 1998. Inferences about orthopteroid phylogeny and molecular evolution from small subunit nuclear ribosomal RNA sequences. *Insect Mol. Biol.* 7: 163-178.
- FLOOK, P. K. KLEE, S., & ROWELL, C. H. F. 1999. A combined molecular phylogenetic analysis of the Orthoptera and its implications for their higher systematics. *Syst. Biol.* 48: 233-253.
- GARRISON, M., N. VON ELLENRIEDER & J. LOUTON. 2006. Dragonfly genera of the New World. The Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- HUBBARD M.D. 1990. A catalog of the order Zoraptera (Insecta). *Insecta Mundi* 4:1-18.
- INWARD, D., G. BECCALONI & P. EGGLETON. 2007. Death of an order: a comprehensive molecular phylogenetic study confirms that termites are eusocial cockroaches. *Biology Letters* 3:331-335.
- KLASS, K. D. 2003. Relationships among the principal lineages of Dictyoptera inferred from morphological data. *Entomologische Abhandlungen (Dresden)* 61(2): 134-137.
- KLASS K.D. 2009. A critical review of current data and hypotheses on Hexapod phylogeny. *Proc. Arthropod. Embryolog. Soc. Jap.* 43:3-22.
- LO, N. 2003. Molecular phylogenetics of Dictyoptera: insights into the evolution of termite eusociality and bacterial endosymbiosis in cockroaches. *Entomologische Abhandlungen (Dresden)* 61(2): 137-138.
- MARI MUTT, J. A. AND BELLINGER P. F. 1990. A Catalog of the Neotropical Collembola. Sandhill Crane Press, Gainesville, Florida.

- MARI MUTT, J. A., BELLINGER P. F. AND JANSEENS, F. 1996-2001. Checklist of the Collembola: Supplement to the Catalog of the Neotropical –may 1996-2001. Nov. 01, <http://www.collembola.org/publicat/neotrcat.html>
- MENDES, L. F. 2002. Taxonomy of Zygentoma and Microcoryphia: historical overview, present status and goals for the new millennium. *Pedobiologia* 46:225-233.
- Orthoptera Species File Online*. 2010. <http://osf2.orthoptera.org/HomePage.aspx>
- PALACIO-VARGAS, J. G. 1997. Catálogo de los Collembola de México. Coordinación de Servicios Editoriales. Facultad de Ciencias, UNAM. México.
- PHASMIDA SPECIES FILE. 2010. <http://phasmida.speciesfile.org/Common/basic/Taxa.aspx?TaxonNameID=1000004>
- PAULSON, D. R. 2009. South American Odonata. List of the Odonata of South America, by country. <http://www.ups.edu/x7039.xml>.
- PLECOPTERA SPECIES FILE. 2010. <http://plecoptera.speciesfile.org/Common/basic/Taxa.aspx>.
- REICHARDT H. 1968a. Catalogue of New World Dermaptera (Insecta). Part I. Introduction and Pygidicranoidea. *Papéis Avulsos de Zoologia* 21(19):183-193.
- REICHARDT H. 1968b. Catalogue of New World Dermaptera (Insecta). Part II. Labioidea, Carcinophoridae. *Papéis Avulsos de Zoologia* 22(5):35-46.
- REICHARDT H. 1970. Catalogue of New World Dermaptera (Insecta). Part III. Labioidea, Labiidae. *Papéis Avulsos de Zoologia* 23(10):83-109.
- REICHARDT H. 1971a. Catalogue of New World Dermaptera (Insecta). Part IV. Forficuloidea. *Papéis Avulsos de Zoologia* 24(12):161-14.
- REICHARDT H. 1971b. Catalogue of New World Dermaptera (Insecta). Part V. Additions, corrections, bibliography and index. *Papéis Avulsos de Zoologia* 24(18):221-257.
- ROSS, E. S. 1944. A revision of the Embioptera, or web-spinners, of the New World. *Proceedings of the U.S. National Museum* 94:401-504.
- ROSS, E. S. 2001. Embia: Contributions to the biosystematics of the insect order Embiidina. Part 3. The Embiidae of the Americas (Order Embiidina). *Occasional Papers of the California Academy of Sciences* 150:1-86.
- ROSS, E. S. 2003a. Embia: Contributions to the biosystematics of the insect order Embiidina. Part 4. Andesembidae, a new Andean family of Embiidina. *Occasional Papers of the California Academy of Sciences* 153:1-13.
- ROSS, E. S. 2003b. Embia: Contributions to the biosystematics of the insect order Embiidina. Part 5. A review of the family Anisembidae with descriptions of new taxa. *Occasional Papers of the California Academy of Sciences* 154:1-123.
- SCHORR, M., LINDEBOOM, L., PAULSON D. 2000. List of Odonata of the world. <http://www.ups.edu/x6140.xml>.
- STARK B., C. FROELICH & M. C. ZUÑIGA. 2009. South American Stone Flies (Plecoptera). *Aquatic Biodiversity in Latin America Vol. 5*. Pensoft, Bulgaria, 154 p.
- STURM H. 1974. Zur taxonomie der gattung *Meinertellus* Silv. (Ins.: Thysanura: Machiloidea). *Abh. Verh. Naturw. Ver. Hamburg (NF)* 17:157-220.
- STURM H. 1983. Contribución al conocimiento de los Machiloidea de Colombia (Archaeognatha: Insecta). *Caldasia* 13(65):787-816.
- STURM H. & R. Machida. 2001. Archaeognatha. *Handbook of Zoology. Volume IV Arthropoda: Insecta. Part 37*. W de G de Gruyer, 213 p.
- Synopsis of the described Diplura of the World. 2006. <http://insects.tamu.edu/research/collection/hallan/Arthropoda/Insects/Diplura/Family/Diplura1.htm>
- Synopsis of the described Protura of the World. 2006. <http://insects.tamu.edu/research/collection/hallan/Arthropoda/Insects/Protura/Family/0ProturaIndex0.htm>

- SZEPTYCKI A. 2002. The taxonomy of Protura – present status and future problems. *Pedobiologia* 46:209-214.
- SZUMIK, C. A. 2001. Nuevos Embiopteros de America del Sur. *Revista de la Sociedad Entomologica Argentina* 60: 257-272.
- SZUMIK, C. A. 2004. Phylogenetic systematics of Archembiidae (Embiidina, Insecta). *Systematic Entomology* 29: 215-237.
- TUXEN S.L. 1977. Ecology and Zoogeography of Brazilian Protura (Insecta). *Neotropical Fauna & Environment* 12(4):225-247.
- VARGAS-NIÑO A., SÁNCHEZ, O., F. SERNA. 2005. Listado de los géneros de Termitidae (Insecta: Isoptera) de Colombia. *Biota de Colombia* 6(2):181-190
- VÉLEZ A., M. WOLFF & E. GUTIERREZ. 2006. Blattaria of Colombia. List and distribution of genera. *Zootaxa* 1210:39-52.
- ZÚNIGA, M., MOLINER, C., E. DOMÍNGUEZ. 2004. El orden Ephemeroptera (Insecta) en Colombia, pp. 17-42 en: Fernández, F. Andrade, G., G. Amat (eds). *Insectos de Colombia*. Vol. 3. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.

Cuadro 1. Sinopsis supraordinal de los órdenes de hexápodos vivos incluidos en este estudio (excepto los órdenes de Xenonomia, que no están en el Neotrópico) con base en Terry & Whiting (2005) y Grimaldi & Engel (2005).

Epiclasa HEXAPODA	
Clase ENTOGNATHA	
1 Orden Collembola	
2 Orden Protura	
3 Orden Diplura	
Clase INSECTA	
4 Orden Archaeognatha	
DICONDYLIA	
5 Orden Zygentoma	
PTERYGOTA	
6 Orden Ephemeroptera	
Metapterygota	
7 Orden Odonata	
Neoptera	
Polyneoptera	
	Orthopterida
8 Orden Orthoptera	
	Eukinolabia
9 Orden Embioptera	
10 Orden Phasmatodea	
	Plecopterida
11 Orden Plecoptera	
	Haplocercata
12 Orden Dermaptera	
13 Orden Zoraptera	
	Dictyopterida
14 Orden Dictyoptera (Blattodea + Isoptera + Mantodea)	
	Xenonomia
15 Orden Grylloblattaria	
16 Orden Mantophasmatodea	
Eumetabola	
	Paraneoptera
	Holometabola

Cuadro 2. Número de familias y especies de insectos vivientes en Colombia en los hexápodos no eumetábolos. Dictyoptera se ha dividido en los tres subórdenes.

Taxa	Colombia	
	Familias	Especies
Collembola	7	70
Protura	1	1
Diplura	1	1
Archaeognatha	1	4
Zygentoma	2	8
Ephemeroptera	9	42
Odonata	10	331
Plecoptera	2	66
Dermaptera	6	57
Zoraptera	1	1
“Blattodea”	4	104
Isoptera	3	150
Mantodea	6	116
Grylloblattodea	0	0
Mantophasmatodea	0	0
Embiidina	6	15
Phasmatodea	5	58
Orthoptera	16	749
Totales	80	1673

Simposios

Simposio Comportamiento de insectos y ecología química

Coordinadora:

**Nancy Barreto-Triana, Ph. D.
Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-Corpoica, C.I.
Tibaitatá.**

Comportamento e ecologia química de insetos: Aplicações no manejo de pragas

Behavior and chemical ecology in insects

José Maurício Simões Bento

PhD, Universidade de São Paulo – USP, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ, Lab. Ecologia Química e Comportamento de Insetos, 13418-900 Piracicaba SP, Brasil, jmsbento@esalq.usp.br

O comportamento animal envolve toda atividade – com ou sem movimento – exercida por um indivíduo em seu ambiente. A observação e o registro cuidadosos desse comportamento nos fornecem indicações quanto à sua motivação, função e origens dos padrões comportamentais. Para um animal em seu *habitat* o comportamento tem um significado adaptativo imprescindível que permite à espécie sobreviver e evoluir dentro das condições ambientais dominantes. Atividades vitais como acasalamento, alimentação e reprodução fazem parte do dia a dia dos animais. O estudo do comportamento oferece uma oportunidade excepcional para compreender como os seres vivos se adaptam e interagem com o ambiente e demais organismos. Nos insetos, especialmente, aqueles considerados pragas, o entendimento de seu comportamento pode significar a chave para o seu manejo. Para os insetos benéficos, como parasitóides e predadores, o estudo do comportamento pode, por exemplo, representar o sucesso do controle biológico. Além disso, o comportamento pode ainda ser utilizado para auxiliar ou otimizar outras estratégias de controle, como o químico, ou em certos casos, como uma medida de controle propriamente dita.

Conceitos

A comunicação é parte integrante do comportamento, e corresponde ‘a uma ação de um organismo que altera o padrão de comportamento de outro organismo’ (Wilson 1970). Diferentemente de outros animais que utilizam amplamente a visão e audição, o sistema olfativo nos insetos por meio de sinais químicos é a fonte primária de comunicação. O termo apropriado para compostos químicos na comunicação animal é semioquímicos (do grego *semeion* sinal) (Law and Regnier 1971).

Os semioquímicos que atuam entre indivíduos da mesma espécie (intraespecífico) são chamados de feromônios. Estas moléculas foram originalmente definidas como ‘substâncias secretadas para o meio externo por um indivíduo e recebida por um segundo indivíduo da mesma espécie, desencadeando uma reação específica, interferindo em seu comportamento [*feromônio desencadeador*] ou no seu processo de desenvolvimento [*feromônio preparador*]’ (Karlson and Lüscher 1959). O termo feromônio vem do grego *pherein*, para carregar ou transferir, e *hormōn*, para excitar ou estimular.

Em razão de sua estrutura molecular, os feromônios apresentam variações quanto a sua volatilidade, estabilidade e persistência no ambiente. Diferentes tipos de compostos químicos podem agir qualitativamente do mesmo modo para diferentes espécies, assim como, um mesmo composto, encontrado em diferentes espécies, pode induzir atividades comportamentais diferentes. Desse modo, os feromônios podem ser classificados de acordo com a função que desencadeiam no(s) indivíduo(s) receptor(es) da mensagem, incluindo: (i) sexual, (ii) agregação, (iii) alarme, (iv) trilha, (v) territorialidade, (vi) oviposição, (vi) dispersão, entre outros.

Dentre os feromônios, os mais empregados no Manejo Integrado de Pragas (MIP), são os feromônios sexuais e os de agregação. Feromônios sexuais são mensageiros químicos produzidos por um sexo para a atração do sexo oposto com propósito de reprodução. Estes compostos estão entre as substâncias fisiologicamente mais ativas hoje conhecidas, por causarem respostas quando usadas em concentrações extremamente baixas. Os feromônios de agregação são substâncias químicas produzidas por um sexo, que atraem ambos os sexos para acasalamento e alimentação, e normalmente, envolvem voláteis da planta atacada.

Os semioquímicos que atuam entre indivíduos de espécies diferentes (interespecífico) são chamados de aleloquímicos, sendo classificados de acordo com os custos e benefícios ao emissor e receptor (Nordlund 1981). Dentre os aleloquímicos, existe uma grande diversidade de substâncias que em função do tipo de comportamento que desencadeiam são conhecidos como cairomônios (beneficiam o receptor), alomônios (beneficiam o emissor) e sinomônios (beneficiam a ambos).

A ecologia química é a ciência que busca compreender 'a origem, função, e o significado dos compostos químicos naturais que regulam as interações entre os organismos' (Journal of Chemical Ecology 2007). Neste contexto, sempre que há interação de organismos por meio de compostos químicos, incluindo feromônios e aleloquímicos, procura-se explicar estes mecanismos por meio da ação destas moléculas no ambiente, bem como todo comportamento por ela desencadeado.

Mais recentemente, a importância da ecologia química tem se voltado para investigações relacionadas às interações multitróficas, num contexto ecológico de cadeias alimentares. Por exemplo, na produção de voláteis de plantas após o ataque de insetos herbívoros que resultam na atração de inimigos naturais destes insetos (Turlings *et al.* 1995).

1. Uso de semioquímicos no MIP

A descoberta de um ou mais compostos químicos, que atuem como feromônio para uma dada espécie, pode vir a ser a chave para o seu manejo ou controle. O feromônio pode ser empregado simplesmente para auxiliar ou otimizar outras estratégias de controle, como o químico ou biológico, ou ainda, em alguns casos, como uma medida de controle propriamente dita. Junto dos feromônios de agregação, podem estar presentes ainda atraentes alimentares, com a finalidade de aumentar sua eficiência.

A forma de utilização dos feromônios são as mais variáveis, em função, principalmente, do inseto alvo, da cultura e das características químicas e físicas dos compostos químicos envolvidos. De um modo geral, os feromônios sexuais e de agregação, podem ser empregados no monitoramento, coleta massal, aniquilação de machos ('atrai e mata') e no confundimento, descritos a seguir.

1.1. Monitoramento

O monitoramento consiste num acompanhamento regular da população de um inseto-praga, por meio de armadilhas contendo o feromônio sintético ou o sexo emissor aprisionado em gaiolas numa área conhecida. A partir desse sistema, é possível indicar ou não a presença da praga nesta área, e quando presente, em que níveis populacionais, facilitando a adoção de medidas de controle, a fim de se evitar ou reduzir os seus danos. A utilização desta estratégia torna o controle da praga mais econômico e efetivo, racionalizando as pulverizações e preservando os inimigos naturais no agroecossistema.

As possibilidades de utilização de um feromônio para o monitoramento podem ser assim representadas:

Incidência prematura de pragas

Uma das maiores utilidades da aplicação de feromônio na detecção ou determinação da incidência prematura de pragas é estabelecer justamente quando a praga não está presente. Isto sozinho pode representar uma enorme redução no uso de inseticidas, quando partimos do princípio que muitos produtores estabelecem calendários de aplicação em diversas culturas, ou ainda que muitas pragas ocorrem esporadicamente durante um período, ou de um ano para outro. Portanto, esta primeira utilidade do feromônio requer somente um método sensível de “armadilhamento” para constatar qualitativamente o início do aparecimento do inseto alvo na cultura com grande eficácia (Wall 1990).

Levantamentos de áreas infestadas

Esta aplicação pode ser útil para se determinar a distribuição de um inseto numa dada área geográfica (Elkinton and Cardé 1981). Particularmente, tem sido empregada em insetos-praga de grandes culturas, que normalmente ocupam extensas áreas como, por exemplo, em florestas (Sanders 1978; Schwalbe 1981) e plantios de cana-de-açúcar (Bento *et al.* 1995). Pode também ser útil em grandes armazéns, para pragas de produtos ou grãos armazenados (Burkholder 1990). A distribuição de armadilhas iscadas com feromônio em pontos estratégicos nestas áreas, pode indicar a presença da praga em pontos localizados (reboleiras). Num futuro, estes locais podem ser monitorados, e com isso reduzir o número de armadilhas requeridas inicialmente para monitorar toda a área abrangida pela cultura (Wall 1989). Em certos casos, um controle através de inseticidas, por exemplo, nestas reboleiras pode impedir a disseminação da praga para as demais áreas.

Inspeção e prevenção quarentenária

Prevenção é uma estratégia amplamente utilizadas em todo o mundo para impedir a introdução de insetos-pragas provenientes de outras regiões geográficas. Isto envolve o uso de quarentena e tratamentos profiláticos para prevenir o estabelecimento de populações que tendem a explodir ou que não possam ser prontamente controladas por tratamentos curativos (Klassen *et al.* 1982).

A quarentena são medidas impostas por agências reguladoras nos mais diversos países, visando interceptar insetos-pragas exóticos ou impedir a sua disseminação para áreas não infestadas. Um modelo deste programa adotando feromônios e atraentes químicos tem sido amplamente utilizado nos Estados Unidos (Schwalbe and Mastro 1990). Deste modo, armadilhas iscadas com estes compostos são colocadas ao redor de aeroportos, portos marítimos, áreas de apoio ao longo de rodovias e nas principais divisas de novas infestações. Estas armadilhas tem a função de detectar e suprimir o inseto-praga, embora, esta ação de supressão geralmente não é suficiente, e outros métodos possam ser utilizados ao primeiro registro do inseto na armadilha, como pulverização com inseticida, devolução ou destruição de carga quando for o caso.

Programas de erradicação de insetos-pragas de um país ou região, são muito dispendiosos financeiramente e requerem muito trabalho e persistência. O uso de feromônios e atraentes auxiliam na delimitação de áreas de ocorrência e avaliação dos resultados a partir de outros métodos de controle como a liberação de machos estéreis, parasitóides, inseticidas e

confundimento, que podem ser empregado sozinho ou combinados durante o processo de erradicação (Steiner *et al.* 1961; Steiner *et al.* 1965; Beroza 1972).

Limiares de ação

Armadilhas iscadas com feromônio são suficientemente sensíveis para capturar insetos seletivamente, de forma consistente e a baixas densidades populacionais. Com base neste princípio, normalmente um mínimo de captura, ou uma taxa de captura é utilizada como sinal, para se calcular ou prever o momento de ocorrência do estágio suscetível ou danoso do ciclo de vida do inseto (Wall 1989) e podem estar associados a dados climáticos ou fenológicos da planta (Welch *et al.* 1981). Este tipo de informação, tem sido útil na determinação de datas para a pulverização de inseticidas. Para tanto, são utilizados diversos parâmetros como somatórios de temperatura do ar, em *Adoxophyes orana* (Minks and De Jong 1975), *Cydia pomonella* (Riedl *et al.* 1976; Glen & Brain 1982) e *Cydia nigricana* (Macaulay *et al.* 1985). O cumulativo em graus dia, em *Grapholita molesta* por Tanaka and Yabuki (1978), e em *C. pomonella*, por Charmillot (1980). Ainda em *C. pomonella*, Alford *et al.* (1979), Baker *et al.* (1980) e Wall (1988) utilizaram o cumulativo em graus dia, associado com a predição da fenologia da planta, para efetuar uma sincronização nas pulverizações. Em *Spodoptera litura* segundo Nakasuji and Kiritani (1978), obteve-se uma correlação entre a captura de machos na armadilha e a densidade do quarto instar larval por m². Em *Pectinophora gossypiella*, de acordo com Ingram (1980), tem sido estabelecido um limiar de captura na armadilha com relação ao nível de dano na cultura.

Estimativas populacionais

Visando-se obter estimativas populacionais, a captura em armadilhas deve refletir um nível de população proporcional ao encontrado na cultura (Datterman 1982). Daí a necessidade da otimização destes estudos, ou seja, quanto mais precisos forem os métodos utilizados, maiores serão as possibilidades de sucesso no monitoramento. Uma das metodologias mais empregadas tem sido a correlação entre o número de insetos capturados na armadilha e a massa de ovos e/ou população de larvas no campo, normalmente os primeiros instares (Allen *et al.* 1986; Sanders & Meighen 1987; Kolodny-Hirsch & Schwalbe 1990; Sanders 1990).

Em programas de monitoramento, ainda se dispõe de poucas informações para explicar a pobre correlação entre os dados de captura na armadilha iscada com feromônio (insetos adultos) e as subsequentes densidades de ovos e larvas para muitas das pragas estudadas (Buchelos and Levinson 1985; Palaniswamy *et al.* 1990). Entre as possibilidades para esta baixa correlação, incluem-se: (a) o intervalo de tempo, muitas vezes de várias semanas entre os dois estágios amostrados, permitindo uma lacuna que favoreça uma imprecisão no método (Campion 1984), (b) as dificuldades nas interpretações em condições de alta densidade populacional de ovos e larvas no campo, muitas vezes não refletidas nas capturas da armadilha, de modo confiável e consistente, ao invés do que ocorre em baixas densidades populacionais (Wall 1989), e (c) as variações naturais da população de ano a ano e de local para local (Sanders 1990).

O uso da estimativa populacional por meio de armadilha iscada com feromônio, pode ainda ser útil na avaliação do efeito do controle de pragas, como por exemplo, no pós-tratamento de inseticidas em culturas, incluindo-se os grãos armazenados (Buchelos and Levinson 1985; Burkholder 1985). Neste caso, uma vez realizada a pulverização de diferentes inseticidas ou doses, pode-se compará-los entre si, observando-se as capturas nas armadilhas. A precaução que se deve tomar é o momento correto de se utilizar a armadilha contendo feromônio nestas condições, já que pode

haver uma maior captura dos insetos após a aplicação do inseticida, devido a um aumento da mobilidade dos insetos induzida pela irritabilidade de certos produtos (Madsen 1981).

A eficiência da aplicação de feromônio pela técnica de confundimento, também pode ser determinada através de um monitoramento (Doane and Brooks 1980). Entretanto, o uso de feromônio em armadilhas com este propósito é questionável, já que uma grande redução na captura, geralmente não é acompanhada pela significativa redução na frequência de acasalamento (Wall 1989). De acordo com Haynes *et al.* (1986, 1987) outra importante utilidade das armadilhas iscadas com feromônio é de se monitorar o nível de resistência de inseticidas numa dada população.

1.2. Coleta massal

A coleta massal é um método de controle, no qual utiliza-se o feromônio sintético em um grande número de armadilhas, com o intuito de se capturar o maior número possível do inseto-praga alvo, seletivamente, a fim de suprimir sua população para mantê-la abaixo do nível de dano econômico.

Uma das grandes dificuldades no emprego da coleta massal envolve a proporção com que a população do inseto-praga, necessitaria ser aprisionada (removida) e o número ideal de armadilhas por área, para se assegurar um controle efetivo. Apesar da carência de informações para estas questões, a partir do uso da coleta massal como estratégia de controle, em muitos trabalhos têm sido observada uma redução significativa ou a ausência na aplicação de inseticidas para diversos insetos-praga. Os melhores resultados têm sido obtidos com pragas cujas densidades populacionais estavam baixas durante o seu emprego e, normalmente, em culturas perenes ou semi-perenes e de produtos armazenados, enquanto, que limitado sucesso tem sido alcançado em culturas anuais.

Um grande benefício da coleta massal refere-se, principalmente, aos insetos-praga que utilizam feromônio de agregação, considerando-se que neste caso, são atraídos além de machos, as fêmeas. Com isso, é possível reduzir boa parte dos descendentes que seriam produzidos.

1.3. Aniquilação de machos ('atrai e mata')

Esta técnica consiste essencialmente de dois componentes: uma isca, que pode ser um odor (feromônio) ou um atrativo visual ou ambos, e um produto químico (inseticida de contato, regulador de crescimento, um esterilizador ou ainda um organismo patogênico como uma bactéria, vírus, fungo, etc) que irá controlar o inseto.

Embora ainda pouco difundida, esta técnica, que utiliza painéis de feromônio ('atrai') impregnados de um inseticida ('mata'), é possível chegar a um controle de até 90% para muitas pragas.

1.4. Confusão sexual

O conceito da confusão sexual, confundimento ou ainda interrupção de acasalamento, baseia-se na interferência ou impedimento da transmissão de sinais entre os parceiros sexuais. Isto tem sido obtido com a liberação de feromônio sintético na área em que se deseja o controle, para diminuir ou impedir os insetos de localizar seu respectivo parceiro e dessa forma reduzir o acasalamento e conseqüentemente sua nova geração.

A quantidade de feromônio a ser utilizada para a confusão sexual é dependente do inseto-praga, das características físico-químicas do feromônio, e do estado fenológico da cultura na época de sua

utilização. De um modo geral, para lepidópteros a dose utilizada tem sido entre 30 a 45 gramas por hectare.

Não é necessário o conhecimento dos mecanismos fisiológicos envolvidos na confusão sexual, para verificar sua eficácia. O controle direto de insetos-praga por confusão sexual tem sido obtido em alguns casos, e seu uso é ainda pouco referido para muitas das espécies nos quais o feromônio foi isolado, identificado e sintetizado.

Dentre as situações mais favoráveis ao emprego da confusão sexual no manejo de pragas encontram-se: (i) aquelas espécies de inseto-praga que podem ser controladas em baixas densidades populacionais; (ii) as que possuem um ciclo de vida protegido dos tratamentos por inseticidas convencionais e (iii) aquelas nas quais as áreas tratadas por confusão sexual não possam ser reinfestadas pela postura de fêmeas imigrantes.

O mais consagrado exemplo, tanto histórico como prático, tem sido o controle de populações da lagarta rosada, *P. gossypiella*, uma das mais importantes pragas do algodoeiro, em muitas partes do mundo, sendo o primeiro feromônio utilizado baseando-se na confusão sexual para controle de insetos. Dentre outras pragas se destacam ainda: *G. molesta*, praga de frutas temperadas, especialmente pera e nectarina, que ocorre em boa parte do mundo; *Keiferira lycopersicella*, praga chave de tomateiro no México e sul dos EUA; *Epiphyas postvittana*, principal praga da macieira na Austrália e Nova Zelândia; *Eucosoma sonomana* e *Lymantria dispar*, pragas florestais dos EUA e *C. pomonella*, praga de macieira, porém com diversos outros hospedeiros com grande ocorrência na Europa, América do Norte e do Sul, sul da África e Austrália.

2. Fatores que influenciam o uso de feromonios no mip

Modelo ou formato da armadilha

O uso de armadilha é vital para o desenvolvimento de um sistema eficiente de captura de insetos por meio de feromônios. Existem inúmeros modelos que tem sido utilizados com sucesso e sua confecção muitas vezes são empíricas (Cardé and Elkinton 1984). As armadilhas devem ser fáceis de se construir e utilizar, e de baixo custo (incluindo os materiais ou soluções de retenção).

O “desenho” ou formato da armadilha varia muitas vezes com o inseto e deve levar em consideração seu tamanho. O diâmetro ótimo do orifício para captura e retenção, pode afetar a eficiência de atração da armadilha, especialmente quanto a formação da pluma de odor do feromônio pela ação do vento, que se altera grandemente de acordo com os diferentes modelos (Lewis and Macauley 1976). Em alguns casos, a abertura pode também interferir com a possibilidade de escape do inseto atraído ou ser utilizada como uma plataforma de pouso, o que também deve ser observado. De um modo geral, a abertura da armadilha deve possuir pelo menos o dobro da largura média do tórax do inseto alvo (Webb 1982).

Modo de retenção dos insetos

Para a retenção dos insetos nas armadilhas, normalmente são utilizados: (a) adesivos, (b) água (com ou sem detergente), (c) óleo ou líquido preservante, e (d) armadilha sem saída com ou sem inseticida. Armadilhas com adesivos são as mais comuns e geralmente eficientes quando comparadas a outros modelos (Webb 1982; Elkinton and Childs 1983; Lindgren and Borden 1983). Infelizmente, o tempo de vida desta armadilha pode ser curta, devido a saturação pelos insetos capturados e o acúmulo de poeira e detritos. Dependendo do inseto, quando muito robusto ou de

grande envergadura, o uso de armadilha com adesivo é limitado. Armadilha com água (com ou sem detergente), possui o inconveniente de degradar os insetos capturados rapidamente e exigir manutenção mais frequente que os demais modelos, principalmente pela evaporação da água e acúmulo de detritos e insetos indesejados. Armadilha com óleo ou líquido preservante (Kendall *et al.* 1982), possui a vantagem que uma vez capturado, o inseto afunda, mantendo a mesma área superficial disponível anteriormente até a saturação da armadilha. O incomodo é que em si tratando de um grande número de armadilhas por área, exige muita mão de obra na instalação e manutenção. Armadilhas sem saída são muito versáteis e possuem maior durabilidade, porém nem sempre é possível desenvolver um modelo para muita das espécies.

Capacidade de retenção

A saturação de uma armadilha depende de sua capacidade de retenção dos insetos aprisionados. Esta capacidade difere entre cada modelo e pode ser estabelecida para mais ou para menos, de acordo com a finalidade de uso a qual se pretende dar. Por exemplo, não necessariamente o modelo utilizado na detecção tem de ser empregado na coleta massal. Na detecção do inseto alvo, por se tratar de uma análise qualitativa, a capacidade de retenção da armadilha pode ser pequena, o que difere de uma estratégia como coleta massal, onde se visa capturar o maior número possível do inseto-praga. Toda armadilha, possui um limite quanto ao número máximo de insetos capturados (saturação). Uma vez atingido este limite de captura, elas são incapazes de refletir as diferenças na densidade populacional. Neste caso, pode-se reduzir o intervalo de avaliação das armadilhas, realizar contagens cumulativas removendo os insetos capturados em intervalos regulares ou substituir a armadilha.

Cor da armadilha

A cor da armadilha é potencialmente importante para maximizar a captura, e em muitos casos tem sido negligenciada (Cardé and Elkinton 1984). Muitas espécies, respondem a determinados cores devido as diferenças de sensibilidade do espectro visual (comprimento de onda), a qual pode ser fundamental na eficiência da armadilha (McLaughlin *et al.* 1975; Lanier *et al.* 1976; Timmons and Potter 1981; Ladd and Klein 1982). Em espécies onde a atração envolve agregação sobre o hospedeiro, como o bicudo do algodão *Anthonomus grandis*, o mimetismo visual do hospedeiro pode otimizar a atração do feromônio. A cor ótima da armadilha iscada com feromônio para o bicudo do algodão é amarela (500-525 nm), sendo esta cor a mais tipicamente utilizada nas armadilhas para “imitar” o comprimento de onda refletido pelas folhagens verdes (Cross *et al.* 1976). Entretanto, Sanders (1978) demonstrou que armadilhas amarelas são menos atrativas aos machos de *Choristoneura fumiferana* do que as armadilhas brancas, azuis e verdes. Em alguns insetos, o uso de cores são conhecidos como estímulos críticos, como nas moscas-das-frutas, onde armadilhas de natureza não “químicas”, tem sido cuidadosamente desenhadas para criar um super estímulo, como as armadilhas de “esfera adesiva” (Prokopy 1968); e este cuidado não tem sido observado em armadilhas contendo atraentes específicos (Wall 1989).

Local, posição e altura de instalação da armadilha

O preciso local ou posição de instalação da armadilha, combinada ao *habitat* e comportamento do inseto, são substanciais para o sucesso de sua captura. A observação do comportamento de acasalamento, seja ele de vôo ou caminharmento, e especialmente o local onde se dá a cópula, assegura uma melhor instalação das armadilhas. Neste caso, pode ser decisivo a altura acima do

solo para a colocação destas armadilhas (Cuthbert & Peacock 1975, Ladd 1982, Birch *et al.* 1981, Webb 1982) que pode variar de acordo com o estágio de desenvolvimento da cultura (Lewis & Macaulay 1976). Para muitos insetos, estas armadilhas devem estar no terço superior e junto a planta hospedeira, que são muitas vezes utilizadas como pista olfativa ou visual, sendo decisivas para a captura (Bartlett *et al.* 1982, Bakke & Riege 1982, Elkinton & Childs 1983). Todavia, algumas espécies são melhor atraídas e aprisionadas em áreas abertas ou clareiras, quando comparadas com as plantas hospedeiras, como é o caso, por exemplo, de pragas florestais como *Scolytus multistriatus* (Lanier *et al.* 1976) e *Ips typographus* (Bakke 1982). Contudo, insetos que realizam a cópula na superfície do solo, necessitam de que as armadilhas estejam rentes ou levemente enterradas (Bento *et al.* 1992; Leal *et al.* 1994).

Número de armadilhas por área e espaçamento

O número de armadilhas por área, depende da finalidade de uso do feromônio e não é fácil de ser obtido, pois envolve desenhos experimentais complexos, consomem muito tempo para serem implementados (Perry *et al.* 1980) e os resultados são difíceis de serem interpretados (Wall 1990). Em boa parte destes estudos, os trabalhos foram efetuados em lepidópteros (Riedl and Croft 1974; Charmillot and Schmid 1981; McNally and Barnes 1981; van der Kraan & van Deventer 1982).

De um modo geral, é importante se conhecer o raio de ação do feromônio, o que pode vir a ser, a chave do sucesso para o monitoramento quantitativo (Wall 1989). Entretanto, tem sido observado em poucos casos (Mitchell and Hardee 1976; Wall and Perry 1978, 1980, 1981; Elkinton and Cardé 1980; Riedl 1980; Daterman 1982). Uma das formas de sua obtenção é pelo método de marcação, liberação e recaptura, sendo a recaptura dos insetos, obtida pela armadilha iscada com feromônio nos diferentes quadrantes (Elkinton and Cardé 1980, 1981, 1988; Schwalbe 1981). De acordo com Cardé and Elkinton (1984), uma primeira consideração a ser observada, é que partimos do princípio que o comportamento de dispersão e atração dos insetos liberados são idênticos aos nativos. Segundo, é que, liberando todos os insetos a partir de um único ponto, numa área relativamente pequena, isto poderá prover excelentes informações sobre a dispersão dos insetos na área (com ressalvas quanto a distância entre as armadilhas). Enquanto que, a liberação dos insetos de modo uniforme na área (locais de liberação), é útil para informações sobre sua recaptura, e cálculos da sobrevivência diária dos adultos no campo. Uma completa discussão sobre estas interpretações foram simuladas para o lepidóptero *Lymantria dispar* (Elkinton and Cardé 1980, 1981).

Especialmente na coleta massal, o número de armadilhas por área, está intimamente relacionado ao número de indivíduos que devem ser removidos do sistema, para que haja um controle efetivo sobre o inseto-praga. Neste caso, além do raio de ação, o sexo emissor e receptor do feromônio e o número de cópulas entre machos e fêmeas são decisivos para se chegar ao número de armadilhas por área.

Informações adicionais da cultura e sua área de cultivo, fenologia da planta, razão sexual, densidade populacional e ecologia do inseto, dentro outras devem também ser consideradas. Portanto, não existe um número de armadilhas previamente estabelecido para ser utilizado, muito embora deve-se partir de um número tentativo.

Atraentes

A composição química do atraente (feromônio), dependerá da espécie a ser capturada na armadilha e geralmente é uma mistura única de compostos sintéticos baseadas no feromônio natural. A identificação de feromônios e outros atraentes sexuais de insetos já foram obtidas em mais de 1600

espécies, dos quais compreendem mais de 90 famílias em nove ordens, com ênfase em Lepidoptera (Mayer and MacLaughlin 1991). Estes compostos possuem uma variedade e complexidade que ultrapassam mais de 300 estruturas químicas diferentes (Roelofs 1995). Estes sinais químicos, essenciais para o sistema de comunicação de “atração entre os sexos”, representam uma complexa interação de sincronia entre o emissor e o receptor. Basicamente, este sistema de comunicação, envolve a liberação de químicos específicos pelo produtor do feromônio (emissor), a transmissão destes químicos no meio ambiente para um receptor, e o processamento destes sinais para mediar uma resposta apropriada de comportamento no receptor (Roelofs 1995).

Um feromônio necessita ser, suficientemente atrativo para que possa ser utilizado dentro de um programa de monitoramento ou coleta massal. Segundo Wall (1990), ajustes para a obtenção destes atraentes, com estas finalidades, podem ser alcançados variando-se a taxa de liberação e/ou a composição do atraente, graças aos avanços obtidos em tecnologias de formulação de atraentes.

Liberadores

O uso de feromônios em formulações não ótimas, ou com taxas de liberação inadequadas podem reduzir ou comprometer sua atratividade e resultar em baixa eficiência. Portanto, a dose e formulação de um feromônio são críticos. Os liberadores são artefatos que tem em sua formulação (septos de borracha, polietilenos, fibras ocas, grânulos de PVC), características capazes de reter o feromônio, de forma que estes possam ser liberados a uma taxa constante durante o período de captura do inseto alvo, o que pode variar de alguns dias a diversos meses (Caro 1982; Datterman 1982; Weatherston 1989). Outras finalidades incluem a proteção dos componentes químicos ativos contra a degradação pelo oxigênio do ar ou pela luz e a aplicabilidade em diferentes situações de manejo. A necessidade de troca ou não, deste liberador, dependerá basicamente do tipo de liberador empregado, da composição química e da dose do feromônio, das condições climáticas durante o período de uso e das respostas características de cada espécie (Lanier 1990).

Competição de armadilhas com fontes naturais

Armadilhas competem com o emissor do feromônio natural (Knipling 1979). Ao longo do trajeto, até a fonte de odor, de uma armadilha iscada com feromônio, o macho, por exemplo, pode se deparar com outras pistas olfativas, podendo levá-lo primeiro a uma fêmea. Com isso, o acasalamento e cópula entre os parceiros sexuais pode ocorrer, reduzindo a eficiência da armadilha. É comum, os machos serem atraídos por fêmeas ao invés de armadilhas iscadas com feromônio sintético. Neste caso, dependendo da proporção de machos sendo atraídos pelas fêmeas, da proporção de armadilhas por fêmeas e do tempo despendido para cópula e acasalamento, o número final de machos capturados pode ser alterada (Cardé and Elkinton 1984).

Os padrões de emergência entre os sexos não são ao todo sincronizados, especialmente entre as espécies protândricas, sendo que os machos tão logo emergem, partem para o vôo, e podem ser atraídos para as armadilhas. Por outro lado, quando as fêmeas emergem em grande número, muitos machos estão disponíveis para o acasalamento e a captura nas armadilhas tendem a diminuir (Howell 1974; Minks and DeJong 1975; Riedl *et al.* 1976).

Em certos casos, as armadilhas iscadas são relativamente menos atrativas do que os insetos chamando. Existem evidências que o odor completo do feromônio nem sempre é conhecido ou sintetizado, dado o grande número de substâncias que podem estar envolvidas. Neste caso, é produzido sinteticamente um composto que contém as principais substâncias responsáveis pela atração. Isto induz uma especulação, de que, quando a mistura das substâncias presentes no

feromônio sintético não estão completas, ocorre uma menor atratividade deste feromônio sintético em armadilhas nas situações de pico de emergência de fêmeas (Den Otter and Klinjnstra 1980; Bartell and Bellas 1981).

Número de insetos a serem removidos do sistema

Nos diferentes sistemas de acasalamento mediados por feromônios, o sexo emissor é mais sedentário que o outro que responde (Hanks *et al.* 1994). Evolutivamente, as fêmeas na maioria dos insetos são as responsáveis pela produção e emissão de feromônio sexual, devido a necessidade de se economizar tempo e energia para assegurar a obtenção da prole (Thornhill and Alcock 1983). Entretanto, em algumas poucas espécies, os machos produzem e emitem feromônios sexuais (Willis and Birch 1982; Landolt and Heath 1990; Phelan 1992) ou mesmo a fêmea emite e atrai outras fêmeas e machos (Hallet *et al.* 1995; Leal *et al.* 1996), fatos estes ainda pouco discutidos. Porém, nestes casos, a atração e a captura de fêmeas nas armadilhas, dentro de um programa de coleta massal é muito expressivo, pois representa ao menos, a redução de sua prole. O mesmo efeito se observa quando se trata de um feromônio de agregação (Ladd and Klein 1982; Hardee 1982; Birch 1984; Blight *et al.* 1984), onde ambos os sexos são atraídos para a armadilha.

Atraentes alimentares e de oviposição podem também, serem incorporados aos feromônios sexuais, para que ambos os sexos, sejam seduzidos por esta combinação. Por exemplo, armadilhas iscadas com atraentes alimentares, mais o feromônio sexual 'japonilure' capturam mais *Popillia japonica* de ambos os sexos do que seu feromônio isoladamente (Ladd 1982; Ladd and Klein, 1986). O mesmo se observa para *Lasioderma serricorne* (Wanabe *et al.* 1982) e a broca das palmáceas *Rhynchophorus palmarum* (Oehlschlager *et al.* 1992; Jaffé *et al.* 1993). Em *Anaglyptus subfasciatus* a adição de kairomônios de plantas tem sido sugerido para a atração de ambos os sexos como forma de aumentar a eficiência de manejo (Leal *et al.* 1995). Portanto, do ponto de vista de controle, a captura de fêmeas ou ambos os sexos são consideravelmente mais eficientes do que aquelas que atraem unicamente machos, podendo em situações principalmente de baixas infestações, reduzir severamente a população de uma praga (Hardee 1982).

Ao contrário de outros métodos de controle, a coleta massal afeta diretamente os insetos adultos. Quando bem efetuada, os resultados aparecem na geração seguinte, o que em se tratando de danos ocasionado na fase jovem do inseto, por exemplo, os resultados podem ficar comprometidos se um certo nível de dano não pode ser tolerado (Bakke and Lie 1989). Todavia, quando o estágio de vida do inseto que é removido é aquele que causa injúria na planta, os danos serão reduzidos proporcionalmente com a porcentagem da população removida.

Na maioria dos insetos, o grau de poligamia (machos que acasalam com mais de uma fêmea) excede o grau de poliandria (fêmeas que acasalam com mais de um macho), de modo que, o efeito sobre o potencial reprodutivo aumenta com uma maior mortalidade das fêmeas (Lanier 1990). Se uma grande porcentagem de machos é eliminada, o impacto desta mortalidade será refletida na geração subsequente, sendo que esta taxa de mortalidade está correlacionada a sobrevivência dos machos, que em média inseminam mais de uma fêmea.

Verificação da identidade e taxa de emissão do feromônio

Experimentos com armadilhas são normalmente utilizados, para comparar a atividade comportamental do inseto atraído pelo feromônio sintético versus o feromônio natural, tipicamente

emitido pelo inseto emissor aprisionado em gaiola. Se a magnitude da captura das armadilhas iscadas com feromônio sintético for igual ou exceder a captura da fonte natural, a identificação deste feromônio é assumida, com algumas exceções, como sendo correta e completa (Cardé and Elkinton 1984). Nas situações onde, tanto a fonte de feromônio natural quanto a sintético, estejam emitindo estes odores aproximadamente a taxas idênticas, a resposta ocorrerá num mesmo intervalo de tempo, o que também pode ser comparado. A liberação do feromônio sintético em altas taxas de emissão, potencialmente pode aumentar a captura na armadilha, comparadas ao feromônio natural (Cardé and Elkinton 1984), embora, em algumas espécies estas capturas possam decair (Cardé *et al.* 1975; Baker and Roelofs 1981). Ainda segundo Cardé and Elkinton (1984), em muitos insetos, o sexo receptor do feromônio tem um ritmo diário de atividades superiores ao sexo emissor. Sem um conhecimento detalhado deste comportamento, pode-se muitas vezes, concluir, que o feromônio sintético é mais efetivo do que as capturas dos insetos em gaiolas, quando muitas vezes, o aumento das capturas em armadilhas iscadas com feromônio, seja, em virtude da contínua emissão do feromônio sintético aliado a um ritmo de atividade sexual promíscuo dos receptores. Fêmeas de *Holotrichia parallela*, por exemplo, manifestam comportamento de “chamamento” por somente 15 minutos aproximadamente (Leal *et al.* 1993), o que tem sido atribuído para minimizar o efeito de predadores e parasitóides.

A taxa de liberação de odores moleculares que constitui o volume da pluma de um feromônio, pode variar sob determinadas condições climáticas, como temperatura, umidade e vento (Lewis and Macaulay 1976; Murlis & Bettany 1977; Murlis *et al.* 1982; Elkinton and Cardé 1988). Com isso, o número de indivíduos atraídos até a fonte de odor pode também variar. A concentração média destes odores aumenta com o aumento da taxa de liberação, o que faz variar a resposta dos indivíduos. Em casos de altas taxas de liberação, muitos insetos cessam seu movimento em direção a fonte, porque seu sistema olfativo pode se tornar insensível devido ao fenômeno de habituação (Lanier 1990). A taxa de liberação e a largura da pluma de odor pode interferir também com a distância com que os indivíduos são atraídos. Insetos individuais podem voar diretamente a fonte de odor a distâncias de 400 m ou mais (Wall and Perry 1987), e podem ser capturados a muitos quilômetros de distância do ponto de origem (Birch *et al.* 1981).

Contaminantes e repelentes

Contaminantes e repelentes podem também reduzir a eficiência de captura do conjunto armadilha mais feromônio sem motivo aparente. A contaminação pode ocorrer antes e/ou durante o manuseio da armadilha ou do liberador contendo o feromônio (Cardé and Elkinton 1984) ou ainda pela vegetação próxima a armadilha como constatado por Wall *et al.* (1981). Segundo Muirhead-Thomson (1991), os insetos já aprisionados, em certas espécies podem agir como repelentes na captura de novos insetos, e o mesmo acontecendo para armadilhas iscadas com feromônio, que recebem a adição de inseticidas (Cardé and Elkinton 1984).

Fatores endógenos do indivíduo

Enquanto os fatores relacionados ao ambiente externo de um inseto podem afetar todos os membros da população, os fatores internos influenciam o comportamento de um indivíduo, mas não diretamente os demais. Os fatores internos do inseto, podem auxiliar na compreensão de variações numa população durante seu ritmo diário de atividades. De acordo com Bell *et al.* (1994), os principais fatores internos são: (a) os ritmos biológicos, que são os responsáveis pela sincronização de “chamamento” da fêmea e a resposta do macho ao feromônio; (b) o tamanho do

corpo do inseto, que pode, por exemplo, influenciar na capacidade e velocidade de vôo; (c) o parasitismo, que pode alterar o comportamento do indivíduo e (d) a idade, que pode alterar os padrões de acasalamento, vôo e alimentação.

3. Considerações finais

Os feromônios são uma das muitas possibilidades, e atualmente a mais empregada, para se manipular o comportamento dos insetos, visando uma estratégia de manejo ou controle. Quando utilizados sozinhos ou em conjunto com outros métodos de controle, são instrumentos apropriados para as práticas que visam o manejo integrado de pragas (MIP).

Armadilhas contendo feromônio, são sensíveis mesmo em baixas densidades populacionais, seletivas, de baixo custo e podem ser facilmente operadas pelos produtores. Com isso, podem servir para um monitoramento de pragas, antecipando e estimando a população do inseto no campo, permitindo a utilização mais racional de inseticidas.

A coleta massal, por sua vez pode minimizar os danos ocasionados nas culturas e, eventualmente, exterminar populações isoladas de insetos. Contudo, sua eficiência tem sido relacionada inversamente com a densidade populacional da praga e o tamanho da área. Constitui-se numa estratégia de controle muito apropriada para culturas, onde a ausência de resíduos de agrotóxicos é exigida ou desejada, tais como: frutas para exportação, produtos ou grãos armazenados, plantas medicinais e algumas hortícolas. Também é útil para insetos de difícil controle pelos métodos convencionais.

O confundimento é um método de controle promissor para muitas espécies de insetos-praga em diversas culturas. Uma redução significativa no número de pulverizações de inseticidas ou ausência de seu uso, comprovam a eficácia do método. Porém, os casos de sucesso foram obtidos sem que um completo entendimento do modo de ação tenha sido compreendido. Isto se justifica pelo enorme número de formulações, dosagens e liberadores testados. Mais recentemente, tem sido enfatizado que nem todos os insetos-praga são suscetíveis a esta técnica, e que cuidados devem ser tomados para não induzir o surgimento de resistência.

Literatura citada

- AGOSTA, W.C. 1990. Chemical communication: the language of pheromones. Scientific American Library. New York. 179 p.
- ALFORD, D.V., P.W. CARDEN, E.B. DENNIS, H.J. GOULD & J.D.R. VERNON. 1979. Monitoring codling and tortrix moths in United Kingdom apple orchards using pheromone traps. Ann. Appl. Biol. 91: 165-178.
- ALLEN, D.C., L.P. ABRAHAMSON, D.A. EGGEN, G.N. LANIER, S.R. SWIER, R.S. KELLEY & M. AUGER. 1986. Monitoring spruce budworm (Lepidoptera: Tortricidae) populations with pheromone-baited traps. Environ. Entomol. 15: 152-165.
- BAKER, T.C., R.T. CARDÉ & B.A. CROFT. 1980. Relationship between pheromone trap capture and emergence of adult Oriental fruit moths, *Grapholitha molesta* (Lepidoptera: Tortricidae). Can. Entomol. 112: 11-15.
- BAKKE, A. & LIE, R. 1989. Mass trapping. In: Insect Pheromone in Plant Protection. JUTSUM, A.R. & R.F.S. GORDON (eds.). John Wiley & Sons. pp. 67-87.
- BARTELL, R.J. 1982. Mechanisms of communication disruption by pheromone in the control of Lepidoptera: a review. Physiol. Entomol. 7: 353-367.

- BENTO, J.M.S.; VILELA, E.F.; DELLA LUCIA, T.M.C.; LEAL, W.S.; NOVARETTI, W.R.T. 1995. Migdolus: biologia, comportamento e controle. BENTO, J.M.S. (Ed.). Salvador, 58p.
- BEROZA, M. 1972. Attractants and repellents for insect pest control. In Pest Control Strategies for the Future. National Academic of Sciences. Washington, D.C. 226p.
- BUCHELOS, C. TH. & A.R. LEVINSON. 1985. Population dynamics of *Ephestia elutella* (Huebner) in tobacco stores with and without insecticidal treatments: a survey by pheromone and unbaited traps. Z. Angew. Entomol. 100: 68-78.
- BURKHOLDER, W.E. 1985. Pheromones for monitoring and control of stored-product pests. Ann. Rev. Entomol. 30: 257-272.
- BURKHOLDER, W.E. 1990. Practical use of pheromones and other attractants for stored-product insects. In: Behavior-Modifying Chemicals for Insect Management: Applications of Pheromones and Other Attractants. RIDGWAY, R.L., R.M. SILVERSTEIN & M.N. INSCOE (eds.). Marcel Dekker. New York. pp. 498-511.
- CAMPION, D.G. 1984. Survey of pheromone uses in pests control. In: Techniques in Pheromone research. Hummel, H.E. & T.A. Miller (eds.). Springer-Verlag. New York. pp. 405-449.
- CAMPION, D.G., B.R. CRITCHKEY & L.J. MACVEIGH. 1989. Mating disruption. In Insect Pheromone in Plant Protection. JUTSUM, A.R. & R.F.S. GORDON (eds.). Biddles. Guildford. pp. 89-119. 369 p.
- CARDÉ, R.T. 1990. Principles of mating disruption. In: Behavior-Modifying Chemicals for Insect Management: Applications of Pheromones and Other Attractants. RIDGWAY, R.L., R.M. SILVERSTEIN & M.N. INSCOE (eds.). Marcel Dekker. New York. pp. 47-71.
- CARDÉ, R.T. & T.E. HAGAMAN. 1984. Mate location strategies of gypsy moths in dense populations. J. Chem. Ecol. 10: 25-31.
- CARDÉ, R.T. & J.S. ELKINTON. 1984. Field trapping with attractants: methods and interpretation. In: Techniques in Pheromone research. HUMMEL, H.E. & T.A. MILLER (eds.). Springer-Verlag. New York. 464p.
- CARDÉ, R.T. & A.K. MINKS. 1995. Control of moth pests by mating disruption: success and constraints. Annu. Rev. Entomol. 40: 559-585.
- CHARMILLOT, P.J. 1980. Developpement d'un système de prévision et de lutte contre le carpocapse (*Laspeyresia pomonella* L.) en Suisse romande: rôle du service régional d'avertissement et de l'arboriculture. Bull. OEPP. 10: 231-239.
- DATERMAN, G.E. 1982. Monitoring insects with pheromones: Trapping objectives and bait formulations. In: Insect Suppression with Controlled Release Pheromone Systems. KYDONIEUS, A.F., M. BEROZA (eds), CRC Press, Boca Raton, Florida. Vol I. pp. 195-213.
- DAVID, C.T. & M.C. BIRCH. 1985. Pheromones and insect behavior. In: Insect Pheromones and Plant Protection. JUTSUM, A.R. & GORDON, R.F.S. (eds.). Chichester, UK. John Wiley. pp. 17-35.
- DOANE, C.C. & T.W. BROOKS. 1980. Research and development of pheromones for insect control with emphasis on the pink bollworm, *Pectinophora gossypiella*. In: Management of Insect Pests with Semiochemicals: Concepts and Practice. MITCHELL, E.R. (ed.). Plenum. New York. pp. 285-303.
- ELKINTON, J.S. & R.T. CARDÉ. 1981. The use of pheromone traps to monitor distribution and population trends of the gypsy moth. In: Management of Insect Pests with Semiochemicals. MITCHELL, E.R. (ed.), Plenum Press, New York/London. pp. 41-55.
- GLEN, D.M. & P. BRAIN. 1982. Pheromone-trap catch in relation to the phenology of codling moth (*Cydia pomonella*). Ann. Appl. Biol. 101: 429-440.
- HAYNES, K.F., T.A. MILLER, R.T. STATEN, W.G. LI & T.C. BAKER. 1986. Monitoring insecticide resistance with insect pheromones. Experientia. 42: 1293-1295.

- HAYNES, K.F., T.A. MILLER, R.T. STATEN, W.G. LI & T.C. BAKER. 1987. Pheromone trap for monitoring insecticide resistance in the pink bollworm moth (Lepidoptera: Gelechiidae): new tool for resistance management. *Environ. Entomol.* 16: 84-89.
- INGRAM, W.R. 1980. Studies of the pink bollworm, *Pectinophora gossypiella*, on sea island cotton in Barbados. *Trop Pest Management*. 26: 118-137.
- JOURNAL OF CHEMICAL ECOLOGY. 2007. Journal of Chemical Ecology: Description. Disponível em: <http://www.springer.com/east/home?SGWID=5-102-70-35674461-detailsPage=journal|description&changeHeader=true&SHORTCUT=www.springer.com/journal/10886/about>. Acesso em: 08 outubro 2007.
- KARLSON, P.; LÜSCHER, M. 1959. "Pheromones": a new term for a class of biologically active substances. *Nature*, 183:55-56.
- KOLODNY-HIRSCH, D.M. & C.P. SCHWALBE. 1990. Use of disparlure in the management of the gypsy moth. In: Behavior-Modifying Chemicals for Insect Management: Applications of Pheromones and Other Attractants. RIDGWAY, R.L., R.M. SILVERSTEIN & M.N. INSCOE (eds.). Marcel Dekker. New York. pp. 363-385.
- KNIPLING, E.F. 1979. The basic principles of insect population suppression and management. *Agric. Handbook* 512. U.S. Dept. Agric. Washington. 659 p.
- KLASSEN, W. R.L. RIDGWAY & M. INSCOE. 1982. Chemical attractants in integrated pest management programs. In: Insect Suppression with Controlled Release Pheromone Systems. Kydonieus, A.F., M. Beroza (eds), CRC Press, Boca Raton, Florida. Vol. 1. pp. 13-130.
- LANIER, G.N. 1990. Principles of attraction-annihilation: mass trapping and other means. In: Behavior-Modifying Chemicals for Insect Management: Applications of Pheromones and Other Attractants. Ridgway, R.L., R.M. Silverstein & M.N. Inscoe (eds.). Marcel Dekker. New York. pp. 25-45.
- LAW, J.H.; REGNIER, F.E. 1971. Pheromones. *Annu. Rev. Biochem.*, 40:533-548.
- MACAULAY, E.D.M., P. ETHERIDGE, D.G. GARTHWAITE, A.R. GREENWAY, C. WALL & R.E. GOODCHILD. 1985. Prediction of optimum spraying dates against pea moth, *Cydia nigricana* (F.) using pheromone traps and temperature measurements. *Crop Protection*. 4: 85-98.
- MADSEN, H.F. 1981. Monitoring codling moth populations in British Columbia apple orchards. In: Management of Insect Pests with Semiochemicals. Concepts & Practice. MITCHELL E.M. (ed.). Plenum. New York/London. pp. 57-62.
- MINKS, A.K. & D.J. DEJONG. 1975. Determination of spraying dates for *Adoxophyes orana* by sex pheromone traps and temperature recordings. *J. Econ. Entomol.* 68: 729-732.
- MINKS, A.K. & CARDÉ, R.T. 1988. Disruption of pheromone communication in moths: in the natural blend really most efficacious? *Entomol. Exp. Appl.* 49: 25-36.
- NAKASUJI, F. & K. KIRITANI. 1978. Estimating the control threshold density of the tobacco cutworm *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) on a corn crop, taro by means of pheromone traps. *Prot. Ecol.* 1: 23-32.
- NORDLUND, D.A. 1981. Semiochemicals: a review of the terminology. p. 13-28. In: NORDLUND, D.A.; JONES, R.L.; LEWIS, W. J. (eds). Semiochemicals: their role in pest control. New York, John Wiley, 306p.
- PALANISWAMY, P., B. GALKA & B. TIMLICK. 1990. Phenology and infestation level of the European corn borer, *Ostrinia nubilalis* (Hubner)(Lepidoptera: Pyralidae), in southern Manitoba. *Can. Entomol.* 122: 1211-1220.
- RIEDL, H., B.A. CROFT & A.J. HOWITT. 1976. Forecasting coldling moth phenology based on pheromone trap catches and physiological time models. *Can. Entomol.* 108: 449-460.

- SANDERS, C.J. 1978. Evaluation of sex attractant traps for monitoring sprucebudworm populations (Lepidoptera: Tortricidae). *Can. Entomol.* 110: 43-50.
- SANDERS, C.J. 1981. Sex attractant traps: Their role in the management of spruce budworm. In: *Management of Insect Pests with Semiochemicals*. MITCHELL, E.R. (ed.), Plenum Press, New York/London. pp. 75-91.
- SANDERS, C.J. 1989. The further understanding of pheromones: Biological and chemical research for the future. In: *Insect Pheromone in Plant Protection*. JUTSUM, A.R. & R.F.S. GORDON (eds.). John Wiley & Sons. pp. 323-351.
- SANDERS, C.J. 1990. Practical use of insect pheromones to manage coniferous tree pests in eastern Canada. In: *Behavior-Modifying Chemicals for Insect Management: Applications of Pheromones and Other Attractants*. RIDGWAY, R.L., R.M. SILVERSTEIN & M.N. INSCOE (eds.). Marcel Dekker. New York. pp. 349-361.
- SANDERS, C.J. & E.A. MEIGHEN. 1987. Controlled-release sex pheromone lures for monitoring spruce budworm populations. *Can. Entomol.* 119: 305-313.
- SCHWALBE, C.P. 1981. Disparlure-baited traps for survey and detection: In: *The Gypsy Moth: Research Toward Integrated Pest Management*. DOANE CC, MCMANUS ML (eds). USDA Tech Bull 1584. 549p.
- SCHWALBE, C.P. & V.C. MASTRO. 1990. Use of pheromones and attractants by government agencies in the United States. In: *Behavior-Modifying Chemicals for Insect Management: Applications of Pheromones and Other Attractants*. RIDGWAY, R.L., R.M. SILVERSTEIN & M.N. INSCOE (eds.). Marcel Dekker. New York. pp. 619-630.
- STEINER, L.F., G.G. ROHWER, E.L. AYERS & L.D. CHRISTENSON. 1961. The role of attractants in the recent Mediterranean fruit fly eradication program in Florida. *J. Econ. Entomol.* 54: 20-35.
- STEINER, L.F., W.C. MITCHELL, E.J. HARRIS, T.T. KOZAMA & M.S. FUJIMOTO. 1965. Oriental fruit fly eradication by male annihilation. *J. Econ. Entomol.* 58: 961-964.
- TANAKA, F. & S. YABUKI. 1978. Forecasting oriental fruit moth, *Grapholita molesta* Busck. emergence time on the pheromone trap method by estimate of temperature. *Jap. J. Appl. Ent. Zool.* 22: 162-168.
- TURLINGS T.C.J.; LOUGHRIN, J.H.; MCCALL, P.J.; ROSE, U.S.R.; LEWIS, W.J.; TUMLINSON, J.H. 1995. How caterpillar-damaged plants protect themselves by attracting parasitic wasps. *Proc Natl Acad Sci USA*, 92: 4169-4174.
- WALL, C. 1984. The exploitation of insect communication - fact or fantasy? In: *Insect Communication*. T. LEWIS (ed.). Symp. R. Ent. Soc. Lond. 12: 379-400.
- WALL, C. 1988. The application of sex-attractants for monitoring the pea moth, *Cydia nigricana* (F.) (Lepidoptera: Tortricidae). *J. Chem. Ecol.* 14: 1857-1866.
- WALL, C. 1989. Monitoring and spray timing. In: *Insect Pheromone in Plant Protection*. Jutsum, A.R. & R.F.S. Gordon (eds.). John Wiley & Sons. pp. 39-66.
- WALL, C. 1990. Principles of monitoring. In: *Behavior-Modifying Chemicals for Insect Management: Applications of Pheromones and Other Attractants*. RIDGWAY, R.L., R.M. SILVERSTEIN & M.N. INSCOE (eds.). Marcel Dekker. New York. pp. 9-23.
- WELCH, S.M., B.A. CROFT, M.F. & MITCHELS. 1981. Validation of pest management models. *Environ. Entomol.* 10: 425-432.
- WILSON, E.O. 1971. *The insect societies*. Cambridge: Harvard University Press. 548p.

Metodologías para o Isolamento, Identificação Estrutural e Síntese de Feromônios

General methodology for pheromone identification

Paulo Henrique Gorgatti Zarbin

Ph. D. em Química Orgânica, Departamento de Química – UFPR, CP 19081, 81531-990 Curitiba-PR, e-mail:
pzarbin@quimica.ufpr.br

Abstract: The sequence of common procedures for isolation and identification of insect's pheromones is here briefly described.

Key words: chemical ecology, pheromone, insect control

1. Introdução

Feromônios são substâncias químicas secretadas por um indivíduo (nesse caso, um inseto) que permite a comunicação com outro indivíduo da mesma espécie. É uma linguagem intra-específica. Assim, formigas lava-pé não irão entender a linguagem de formigas-limão e vice-versa. Muito menos uma abelha entenderá a linguagem de um marimbondo ou de uma barata. Cada espécie possui o seu próprio 'código' de comunicação baseado nas diferenças estruturais dos compostos.

O primeiro feromônio de inseto foi isolado e identificado em 1959 por um pesquisador alemão chamado Butenandt, tendo sido o resultado de mais de 20 anos de pesquisas (Butenandt *et al.*, 1959). O inseto empregado foi a mariposa do bicho-da-seda *Bombyx mori* e a estrutura química atribuída ao feromônio sexual dessa espécie, conhecida como bombicol (Zarbin *et al.*, 1999)

Os feromônios fazem parte de um universo bastante amplo de comunicação química, efetuada por meio de substâncias denominadas semioquímicos (sinais químicos). Assim, os feromônios podem ser classificados de acordo com suas funções em:

- a) Feromônio de marcação de trilha: esse é o em que as formigas deixam um rastro químico que somente será detectado e entendido por outras formigas da mesma espécie.
- b) Feromônio de alarme: utilizado principalmente por insetos sociais, tais como formigas, abelhas, cupins, marimbondos etc., serve para avisar outros membros da colônia que um inimigo pode estar se aproximando. O odor característico emitido pelos insetos conhecidos por 'maria-fedida' ao serem tocados é um exemplo de feromônio de alarme.
- c) Feromônio de ataque: utilizado normalmente por insetos sociais, serve para avisar os outros insetos de que devem atacar um intruso.
- d) Feromônio de agregação: empregado quando os insetos encontram uma fonte de comida ou um novo lugar para fazer sua moradia, e assim emitem o feromônio para atrair os demais membros da espécie.
- e) Feromônio sexual: utilizado para atrair o parceiro para a cópula e assim preservar a espécie, através da procriação.

1.1. Aspectos sobre o controle de insetos

Os insetos são considerados nossos maiores competidores no que diz respeito à alimentação. Nessa disputa, o homem tem recorrido principalmente ao uso de agrotóxicos tradicionais, como compostos organofosforados e clorados. Porém, devido ao largo espectro de ação desses agrotóxicos, juntamente com o seu uso indiscriminado, surgiram várias complicações, entre as quais: desenvolvimento de resistência a esses agentes químicos por parte de vários insetos nocivos, ressurgimento de determinadas pragas em níveis ainda mais altos do que os anteriormente existentes, aparecimento de pragas secundárias devido ao combate indiscriminado a todo tipo de inseto - com a conseqüente dizimação de predadores naturais - e, o mais alarmante, a contaminação ambiental, chegando o agente químico inclusive a ser incorporado a nossa cadeia alimentar, causando sérios riscos à saúde.

A solução ideal para o combate aos insetos seria o desenvolvimento de agentes altamente específicos que viessem atacar apenas as espécies nocivas, não permitissem o desenvolvimento de resistência e não colocassem em risco a preservação do meio ambiente. Ante essas condições, os feromônios ocupam lugar de destaque. Por serem substâncias naturais que regulam comportamentos essenciais para a sobrevivência da espécie, é pouquíssimo provável que os insetos possam vir a desenvolver algum tipo de resistência a eles, à semelhança do que ocorre com agrotóxicos tradicionais. Por outro lado, a possibilidade de haver danos ambientais estaria completamente descartada.

Todo trabalho em que se pretenda compreender a comunicação entre os insetos inicia-se com a observação detalhada de seu comportamento: como eles se agregam, a que horas voam, como é efetuada a corte com fins de acasalamento etc. Essa investigação inicial é efetuada por biólogos treinados no estudo comportamental de determinadas espécies de insetos que se deseja estudar.

Uma vez conhecidos os hábitos básicos do inseto, o químico entra em ação procurando interceptar suas mensagens químicas e decifrá-las, isto é, identificar as estruturas das substâncias químicas que compõem o 'bouquet' do feromônio, para tentar reproduzi-las em laboratório. Rompida essa barreira, os feromônios seriam empregados em armadilhas para que se possa efetuar captura em massa, interrupção de acasalamento ou monitoramento do grau de infestação, o que permite, com a contagem do número de indivíduos capturados, prever uma possível infestação da praga, proporcionando um controle mais eficaz. Esse método alternativo de controle em que feromônios são empregados é conhecido como metodologia bio-racional de controle de insetos.

Cabe ressaltar que os feromônios não podem ser considerados uma solução isolada ou única para esse tipo de problema. Eles são apenas uma ferramenta a se somar a várias outras (incluindo a utilização racional e controlada de determinados agrotóxicos) na tentativa de controlar as inúmeras pragas existentes (Ferreira & Zarbin, 1998).

2. Extração e identificação dos feromônios

Há basicamente duas maneiras principais para extrair o feromônio de um inseto. A primeira é por meio de um processo chamado 'aeração', no qual todas as substâncias voláteis que estariam sendo exaladas pelos insetos (incluindo os feromônios) são carregadas por um fluxo constante de ar e adsorvidas em polímeros especiais. Tais substâncias são posteriormente desorvidas pela ação de solventes e analisadas. A segunda maneira é por meio da extração direta das glândulas responsáveis pela produção de feromônios, geralmente localizadas na parte posterior do abdômen do inseto. Isso

é feito com a imersão do inseto em um frasco contendo um solvente apropriado que extrai as substâncias orgânicas ali presentes.

Nos dois casos, a solução final apresenta uma mistura muito grande de substâncias além daquelas que fazem parte do feromônio. É nesse ponto que começam as complicações que os químicos têm que enfrentar para poder decifrar a linguagem desses pequenos seres.

Para identificar o feromônio, nada melhor que observar a reação do próprio inseto, ou de alguma parte dele, quando estimulado por um fluxo dessas substâncias. Quando a própria antena do inseto é utilizada para esse tipo de análise, o processo é denominado eletroantenografia e consiste no seguinte: a antena do inseto é cuidadosamente extirpada na base, mantida em soro fisiológico e posicionada entre dois microeletrodos de ouro capilares conectados a um amplificador, de forma a permitir a medida da diferença de potencial entre os microeletrodos. Quando uma substância faz parte do feromônio do inseto, a antena responde por meio de estímulos específicos, fazendo com que a diferença de potencial varie. Essa variação pode ser amplificada e representada graficamente num registrador adequad. No entanto, se uma antena for submetida simultaneamente a uma mistura de substâncias, não se pode saber quais são as ativas, uma vez que todas estão agindo ao mesmo tempo. A esse problema, os químicos responderam com uma solução muito utilizada rotineiramente em nossos laboratórios: a cromatografia gasosa. Assim, a mistura de substâncias anteriormente isolada é injetada em um cromatógrafo a gás e as substâncias separadas na coluna cromatográfica. No final dessa separação, antes de o material ser enviado ao detector, faz-se uma divisão do fluxo e parte dele é submetido à antena. Dessa maneira, a cada pico detectado pode-se associar a resposta da antena, funcionando esta como um detector biológico (Figura 2).

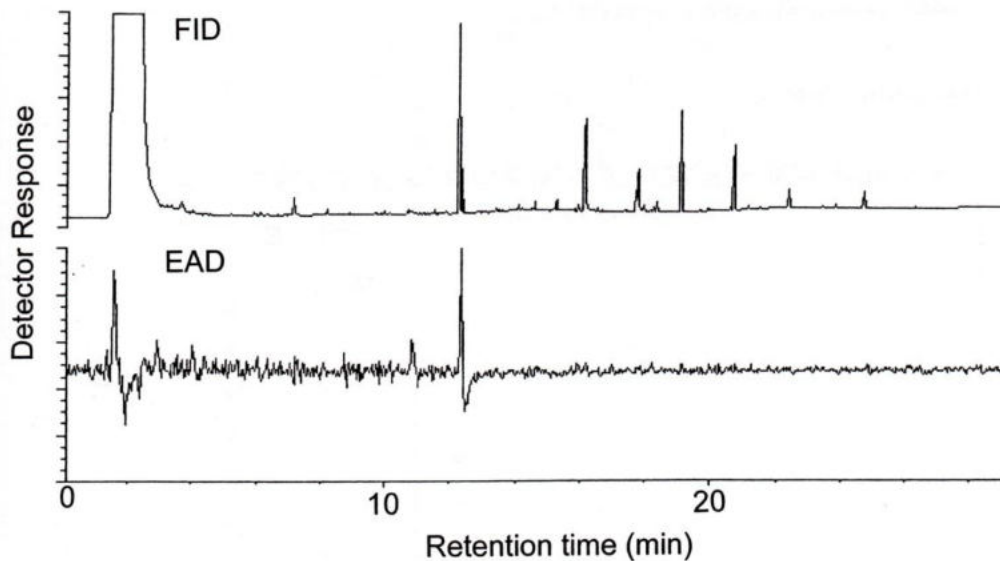


Figura 2. Representação de uma análise de cromatografia gasosa acoplada a um detector eletroantenografico (GC-EAD).

A partir dessa informação, o químico deve se preocupar apenas em determinar a estrutura química dos compostos que foram ativos na antena. Para tal, utiliza-se rotineiramente da espectrometria de massas, em função da pequeníssima quantidade (nanogramas) das substâncias ali presentes ser

compatível com essa técnica (Zarbin *et al.*, 1999).

Uma vez identificada a estrutura química do feromônio, o químico poderá sintetizá-lo em laboratório e submetê-lo a ensaios biológicos para se certificar de que ele foi corretamente identificado. Muitos feromônios foram identificados incorretamente e, quando as amostras sintéticas obtidas foram submetidas aos insetos, estes não entenderam a ‘mensagem artificial’ e portanto não reagiram como esperado (Ferreira & Zarbin, 1998).

Apesar da enorme diversidade dos insetos, sua comunicação química se faz sem nenhum problema de interferência externa, utilizando-se um grande número de substâncias químicas com estruturas igualmente variadas.

Uma complicação adicional, garantindo que espécies diferentes não interfiram na comunicação de um determinado inseto, é que na maioria das vezes o feromônio é constituído por mais de uma substância química, apresentando uma proporção definida entre todos os componentes. O feromônio da mosca-doméstica é constituído por um único componente com uma estrutura química extremamente simples, enquanto o feromônio da mosca-oriental-da-fruta (*Grapholita molesta*) é constituído pela mistura de quatro substâncias em uma proporção bem definida (Ferreira & Zarbin, 1998).

O feromônio do bicudo do algodão (*Anthonomus grandis*) também apresenta quatro constituintes em sua mistura feromonal, sendo dois aldeídos e dois álcoois.

Epóxidos, cetonas, ácidos carboxílicos e amidas são grupos funcionais também presentes em muitos feromônios de insetos. Estruturas mais complexas contendo vários grupos funcionais, como a periplanona B (uma cetona macrocíclica), feromônio da barata *Periplaneta americana*, também fazem parte do universo da variedade estrutural dos feromônios de insetos.

O conhecimento e domínio de todas as técnicas envolvidas nesse processo é de fundamental relevância, para que se obtenha sucesso qdo se planeja iniciar trabalhos voltados para o isolamento, identificação estrutural, síntese e futura aplicação de feromônio de insetos em programas de manejo integrado de pragas.

3. Literatura citada

- BUTENANDT, A.; BECKMAN, R.; STAMM, D.; HECKER, E. 1959 Über den sexual-lockstoff des seidenspinners *Bombyx mori*-reindarstellung und konstitution. Zeitschrift für Naturforschung Part B 14(4): 283-284.
- FERREIRA, J. T. B.; ZARBIN, P. H. G. 1998 Amor ao primeiro odor: A comunicação química entre os insetos. Química Nova na Escola 7(2): 101-104.
- ZARBIN, P. H. G.; FERREIRA, J. T. B.; LEAL, W.S. 1999 Metodologias gerais empregadas no isolamento e identificação estrutural de feromônios de insetos. Química Nova 22(1): 263-268.

Ecología química en insectos hematófagos

Chemical ecology in blood-sucking insects

Mario Iván Ortiz¹, Jorge Molina²

¹Biólogo, M.Sc, asistente graduado doctoral, CIMPAT-Universidad de los Andes, Carrera 1 No 18A-10, mario-or@uniandes.edu.co. ²Dr. rer. nat., profesor asistente, CIMPAT-Universidad de los Andes, Carrera 1 No 18A-10, jmolina@uniandes.edu.co

Resumen

Algunas de las enfermedades tropicales transmitidas por insectos hematófagos pertenecen a los problemas de salud pública más serios a nivel mundial. Para localizar la sangre todos los sistemas sensoriales de estos insectos están involucrados. Sin embargo, las antenas con sus proyecciones cuticulares llamadas sensilias olfativas están jugando un importante papel en esta actividad. Se presenta una corta descripción de la ruta olfativa en insectos hematófagos haciendo comparaciones morfológicas y comportamentales entre el vector de la malaria *Anopheles gambiae* y el vector de la enfermedad de Chagas *Rhodnius prolixus*. El papel de las kairomonas liberadas por la microbiota de la piel humana es resaltado por las consecuencias epidemiológicas en la transmisión de ambas enfermedades tropicales. La importancia futura de la investigación en la ecología química de los insectos hematófagos se discute brevemente.

Palabras clave: *Anopheles gambiae*, *Rhodnius prolixus*, kairomonas, ecología química

Abstract

Some of the tropical diseases transmitted by hematophagous insects belong to the most serious problems of public health in the world. In order to find blood, all sensory systems in these insects are involved. However, antennas with its cuticular projections called olfactory sensilla are playing a main role in this activity. A brief description of the olfactory pathway in hematophagous insects is presented making morphological and behavioral comparisons between malaria vector *Anopheles gambiae* and Chagas disease vector *Rhodnius prolixus*. The role of kairomones released by human skin microbiota is highlighted for its epidemiological consequences in transmission of both tropical diseases. The importance of future research in chemical ecology of blood-seeking insects is briefly discussed.

Key words: *Anopheles gambiae*, *Rhodnius prolixus*, kairomones, chemical ecology

Evolucion de la hematofagia

Los insectos son el grupo de animales más exitosos en el planeta. Su abundancia, diversidad y distribución en la mayor parte de los ecosistemas de la tierra son prueba de su éxito. Con la reciente descripción del orden Mantophasmatodea (Klass *et al.* 2002) el número de órdenes de insectos llegó a 33. Sin embargo, de la totalidad de órdenes registrados solamente cinco (Phthiraptera, Heteroptera, Siphonaptera, Diptera y Lepidoptera) son reconocidos por tener especies con la capacidad de alimentarse de la sangre de hospederos vertebrados (Grimaldi y Engel 2005).

Algunos géneros ampliamente reconocidos dentro de dichos órdenes por ser importantes desde el punto de vista de la entomología médica al actuar como vectores de enfermedades tropicales o

simplemente molestias son: *Phthirus* y *Pediculus* (piojos) dentro de los Phthiraptera; *Rhodnius* y *Triatoma* (pitos) y *Cimex* (chinches de la cama) dentro de los Heteroptera; *Pulex*, *Ctenocephalides* y *Xenopsylla* (pulgas) dentro de los Siphonaptera; *Anopheles*, *Aedes*, *Haemagogus*, *Culex* (mosquitos), *Lutzomyia* (manta blanca), *Simulium* (jejenes) *Glossina* (moscas) y *Chrysops* (tábanos) dentro de los Diptera. De este listado queda excluido el orden Lepidoptera porque el género *Calyptra* (polillas vampiro) solo ocasionalmente es antropofílico.

Registros fósiles han permitido ubicar el origen de los insectos entre el Silúrico-Devónico (aproximadamente hace 415 millones de años) (Grimaldi y Engel 2005), mientras la aparición de la hematofagia en los insectos se puede ubicar a partir del Jurásico superior (160 millones de años) cuando aparecieron las pulgas (Fig.1). En cualquiera de los casos uno de los dos siguientes modelos ha sido utilizado para explicar la evolución de la hematofagia: a) La hematofagia se desarrolló luego de un prolongado contacto entre vertebrado-insecto, donde poco a poco se adquirieron las especializaciones para poder chupar sangre, o b) La hematofagia se desarrolló en algunos linajes de insectos a partir de ancestros morfológicamente preadaptados para chupar, como por ejemplo a partir de insectos entomófagos (Lehane 2005).

Cualquiera haya sido la ruta evolutiva el producto final es un insecto con la capacidad de alimentarse de sangre bien sea de manera solenófaga (introduciendo piezas bucales a través de la piel para localizar los vasos sanguíneos) o telmófaga (cortando la piel para producir una hemorragia y alimentarse de la sangre extravasada) (Lavoipierre 1965).

Una vez se alcanzaron los mecanismos adaptativos para alimentarse de sangre como las piezas bucales, la saliva y los mecanismos para metabolizar la sangre; el siguiente paso en la evolución fue afinar las estrategias para detectar sustancias químicas, localizar al hospedero vertebrado y definir las preferencias alimenticias.

Olfato en insectos hematofagos

El sistema olfativo de los insectos hematófagos está organizado a nivel periférico en antenas, sensillas antenales y neuronas olfativas y a nivel central en lóbulo olfativo con glomérulos y el protocerebro (Leal 2005). Por razones de simplificación del análisis no se profundizará en el papel de la recepción química de los palpos maxilares y de la proboscide (para profundizar en estos temas se recomienda: McIver y Siemicki (1975), Pitts *et al.* (2004), Kwon *et al.* (2006), Lu *et al.* (2007) y Catalá (1996).

Esta organización asegura que las sustancias volátiles que actúan como estímulos olfativos lleguen a las antenas, entren en contacto con los poros de las sensillas antenales y por intermedio de las "odorant binding proteins" OBPs sean presentadas a las diferentes proteínas heteroméricas membranales (compuestas por un receptor olfativo ORx y la siempre presente OR83b) que funcionan como receptores en las membranas de las neuronas olfativas (Rützler y Zwiebel 2005).

Posterior a la unión de la sustancia volátil con el receptor olfativo se produce una depolarización de la neurona olfativa como consecuencia de la apertura de canales ionotrópicos o metabotrópicos (Nighorn y Hildebrand, 2002; Rützler y Zwiebel 2005; Wang *et al.* 2010) que lleva como resultado final a la activación diferencial dependiendo del olor detectado de determinados glomérulos ubicados en el lóbulo antenal del deutocerebro (Joerges *et al.* 1999).

Finalmente, la información olfativa codificada por la activación de los glomérulos es llevada al protocerebro donde en la región del cuerpo pedunculado es integrada con la información de otras modalidades sensoriales para tomar una decisión y activar el sistema motor del insecto (Leal 2005).

La figura 2 muestra de manera esquemática y resumida la organización morfológica del sistema nervioso periférico y central involucrado en el sistema sensorial de los insectos hematófagos.

Sustancias volátiles

Las sustancias volátiles que envían mensajes comportamentales son conocidas como semioquímicos y se dividen a su vez en: a) feromonas (comunicación intraespecífica) y b) aleloquímicos (comunicación interespecífica) que incluyen a las alomonas, kairomonas y sinomonas (Bowen 1991).

Las Kairomonas son las sustancias volátiles más importantes en las relaciones vertebrado-insecto hematófago porque son aquellas sustancias liberadas por el vertebrado, atractivas para los insectos y por lo tanto desventajosas para el emisor (Bowen 1991).

Comparaciones morfológicas entre *Anopheles* Y *Rhodnius*

Después de haber visto de manera general como el sistema nervioso periférico y central actúan en conjunto para detectar e inducir el desplazamiento dirigido del insecto hematófago, es muy importante poner todo lo anterior en contexto comparando dos casos concretos como ejemplos.

El primero de ellos es el de *Anopheles gambiae* (por ser la especie mejor documentada en este tema) y el segundo es el de *Rhodnius prolixus* (por ser el modelo experimental en el cual nuestro grupo está trabajando).

La primera comparación interesante es que estamos partiendo de dos insectos hematófagos con metamorfosis diferentes y separados evolutivamente por aproximadamente 45 millones de años (Fig. 1): *Anopheles* lleva a cabo metamorfosis holometábola y *Rhodnius* pertenece a los insectos hemimetábolos (Truman y Riddiford 1999).

Desde el punto de vista del sistema nervioso periférico y central las principales comparaciones entre ambas especies se encuentran en la tabla 1. Como se puede ver, para ambas especies se cuenta con la información básica, con excepción de las proteínas membranales receptoras. Para este caso la única información disponible es la de *Anopheles gambiae* donde se sabe que el número de receptores olfativos membranales es de 79 AgORs (AgORs significa *Anopheles gambiae* olfactory receptors) con varios de ellos reconociendo una sola sustancia olfativa (receptores olfativos especialistas) o entre 14 y 15 sustancias diferentes (receptores olfativos generalistas) (Carey *et al.* 2010; Wang *et al.* 2010).

En la tabla 1 se presentan además las principales sensillas antenales quimiorreceptoras reconocidas para ambas especies como son las tricoideas y las tipo “grooved-peg” (Catalá 1997; Qiu *et al.* 2006).

De acuerdo con Barrozo *et al.* (2009) el número de glomérulos en el lóbulo antenal es un buen indicador del número potencial de sustancias volátiles que un insecto puede detectar. La comparación entre *Anopheles gambiae* con 60 glomérulos y *Rhodnius prolixus* con 23 sugiere que esta última especie debe presentar respuestas comportamentales a un menor número de sustancias volátiles. A continuación vamos a abordar este punto comparando ambas especies desde la perspectiva de sus respuestas comportamentales y electrofisiológicas a la búsqueda y localización del hospedero vertebrado.

Búsqueda y localización del hospedero en *Anopheles* y *Rhodnius*

El comportamiento de búsqueda del hospedero vertebrado se define operacionalmente como el desplazamiento (volando o caminando) del insecto hematófago hacia una fuente potencial de sangre (Bowen 1991). Actuando como eje central modulador de este comportamiento están diferentes kairomonas.

Tanto para *Anopheles gambiae* (Bowen 1991, Takken y Knols 1999) como para *Rhodnius prolixus* (Guerenstein y Lazzari 2009) es bien conocido que una de las principales kairomonas es el CO₂. Algunas otras sustancias de una larga lista que han demostrado ser igualmente efectivas comportamental o electrofisiológicamente para la atracción de *Rhodnius* y *Anopheles* son: ácido láctico, 1-octen-3-ol, amonio, isobutilamina, ácido isobutírico, acetona, ácidos grasos, 4-metilfenol (Bowen 1991, Takken y Knols 1999; Costantini *et al.* 2001; Guerenstein y Lazzari 2009; Smallegange *et al.* 2009; Ortiz y Molina 2010).

Sin embargo, recientemente las tradicionales interacciones binarias *Anopheles*-humano y *Rhodnius*-humano han comenzado a ser vistas de una nueva manera donde el sistema se convierte en: *Anopheles*-microbiota de la piel-humano y *Rhodnius*-microbiota de la piel-humano.

La importancia de este nuevo sistema tripartita radica en que no solo las sustancias volátiles emitidas por el humano a manera de sudor o durante la respiración son importantes para atraer a los insectos hematófagos, sino que adicionalmente las sustancias emitidas por las bacterias presentes en la piel en diferentes regiones corporales pueden estar determinando la preferencia para picar en determinado sitio del cuerpo o hasta a determinados animales.

Ejemplos claros de lo anterior lo encontramos en *Anopheles gambiae* donde las bacterias de los pies están jugando un papel fundamental en la preferencia de esta especie para picar en este sitio (Knols y De Jong 1996; Knols *et al.* 1997; Verhulst *et al.* 2010) y en *Rhodnius prolixus* donde las bacterias de la cara están resaltando la importancia epidemiológica de esta región corporal en la transmisión de la enfermedad de Chagas (Ortiz y Molina 2010).

Ecología química en insectos hematófagos post-alimentación

Para su supervivencia los insectos hematófagos necesitan de la sangre, pero para su éxito reproductivo además de la sangre dependen de otra serie de comportamientos gobernados por estímulos internos y externos (otras sustancias volátiles diferentes a las emitidas por los hospederos vertebrados) como son: apareamiento y ovoposición en *Anopheles* (Takken y Knols 1999) y apareamiento y búsqueda de refugio en *Rhodnius* (Guerenstein y Lazzari 2009).

Tanto en *Anopheles gambiae* como en *Rhodnius prolixus* ha sido demostrado que posterior a la alimentación las sustancias volátiles de los vertebrados que eran atractivas para los insectos pierden su efecto y una nueva serie de sustancias volátiles indicadoras de sitios de ovoposición para *Anopheles* (Klowden y Briegel, 1994; Takken y Knols, 1999; Fox *et al.* 2001; Takken *et al.* 2001) y de refugio para *Rhodnius* comienzan a ser muy atractivas (Lorenzo y Lazzari 1996, 1998; Bodin *et al.* 2009; Lazzari 2009; Guerenstein y Lazzari 2009).

Implicaciones de las enfermedades transmitidas por vectores

Desde el punto de vista de los números de géneros y especies de insectos hematófagos el interés por el estudio de la ecología sensorial o ecología química de estos insectos aparentemente no

debería revestir mucha importancia. Sin embargo, cuando los números de personas infectadas y principalmente de personas muertas anualmente por los parásitos transmitidos por estos insectos son tenidos en cuenta la relevancia de su estudio comienza a tomar fuerza (Tabla 2).

El ejemplo más impactante dentro de las enfermedades tropicales transmitidas por vectores es el de la malaria donde a nivel global cada año adquieren la enfermedad un número de individuos más grande que el total de la población registrada para los Estados Unidos (Leal 2010).

Para el caso de la enfermedad de Chagas las implicaciones no son menos importantes. Según los datos mas recientes, la población latinoamericana en riesgo es de 28 millones y cada nuevo año son infectados por los triatomíneos 41.200 personas (TDR 2009).

Si a los datos anteriormente presentados le adicionamos que las actividades de control de los insectos vectores de enfermedades tropicales nunca podrán llegar a una erradicación de estos (TDR 2009), es entonces claro que el compromiso de estudiar la ecología sensorial de los insectos hematófagos deja de ser un simple ejercicio de ciencia básica para convertirse en un amplio campo con la potencialidad de ser a futuro una herramienta para evitar que los insectos hematófagos busquen, localicen y entren en contacto con los humanos.

Tabla 1. Comparaciones morfológicas del sistema nervioso periférico y central de *Anopheles gambiae* y *Rhodnius prolixus*.

	<i>Anopheles gambiae</i>	<i>Rhodnius prolixus</i>
Antenas	Escapo, pedicelo y 13 flagelómeros (Pitts y Zwiebel 2006)	Escapo, pedicelo y dos flagelómeros (Catalá 1997)
Densidad de sensilias tricoideas	Aproximadamente 6×10^{-3} sensilias por μm^2 (Pitts y Zwiebel 2006)	Aproximadamente 5.5×10^{-3} sensilias por μm^2 (Catalá 1997)
Neuronas por sensilias tricoideas	Máximo 4 neuronas por sensilia (Wang <i>et al.</i> 2010)	5-15 neuronas por sensilia (Catalá 1997)
Densidad otras sensilias “grooved-peg”	Aproximadamente 1×10^{-3} sensilias por μm^2 (Pitts y Zwiebel 2006)	Aproximadamente 1×10^{-3} sensilias por μm^2 (Catalá 1997)
Receptores olfativos membranales	79 AgORs (Wang <i>et al.</i> 2010)	??????
Glomérulos en lóbulo antenal	Machos 61 y hembras 60 glomérulos (Ghaninia <i>et al.</i> 2007)	Machos y hembras aproximadamente 22-23 glomérulos (Barrozo <i>et al.</i> 2009)
Sistema nervioso central	Cerebro, ganglio subesofágico, tres ganglios torácicos y seis ganglios abdominales (Gullan y Cranston 2005)	Cerebro, ganglio subesofágico, ganglio protorácicos y ganglio fusionado posterior (Insausti 1994)

Tabla 2. Proyecciones de mortalidad a nivel global por enfermedades transmitidas por vectores.

Mortalidad en miles	2004	2008 pesimista	2008 optimista	2015 pesimista	2015 optimista	2030 pesimista	2030 optimista
Malaria	889	871	808	731	542	506	232
Tripanosomiasis africana	52	46	43	42	32	38	20
Leishmania	47	37	34	31	22	23	10
Dengue	18	13	12	10	6	5	2
Chagas	11	10	10	9	8	7	7
Encefalitis japonesa	11	16	11	11	6	6	2

Tomado de: World Health Organization 2008 y 2010

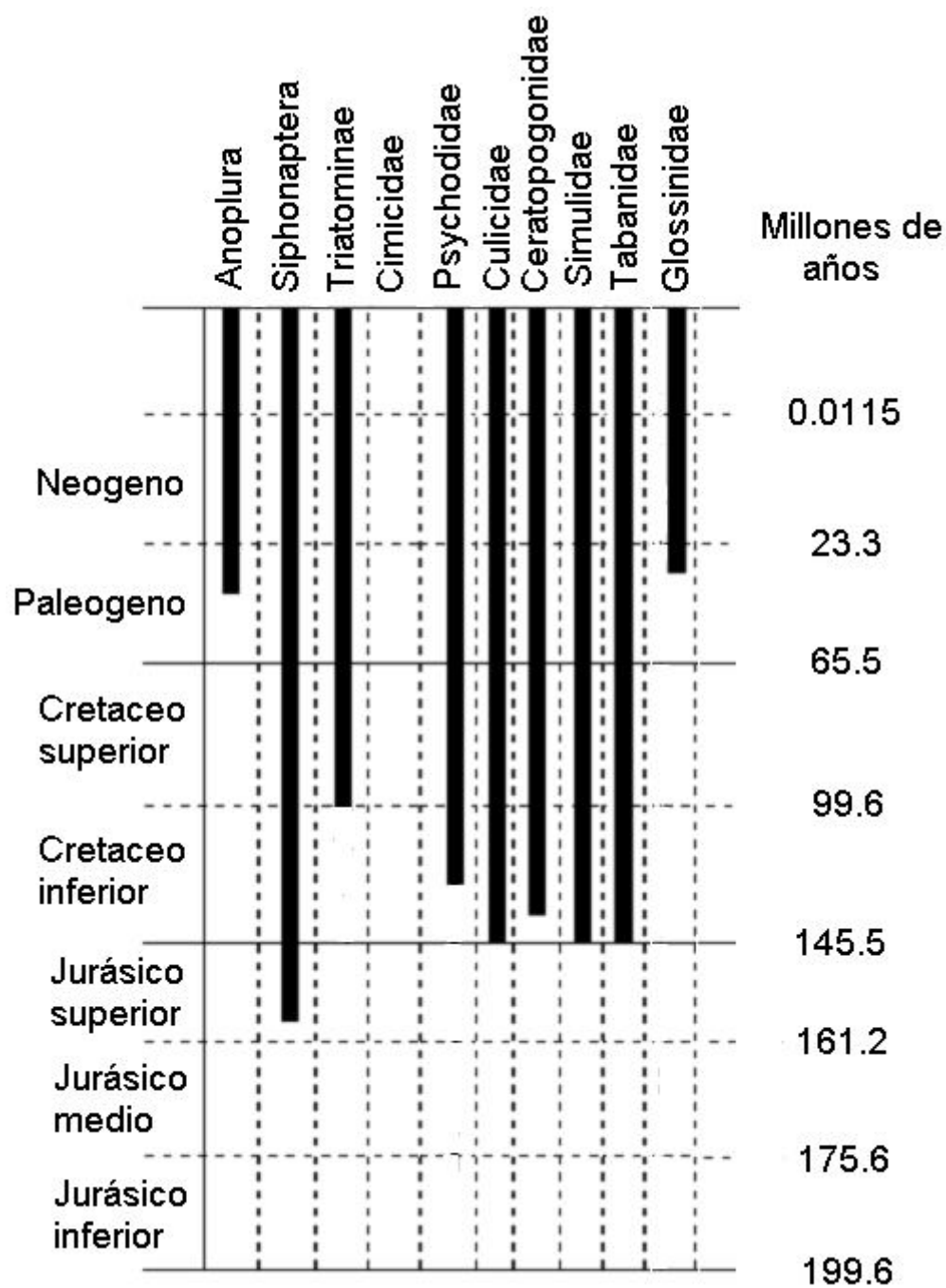


Figura 1. Insectos hematófagos en el registro paleontológico (Modificado de Lukashevich y Mostovski 2003. La información sobre Triatominae fue tomada de Poinar 2005 y Lehane 2005).

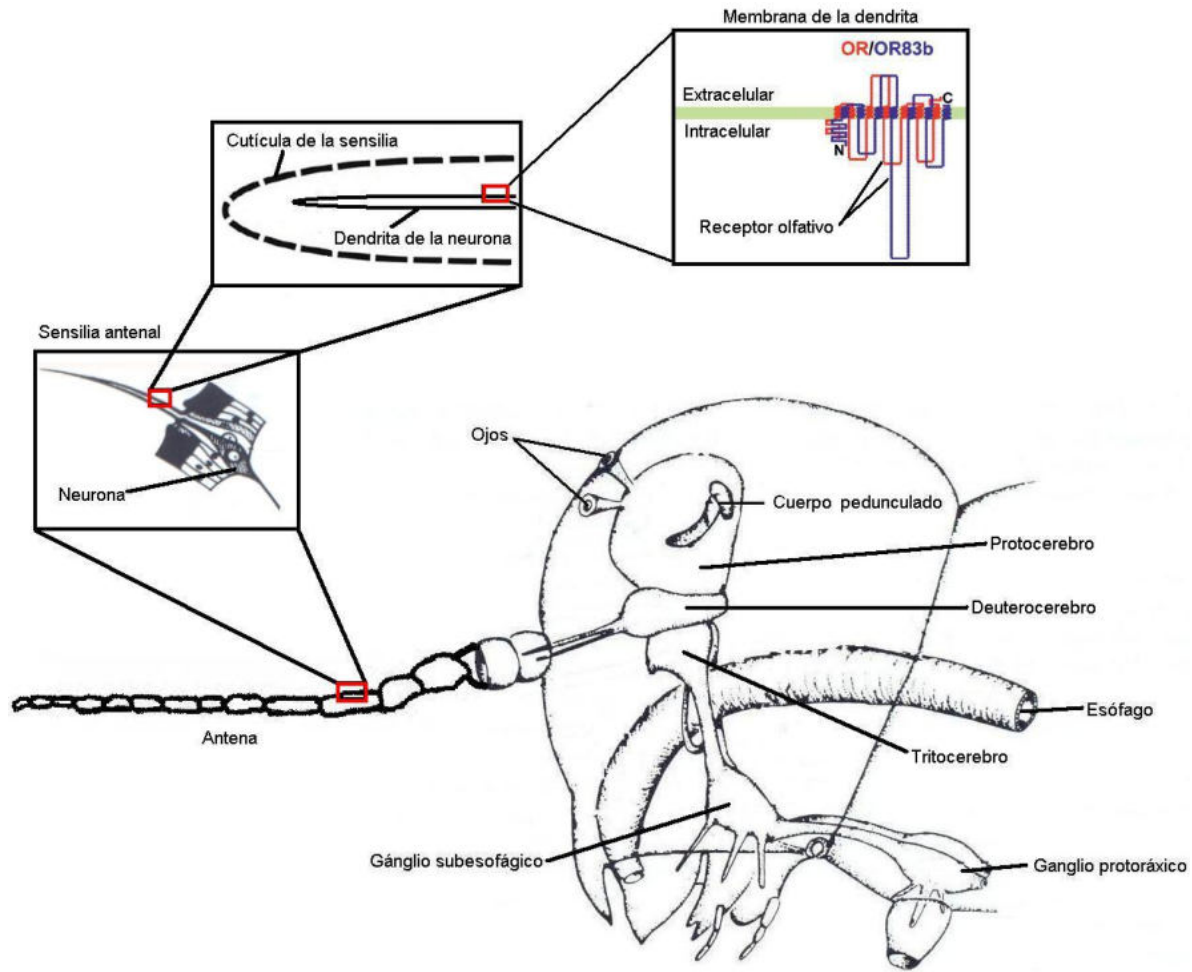


Figura 2. Representación esquemática del sistema olfativo de los insectos. El sistema nervioso central está conformado por el cerebro (protocerebro, deutocerebro y tritocerebro), el ganglio subesofágico y el ganglio protorácico. El sistema nervioso periférico está conformado por la sensilia antenal, la dendrita de la neurona y los receptores olfativos (proteínas heteroméricas OR/OR83b) inmersos en la membrana de la dendrita. Entre la cutícula de la sensilia y la membrana de la dendrita se encuentra la hemolinfa y las “odorant binding proteins” (OBPs) que transportan los compuestos volátiles hasta las proteínas receptoras. Los glomérulos se encuentran en la parte anterior del deutocerebro. La integración de la información sensorial se hace en el cuerpo pedunculado del protocerebro.

Literatura citada

- BARROZO, R.B.; COUTON, L.; LAZZARI, C.R.; INSAUSTI, T.C.; MINOLI, S.A.; FRESQUET, N.; ROSPARS, J.P.; ANTON, S. 2009. Antennal pathways in the central nervous system of a blood-sucking bug, *Rhodnius prolixus*. *Arthropod Structure and Development*. 38:101-110.
- BODIN, A.; VINAUGER, C.; LAZZARI, C.R. 2009. Behavioural and physiological state dependency of host seeking in the blood-sucking insect *Rhodnius prolixus*. *Journal of Experimental Biology*. 212:2386-2393.
- BOWEN, M.F. 1991. The sensory physiology of host-seeking behavior in mosquitoes. *Annual Review of Entomology*. 36:139-158.
- CATALÁ, S.S. 1996. Sensilla associated with the rostrum of eight species of Triatominae. *Journal of Morphology*. 228:195-201.
- CATALÁ, S.S. 1997. Antennal sensilla of Triatominae (Hemiptera, Reduviidae): A comparative study of five genera. *International Journal of Insect Morphology and Embryology*. 26:67-73.
- Costantini, C.; Birkett, M.A.; GIBSON, G.; ZIESMANN, J.; SAGNON, N.F.; MOHAMMED, H.A.; COLUZZI, M.; PICKETT, J.A. 2001. Electroantennogram and behavioural responses of the malaria vector *Anopheles gambiae* to human specific sweat components. *Medical and Veterinary Entomology*. 15:259-266.
- FOX, A.N.; PITTS, R.J.; ROBERTSON, H.M.; CARLSON, J.R.; ZWIEBEL, L.J. 2001. Candidate odorant receptors from the malaria vector mosquito *Anopheles gambiae* and evidence of down-regulation in response to blood feeding. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 98:14693-14697.
- GHANINIA, M.; HANSSON, B.S.; IGNELL, R. 2007. The antennal lobe of the african malaria mosquito, *Anopheles gambiae* – Innervation and three-dimensional reconstruction. *Arthropod Structure and Development*. 36:23-39.
- GRIMALDI, D.; ENGEL, M.S. 2005. *Evolution of insects*. Cambridge University Press, Cambridge. 755 p.
- GUERENSTEIN, P.G.; LAZZARI, C.R. 2009. Host-seeking: How triatomines acquire and make use of information to find blood. *Acta Tropica*. 110:148-158.
- GULLAN, P.J.; CRANSTON, P.S. 2005. *The insects: An outline of entomology*. Blackwell Publishing, Oxford. 505 p.
- INSAUSTI, T.C. 1994. Nervous system of *Triatoma infestans*. *Journal of Morphology*. 221:343-359.
- JOERGES, J.; KÜTTNER, A.; GALIZIA, C.G.; MENZEL, R. 1999. Representations of odours and odour mixtures visualized in the honeybee brain. *Nature*. 387:285-288.
- KLASS, K.D.; ZOMPRO, O.; KRISTENSEN, N.P.; ADIS, J. 2002. Mantophasmatodea: A new insect order with extant members in the afrotropics. *Science*. 296:1456-1459.
- KLOWDEN, M.J.; BRIEGEL, H. 1994. Mosquito gonotrophic cycle and multiple feeding potential: contrasts between *Anopheles* and *Aedes* (Diptera, Culicidae). *Journal of Medical Entomology*. 31:618-622.
- KNOLS, B.G.J.; DE JONG, R. 1996. Limburger cheese as an attractant for the malaria mosquito *Anopheles gambiae* s.s. *Parasitology Today*. 12:159-161.
- KNOLS, B.G.J.; VAN LOON, J.J.A.; CORK, A.; ROBINSON, R.D.; ADAM, W.; MEIJERINK, J.; DE JONG, R.; TAKKEN, W. 1997. Behavioural and electrophysiological responses of the female malaria mosquito *Anopheles gambiae* (Diptera: Culicidae) to Limburger cheese volatiles. *Bulletin of Entomological Research*. 87:151-159.
- KWON, H-W.; LU, T.; RÜTZLER, M.; ZWIEBEL, L.J. 2006. Olfactory responses in a gustatory organ of the malaria vector mosquito *Anopheles gambiae*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 103:13526-13531.

- LAVOPIERRE, M.M.J. 1965. Feeding mechanism of blood-sucking arthropods. *Nature*. 208:302-303.
- LAZZARI, C.R. 2009. Orientation towards hosts in haematophagous insects: An integrative perspective. *Advances in Insect Physiology*. 37:1-58.
- LEAL, W.S. 2005. Pheromone reception. *Topics in Current Chemistry*. 240:1-36.
- LEAL, W.S. 2010. The treacherous scent of a human. *Nature*. 464:37-38.
- LEHANE, M. 2005. The biology of blood-sucking insects. Cambridge University Press, Cambridge. 321 p.
- LORENZO, M.G.; LAZZARI, C.R. 1996. The spatial pattern of defaecation in *Triatoma infestans* and the role of faeces as a chemical mark of the refuge. *Journal of Insect Physiology*. 42:903-907.
- LORENZO, M.G.; LAZZARI, C.R. 1998. Activity pattern in relation to refuge exploitation and feeding in *Triatoma infestans* (Hemiptera: Reduviidae). *Acta Tropica*. 70:163-170.
- LU, T.; QIU, Y.T.; WANG, G.; KWON, J.Y.; RUTZLER, M.; KWON, H-W.; PITTS, R.J.; VAN LOON, J.J.A.; TAKKEN, W.; CARLSON, J.R.; ZWIEBEL, L.J. 2007. Odor coding in the maxillary palp of the malaria vector mosquito *Anopheles gambiae*. *Current Biology*. 17:1533-1544.
- LUKASHEVICH, E.D.; MOSTOVSKI, M.B. 2003. Hematophagous insects in the fossil record. *Paleontological Journal*. 37:153-161.
- MCIVER, S.; SIEMICKI, R. 1975. Palpal sensilla of selected Anopheline mosquitoes. *Journal of Parasitology*. 61:535-538.
- NIGHORN, A.; HILDEBRAND, J.G. 2002. Dissecting the molecular mechanism of olfaction in a malaria-vector mosquito. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 99:1113-1114.
- ORTIZ, M.I.; MOLINA, J. 2010. Preliminary evidence of *Rhodnius prolixus* (Hemiptera: Triatominae) attraction to human skin odour extracts. *Acta Tropica*. 113:174-179.
- PITTS, R.J.; ZWIEBEL, L.J. 2006. Antennal sensilla of two female anopheline sibling species with differing host ranges. *Malaria Journal*. 5:26 doi:10.1186/1475-2875-5-26.
- PITTS, R.J.; FOX, A.N.; ZWIEBEL, L.J. 2004. A highly conserved candidate chemoreceptor expressed in both olfactory and gustatory tissues in the malaria vector *Anophles gambiae*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 101:5058-5063.
- POINAR, G. 2005. *Triatoma domenicana* sp. n. (Hemiptera:Reduviidae:Triatominae), and *Trypanosoma antiquus* sp. n. (Stercoraria:Trypanosomatidae), the first fossil evidence of a Triatomine-Trypanosomatid vector association. *Vector-borne Zoonotic Diseases*.5:72-81.
- QIU, Y.T.; VAN LOON, J.J.A.; TAKKEN, W.; MEIJERINK, J.; SMID, H.M. 2006. Olfactory coding in antennal neurons of the malaria mosquito, *Anopheles gambiae*. *Chemical Senses*. 31:845-863.
- RÜTZLER, M.; ZWIEBEL, L.J. 2005. Molecular biology of insect olfaction. Recent progress and conceptual models. *Journal of Comparative Physiology A*. 191:777-790.
- SMALLEGANGE, R.C; QIU, Y.T.; BUKOVINSZKINÉ-KISS, G.; VAN LOON, J.J.A.; TAKKEN, W. 2009. The effect of aliphatic carboxylic acids on olfaction-based host-seeking of the malaria mosquito *Anopheles gambiae sensu stricto*. *Journal of Chemical Ecology*. 35:933-943.
- TAKKEN, W.; KNOLS, B.G. 1999. Odor-mediated behavior of afrotropical malaria mosquitoes. *Annual Review of Entomology*. 44:131-157.
- TAKKEN, W.; VAN LOON, J.J.A.; ADAM, W. 2001. Inhibition of host-seeking response and olfactory responsiveness in *Anopheles gambiae* following blood feeding. *Journal of Insect Physiology*. 47:303-310.
- TDR. 2009. Reporte del grupo de trabajo científico sobre la enfermedad de Chagas. World Health Organization, Geneva. 96 p.
- TRUMAN, J.W.; RIDDIFORD, L.M. 1999. The origins of insect metamorphosis. *Nature*. 401:447-452.

- VERHULST, N.O.; BEIJLEVELD, H.; KNOLS, B.G.J.; TAKKEN, W.; SCHRAA, G.; BOUWMEESTER, H.J.; SMALLEGANGE, R.R. 2010. Cultured skin microbiota attracts malaria mosquitoes. *Malaria Journal*. 8:302 doi:10.1186/1475-2875-8-302.
- WANG, G.; CAREY, A.F.; CARLSON, J.R.; ZWIEBEL, L.J. 2010. Molecular basis of odor coding in the malaria vector mosquito *Anopheles gambiae*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 107:4418-4423.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. 2008. The global burden of disease. 2004 Update. WHO Press, Geneva. 146 p.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. 2010. http://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/projections/en/index.html Fecha última revisión: 26 abril 2010. Fecha último acceso: [26 abril 2010].

Respuesta de las plantas a la herbivoría: su aplicación en sistemas agrícolas[®]

Plant responses to herbivory: its application in agricultural systems[®]

Katja Poveda¹, María Isabel Gómez Jiménez², Andre Kessler³

¹ Bióloga, Ph.D. Agroecology, Georg August University, Waldweg 26, Goettingen D-37073, Germany. kpoveda@gwdg.de. ² Bióloga. MsC. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. migomezj@unal.edu.co. ³ Biólogo, Ph.D. Ecology and Evolutionary Biology, Cornell University, E445 Corson Hall, Ithaca, NY 14853, USA. ak357@cornell.edu

© by the Ecological Society of America. En caso de querer citar o hacer referencia a este trabajo, por favor hacer referencia al trabajo original: Katja Poveda, María I Gómez Jiménez, André Kessler. 2010. The enemy as ally: herbivore-induced increase in crop yield. Ecological Applications. In press.

Resumen

Los herbívoros ejercen una fuerte presión de selección sobre las plantas, debido a sus efectos generalmente negativos sobre el fitness y producción de las plantas, lo cual tiene consecuencias económicas devastadoras en la agricultura. En algunos casos, se ha observado que la sobrecompensación provee un aparente beneficio para las plantas atacadas. En este trabajo se demuestra que la alimentación de la larva de la polilla guatemalteca de la papa (*Tecia solanivora*, Povolny, Lepidoptera: Gelechiidae), una de las plagas más importantes de este cultivo en Latinoamérica, provoca un incremento en la producción de tubérculos de papa. Se considera que este es el primer ejemplo de un efecto positivo de la herbivoría sobre un cultivo de gran importancia agrícola. Plantas de papa (*Solanum tuberosum* cv pastusa suprema) sembradas en condiciones de campo en Cundinamarca atacadas por un número bajo de larvas de *T. solanivora* produjeron un rendimiento de tubérculos comercializables 2,5 veces mayor que el encontrado en plantas sanas. En experimentos en invernadero se encontró que este efecto es inducido por compuestos en el regurgitado de las larvas más que por el daño mecánico de los tejidos. La posibilidad de inducir el mecanismo de sobrecompensación para incrementar el rendimiento por hectárea de un cultivo tiene el potencial de resultar en un alto rendimiento económico. Esto es particularmente cierto para la producción de papa, ya que este es el cuarto cultivo más importante en el mundo y genera ingresos globales superiores a 6 mil millones de dólares al año.

Palabras clave: Compensación. Producción de cultivo. Interacciones planta-herbívoro.

Abstract

Herbivores are known to be an important ecological force via their typically negative effects on plant fitness, which have devastating economic consequences in agriculture. In a few cases, overcompensation has been shown to provide an apparent benefit to attacked plants, but the actual fitness consequences have been controversial and the mechanisms by which overcompensation occurs are unknown. Here we demonstrate that larval feeding by the Guatemalan potato moth (*Tecia solanivora*, Lepidoptera: Gelechiidae), one of the most economically important potato pests in Latin America, leads to a dramatic increase in potato tuber production. To our knowledge this is the first example of a positive effect of belowground herbivory on a major agricultural crop. Field-grown potato plants (*Solanum tuberosum* cv pastusa suprema) in the Colombian Andes attacked by low numbers of potato moth larvae produce a 2.5 fold higher marketable potato yield than undamaged plants. Greenhouse experiments indicate that this effect is induced by compounds in

the larval regurgitant, rather than by mechanical tissue damage. The possibility of using induced overcompensation mechanisms to increase the per-hectare yield of a major crop has the potential to yield high economic returns. This is particularly true for potato production, as potatoes are the world's fourth most important crop and generate global revenues in excess of 6 billion USD per year.

Key words: Compensation. Crop production. Plant-herbivore interactions

Introducción

Como consecuencia de un crecimiento exponencial en la población mundial, la preocupación por el riesgo de escasez e inestabilidad en la disponibilidad de alimentos aumenta (Tilman *et al.* 2001, Borlaug 2007). Esta situación reitera la demanda por un incremento en la producción de alimentos. En el último siglo se ha duplicado la productividad de los cultivos. Este incremento estuvo inicialmente acompañado por el uso de fertilizantes minerales, irrigación, plaguicidas sintéticos y técnicas de cultivo modernas, y recientemente ha sido reforzada la introducción de plantas genéticamente modificadas (Tilman, Fargione, Wolff, D'Antonio, Dobson, Howarth, Schindler, Schlesinger, Simberloff, and Swackhamer 2001; Matson *et al.* 1997; Richards 2000). Muchos esfuerzos se han enfocado en incrementar la productividad reduciendo el impacto de las plagas agrícolas, pero aún al año más del 15% de los cultivos alrededor del mundo se pierden por insectos plaga (Pimentel 1991). A pesar del efecto negativo de la herbivoría, investigaciones recientes sugieren que entender los mecanismos por los cuales las plantas enfrentan estrés ambiental tal como la herbivoría puede proveer nuevas vías para incrementar la resistencia a plagas o incrementar los rendimientos por unidad de área (Richards 2000). Por ejemplo, las plantas tienen una amplia gama de respuestas inducidas ante el daño por herbivoría que implican cambios en el metabolismo primario y secundario (Agrawal 1998, Kessler y Baldwin 2002) y van desde las defensas inducidas directas e indirectas contra herbívoros hasta respuestas compensatorias que permiten a la planta tolerar altas cantidades de herbivoría sin efectos negativos sobre el crecimiento o fitness (Tiffin 2000; Stowe *et al.* 2000; Agrawal 2000). Recientemente, nuevos enfoques agronómicos han explotado la inducción de defensas para la protección de cultivos (Degenhardt *et al.* 2009). Sin embargo, mientras que los programas de producción han enfatizado tradicionalmente en la maximización de los rendimientos, se ha investigado muy poco en cómo la expresión de rasgos relacionados con el rendimiento (producción de semillas o biomasa) varían bajo el efecto de la herbivoría.

Ocasionalmente, las respuestas de compensación pueden resultar en una mayor producción de biomasa o semillas en plantas atacadas por herbívoros en comparación con plantas libres de ataque, un fenómeno que ha sido denominado "sobrecompensación". Fenómenos de sobrecompensación han sido convincentemente demostradas en algunos sistemas como por ejemplo, la producción de semillas de *Ipomopsis aggregata* (Pursh) V.E. Grant (Polemoniaceae) (Paige y Whitham 1987) y de *Gentianella campestris* (L.) Boerner (Gentianaceae) (Lennartsson *et al.* 1998) que se duplica después del daño por herbívoros.

Se han propuesto tres mecanismos fisiológicos para explicar cómo las plantas pueden compensar ante el daño por herbívoros. 1) Respuestas de sobrecompensación tales como las reportadas para *Ipomopsis aggregata* y *Gentianella campestris* han sido atribuidas a la liberación de meristemos y brotes en dormancia, dado que en ambos casos la remoción de la rama principal rompió la dormancia de los meristemos laterales los cuales de otra forma permanecerían dormantes (Lennartsson, Nilsson, and Tuomi 1998, Agrawal 2000 Tiffin 2000). 2) Estudios sobre la relación entre la tolerancia a herbivoría y la disponibilidad de reservas almacenadas han mostrado evidencia

de traslocación de recursos luego del daño por herbívoros (Tiffin 2000; Stowe, Marquis, Hochwender, and Simms 2000), sugiriendo que es otro mecanismo de compensación. Por ejemplo, en *Asclepias syriaca* L. (Apocynaceae), los genotipos con rizomas más grandes fueron más tolerantes a la herbivoría en hojas (Stowe, Marquis, Hochwender, and Simms 2000). (3) Otro posible mecanismo es la sobre-regulación del metabolismo primario luego del daño (Strauss y Agrawal 1999; Agrawal 2000). Se ha reportado un incremento en las tasas fotosintéticas en muchas especies de plantas luego del daño por herbívoros, sin embargo, no se han relacionado a un incremento en la productividad.

El mantenimiento de altas tasas de crecimiento relativo y altos niveles de reservas de carbono en las raíces (para su traslocación a la reproducción aérea después del daño) ha sido propuesto como un mecanismo de tolerancia (Schwachtje *et al.* 2006, Strauss y Agrawal 1999). Por lo tanto, aunque se sabe relativamente poco de las bases fisiológicas de la tolerancia, estos mecanismos pueden ser relevantes para el estudio de respuestas de compensación en cultivos. Además de los mecanismos fisiológicos descritos arriba, los mecanismos de inducción de las respuestas de sobrecompensación han sido poco estudiados. Las respuestas de defensa de las plantas a insectos herbívoros son con frecuencia altamente específicas, como resultado de la integración de los estímulos químicos del herbívoro con la señalización endógena de la planta (Kessler y Halitschke 2007). Aunque se sabe que la respuesta de sobrecompensación puede ser inducida por el daño mecánico (Lennartson *et al.* 1998), la importancia de las señales específicas de la planta y de los estímulos derivados del herbívoro sobre la sobrecompensación aún no se conocen.

Mientras se estudiaba el efecto de la alimentación de la polilla guatemalteca, *Tecia solanivora* (Polvony) 1973 (Lepidoptera: Gelechiidae) sobre papa, *Solanum tuberosum* L. cv. Pastusa Suprema (Solanaceae) se observó un incremento significativo en el rendimiento de plantas de papa que fueron levemente infestadas por larvas de la polilla en comparación a plantas sin daño. En general, *T. solanivora* es considerada como uno de los insectos herbívoros más dañinos en el cultivo de la papa en muchas regiones de Latinoamérica (OEPP y EPPO 2005). La larva de este herbívoro especializado se alimenta de los tubérculos de la papa y puede destruir completamente un cultivo (Cadena *et al.* 2005; OEPP y EPPO 2005). Estas observaciones iniciales sugerían que respuestas de compensación podían estar jugando un papel importante en la ecología y economía de la producción de papa, lo cual condujo a formular las siguientes preguntas:

- ¿Compensan las plantas de papa ante el daño por larvas de polilla guatemalteca, y es esta respuesta localizada o sistémica?
- ¿Es la respuesta de compensación dependiente de la densidad del herbívoro?
- ¿Cuál es el mecanismo de esta respuesta de compensación en particular, existen estímulos específicos de este herbívoro?

Materiales y Métodos

Estudio de campo. Para cuantificar el efecto de la infestación natural de larvas de *T. solanivora* sobre la producción de plantas de papa bajo diferentes condiciones de campo, diez parcelas fueron sembradas en junio de 2006 en la región de Cundinamarca-Colombia. Las parcelas estuvieron separadas por al menos 3 Km a lo largo de un rango altitudinal de 2584 a 3230 m. El tamaño de las parcelas fue de 20 x 10 m y se sembraron tubérculos semilla de *Solanum tuberosum* cv. Pastusa Suprema, manteniendo 1 m de distancia entre surcos y 40 cm entre sitios de siembra.

Las plantas fueron cosechadas en diciembre de 2006, y se determinó el rendimiento total de tubérculos y los niveles de daño para 20 plantas ubicadas en el centro de cada parcela. Se inspeccionó cada tubérculo para evaluar el daño por *T. solanivora*, y otras dos plagas, *Premnotrypes vorax* (Curculionidae) y *Naupactus* sp (Curculionidae). El porcentaje de papas con daño fue contabilizado para cada planta y el rendimiento de tubérculos sanos fue estimado multiplicando el peso promedio de los tubérculos por planta por el número de tubérculos sanos. En lugar del rendimiento total se reporta el rendimiento de tubérculos sanos dada la relevancia ecológica y económica de las papas que se encuentran intactas y son comercializables.

El efecto de seis categorías de daño (sin daño, 1-10%, 11-20%, 21-30%, 31-50%, 51-100% de daño) sobre el rendimiento de tubérculos sanos fue analizado con un ANOVA de bloques, con parcela (n=10) como un factor aleatorio y la categoría daño como un factor principal. Antes del análisis, los datos de rendimiento fueron transformados con raíz cuadrada para cumplir los supuestos del ANOVA.

Experimento 1: Respuesta de crecimiento de compensación en el invernadero.

Para evaluar la respuesta de sobrecompensación de las plantas de papa en invernadero se inocularon 11 plantas con 20 huevos de *T. solanivora* y se mantuvieron 13 plantas sin daño como controles. Las larvas permanecieron en los tubérculos por 33 días, momento en el que se realizó la cosecha, el conteo, la evaluación del daño y el pesaje de los tubérculos. Se emplearon pruebas de t para comparar los dos tratamientos para estas variables respuesta.

Experimento 2: Respuesta sistémica y local a la alimentación por larvas.

Se extrajo cuidadosamente uno de los tubérculos de cada una de 20 plantas de papa sembradas en materia, sin maltratar o dañar el estolón que lo une a la planta. Estos tubérculos individuales, de aquí en adelante denominados “tubérculos focales”, fueron dejados sobre la superficie del suelo y fueron cubiertos con una tela negra. Veinte larvas de *T. solanivora* fueron adicionadas al tubérculo focal (“tubérculo focal con daño”) de 10 plantas de papa mientras que en otras diez plantas estos tubérculos (“tubérculo focal sano”) fueron mantenidas como controles. Cinco meses después de siembra, los tubérculos y el material vegetal aéreo fueron colectados, contados y pesados. La biomasa vegetal aérea fue secada a 70°C por 3 días y posteriormente pesada. Para analizar el efecto de *T. solanivora* sobre la masa de los tubérculos focales (tubérculos locales), el resto de tubérculos (tubérculos sistémicos) y la biomasa aérea, se realizaron pruebas de t. Los datos de masa del tubérculo focal fueron transformados a logaritmo natural antes del análisis para cumplir con los supuestos del ANOVA y los valores promedio se transformaron de nuevo para su presentación en las figuras.

Experimento 3: ¿Inductores específicos del herbívoro?.

Con el fin de determinar si la respuesta de compensación fue solamente una respuesta al daño mecánico de los tubérculos o una respuesta a inductores específicos del herbívoro, se extrajeron tubérculos focales individuales de 40 plantas como se describió previamente. En treinta tubérculos, se perforaron agujeros de 1,5 mm de ancho por 12 mm de profundidad usando un tubo capilar. Luego a cada diez plantas se les aplicó un tratamiento, inyección de 5 μ l de agua destilada, 5 μ l de regurgitado de *T. solanivora* o 5 μ l de heces diluídas. Diez plantas fueron mantenidas como controles sin perforar. Las aplicaciones fueron repetidas tres veces por semana durante un periodo de tres semanas para un total de nueve aplicaciones por planta durante el crecimiento de los tubérculos. Una semana después de la última aplicación (cinco meses después de siembra), los tubérculos fueron cosechados y pesados. Los datos de biomasa de tubérculos sistémicos y focales fueron analizados con ANOVA univariados separados. Las diferencias entre medias fueron analizadas usando una prueba HSD de Tukey para tamaños de muestras desbalanceados

Resultados

Datos de campo.

Las plantas que tuvieron del 1 al 10% de sus tubérculos dañados por larvas de *T. solanivora* produjeron 2,5 veces más peso en tubérculos comercializables (sanos) que las plantas control (Tabla 1). Incluso en plantas con del 11 al 20% de los tubérculos dañados, el rendimiento, de los tubérculos sanos se incrementó en cerca de dos veces (Categoría de daño $F_{5, 184}=13.16$, $p<0.00001$; Efecto del bloque (Sitio): $F_{9, 184}= 3.58$, $p=0.0003$).

Tabla 1. Efecto del porcentaje de tubérculos dañados por *T. solanivora* por planta sobre la producción de tubérculos sanos de la misma planta (promedio $\pm$ error estándar) de 10 cultivos de papa localizados a lo largo de la Sabana de Bogotá. Valores que tienen una letra en paréntesis en común no son significativamente diferentes (Tukey HSD para tamaño de muestra desbalanceado $p< 0.05$). Se presenta el número de repeticiones (n) para cada uno de los tratamientos.

% de tuberculos dañados por planta	Producción de tuberculos sanos (g) por planta	n
0	543.6 $\pm$ 3.38 (ac)	42
1-10	1377.4 $\pm$ 3.09 (b)	46
11-20	1063.3 $\pm$ 3.8 (b)	37
21-30	862.8 $\pm$ 4.05 (ab)	35
31-50	680.7 $\pm$ 6.7 (ab)	21
51-100	161.1 $\pm$ 7.8 (c)	18

Respuesta de crecimiento de compensación en el invernadero

En el invernadero, la adición de aproximadamente 20 larvas por materia causó un incremento de dos veces el rendimiento total de las papas (69,5 $\pm$ 18,9 g en plantas control vs. 138,2 $\pm$ 12,5 g en plantas con larvas; $t=2,91$; $p=0,007$; g.l.=22). Este incremento se debe a un aumento en la biomasa promedio de los tubérculos individuales ($t=1.98$, $p=0.02$, g.l.=22) y no a un incremento en el número de tubérculos por planta ($t=0,96$; $p=0,34$; g.l.=22).

Respuesta sistémica y local a la alimentación por larvas

La biomasa de los tubérculos focales dañados no difirió de la biomasa de los tubérculos focales sanos ($t = 0.75$; $p=0.46$; g.l. = 12), mientras que el peso de los otros tubérculos (sistémicos) en plantas tratadas con herbívoros fue el doble con respecto a los tubérculos correspondientes a las plantas control (Tabla 2; $t = -2.17$, $p=0.05$, g.l. = 12). La duplicación de la masa de los tubérculos no fue causada por un incremento en el contenido de agua (contenido de agua: control 2.44 ± 0.26 vs. tubérculos sanos de plantas atacadas 2.81 ± 0.18 ; $t = -1.15$; $p=0.27$; g.l. = 12) sino por un incremento en la masa seca acumulada. Se encontró un incremento marginalmente significativo ($t = -1.75$; $p=0.1$; g.l.=13) en la biomasa aérea en plantas con un tubérculo dañado por *T. solanivora* (8.32 ± 0.97) en comparación con plantas sanas (5.36 ± 1.37).

Tabla 2. Peso promedio de los tubérculos ($\pm$ error estándar) de plantas control y plantas con daño por larvas de *T. solanivora*. En los tubérculos focales en el tratamiento con larvas se liberaron 20 larvas; en los tratamientos control el tubérculo focal se mantuvo sin daño.

	Peso tubérculo focal (g)	Peso otros tubérculos (g)
Control	44.77 ± 15.27	20.2 ± 1.61
Con larvas de Tecia	84.06 ± 9.65	13.06 ± 1.34

¿Inductores específicos del herbívoro?

No se encontró diferencia en la masa de los tubérculos focales entre los tratamientos ($F_{3,23} = 0.19$; $p=0.9$). Sin embargo, la adición de regurgitado de *T. solanivora* incrementó significativamente la masa de tubérculos sistémicos de plantas tratadas en comparación con los tubérculos sistémicos de plantas control y plantas tratadas con heces (Tabla 3; $F_{3,23} = 4.77$; $p=0.009$). Este resultado indica que el regurgitado de las larvas de *T. solanivora* contiene inductores químicos específicos del herbívoro, los cuales aparentemente inducen un incremento sistémico en el crecimiento de los tubérculos de la papa.

Tabla 3. Peso promedio ($\pm$ error estándar) de los tubérculos focales y sistémicos en plantas sometidas a los siguientes tratamientos: plantas control mantenidas sin daño, plantas con daño mecánico en el tubérculo focal y tratamiento con 5 μ l de agua destilada, heces diluidas o regurgitado diluido (1:5 en agua destilada). Letras en paréntesis después de los valores indican diferencias estadísticas (Tukey HSD para tamaño de muestra desbalanceado $p < 0.05$).

	Tuberculo focal	Tuberculos sistémicos
Control	27.56 ± 9.5 (a)	42.36 ± 14.7 (a)

Agua	27.82 ± 7.4 (a)	74.61 ± 8.6 (ab)
Heces	36 ± 15.5 (a)	50.86 ± 14.8 (a)
Regurgitado	26.9 ± 4.15 (a)	104.6 ± 13.3 (b)

Discusión

Estos resultados muestran que la alimentación de la polilla guatemalteca de la papa, *Tecia solanivora*, incrementa la producción de tubérculos en plantas de papa. Como se mencionó anteriormente, tres hipótesis han sido propuestas para el mecanismo fisiológico que lleva a una respuesta de sobrecompensación: 1) liberación de la dormancia de brotes y meristemos, 2) traslocación de recursos dentro de la planta, y 3) sobrerregulación del metabolismo primario. La hipótesis de liberación de dormancia de los meristemos podría predecir un incremento en el número de tubérculos debido a la activación de los meristemos responsables por la formación de los tubérculos (Ferne y Willmitzer 2001), sin embargo, no se encontró un incremento en el número de tubérculos después del ataque de las larvas de *T. solanivora*. La hipótesis de traslocación de recursos predeciría una reducción en la biomasa aérea como resultado de la traslocación de recursos a la formación de tubérculos, sin embargo, la biomasa aérea no difirió entre plantas con y sin daño. Por lo tanto, se rechazan tentativamente estas explicaciones para la sobrecompensación observada en las plantas de papa. Dado que no se encontró una reducción en la biomasa aérea sino una tendencia a su incremento, los resultados sugieren un incremento en el metabolismo primario inducido por el herbívoro, en combinación con una traslocación de los nuevos metabolitos primarios a los tubérculos, como la mejor explicación al incremento en la producción en los tubérculos en las plantas atacadas.

En este trabajo se evaluó si la sobrecompensación inducida por *T. solanivora* fue el resultado de una inducción herbívoro-específica. La adición de regurgitado de *T. solanivora* incrementó significativamente la masa de los tubérculos no tratados (sistémicos) en plantas con tratamiento en comparación a los tubérculos respectivos de las plantas control y las plantas con tratamiento con heces. Estos resultados indican que el regurgitado de las larvas de *T. solanivora* contiene químicos inductores, los cuales aparentemente alteran la fisiología de la planta y como consecuencia llevan a un incremento sistémico en la producción de tubérculos. Se ha encontrado que los inductores específicos de la secreción salivar de insectos herbívoros generan cambios complejos en el metabolismo secundario de las plantas (Alborn *et al.* 1997; Halitschke *et al.* 2001). Respuestas de crecimiento inducidas por inductores herbívoro-específicos han sido observadas solamente con los fluidos de oviposición de escarabajos brúquidos y saliva de mamíferos, pero no ocasionaron sobrecompensación (Bergman 2002; Zhang *et al.* 2007). Por el contrario, muchos estudios previos han reportado que el daño mecánico (no específico) puede inducir respuestas de sobrecompensación en plantas (Lennartsson, Nilsson, and Tuomi 1998), sin embargo, estas respuestas fueron generalmente atribuidas a una traslocación de recursos o a la liberación de la dormancia de los meristemos. Aparentemente, la interacción *T. solanivora* – papa provee el primer ejemplo de un incremento en la productividad de la planta inducido específicamente por el herbívoro.

En conclusión, los resultados indican que el regurgitado de las larvas de *T. solanivora* contiene inductores que incrementan la biomasa de los tubérculos de papa. El incremento en la producción

de papa tanto en condiciones de invernadero como en campo son un claro ejemplo de una respuesta de sobrecompensación de la planta a la herbivoría, un hallazgo con potenciales aplicaciones en la agricultura. La identificación de los mecanismos moleculares y metabólicos implicados y el aislamiento y aplicación de los inductores derivados de los herbívoros puede proveer herramientas promisorias para el manejo del impacto de los herbívoros en los cultivos.

Agradecimientos. Agradecemos a A. Ramirez, C. Núñez, E. Torrado, E.A. Pedraza, P.A. Díaz, J. Jácome, M.F. Díaz, Z. R. Muñoz y los doce agricultores que colaboraron con el proyecto por la asistencia con el trabajo de laboratorio y campo y la asesoría. Un especial agradecimiento al “Laboratorio de Entomología”, al “Grupo de Investigación en Papa” y al “Laboratorio de Biotecnología Vegetal” de la Facultad de Agronomía - Universidad Nacional de Colombia por el apoyo logístico. Esta investigación fue financiada por la Fundación Alemana para la Investigación (DFG) a través de la subvención PO 1215_2.1 and PO 1215_3.1

Literatura citada

- AGRAWAL, A. A. 1998. Induced responses to herbivory and increased plant performance. *Science* 279 (5354): 1201-1202.
- AGRAWAL, A. A. 2000. Overcompensation of plants in response to herbivory and the by-product benefits of mutualism. *Trends in Plant Science* 5 (7): 309-313.
- ALBORN, T., T. C. J. TURLINGS, T. H. JONES, G. STENHAGEN, J. H. LOUGHRIN y J. H. TUMLINSON. 1997. An elicitor of plant volatiles from beet armyworm oral secretion. *Science* 276 (5314): 945-949.
- BERGMAN, M. 2002. Can saliva from moose, Alces alces, affect growth responses in the willow, Salix caprea? *OIKOS* 96 (1): 164-168.
- BORLAUG, N. 2007. Feeding a hungry world. *Science* 318 359-359.
- CADENA, M., A. NARANJO y C. E. NÚÑEZ. 2005. Evaluating the response of 60 Solanum phureja (Juz. et Buk.) genotypes to attacks by the Guatemalan moth (Tecia solanivora Povolny). *Agronomía Colombiana* 23 (1): 112-116.
- DEGENHARDT, J., I. HILTPOLD, T. G. KOLLNER, M. FREY, A. GIERL, J. GERSHENZON, B. E. HIBBARD, M. R. ELLERSIECK y T. C. J. TURLINGS. 2009. Restoring a maize root signal that attracts insect-killing nematodes to control a major pest. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 106 (32): 13213-13218.
- FERNIE, A. R. y L. WILLMITZER. 2001. Molecular and biochemical triggers of potato tuber development. *Plant Physiology* 127 (4): 1459-1465.
- HALITSCHKE, R., U. SCHITTKO, G. POHNERT, W. BOLAND y I. T. BALDWIN. 2001. Molecular interactions between the specialist herbivore Manduca sexta (Lepidoptera, Sphingidae) and its natural host Nicotiana attenuata. III. Fatty acid-amino acid conjugates in herbivore oral secretions are necessary and sufficient for herbivore-specific plant responses. *Plant Physiology* 125 (2): 711-717.
- KESSLER, A. y I. T. BALDWIN. 2002. Plant responses to insect herbivory: the emerging molecular analysis. *Annu Rev Plant Biol* 53 299-328.
- KESSLER, A. y R. HALITSCHKE. 2007. Specificity and complexity: the impact of herbivore-induced plant responses on arthropod community structure. *Current Opinion in Plant Biology* 10 (4): 409-414.
- LENNARTSSON, T., P. NILSSON y J. TUOMI. 1998. Induction of Overcompensation in the Field Gentian, Gentianella Campestris. *Ecology* 79 (3): 1061-1072.

- MATSON, P. A., W. J. PARTON, A. G. POWER y M. J. SWIFT. 1997. Agricultural intensification and ecosystem properties. *Science* 277 (5325): 504-509.
- OEPP y EPPO. 2005. Data sheets on quarantine pests: *Tecia solanivora*. *OEPP/EPPO Bulletin* 35 399-401.
- PAIGE, K. N. y T. G. WHITHAM. 1987. Overcompensation in Response to Mammalian Herbivory - the Advantage of Being Eaten. *American Naturalist* 129 (3): 407-416.
- PIMENTEL, D. 1991. DIVERSIFICATION OF BIOLOGICAL-CONTROL STRATEGIES IN AGRICULTURE. *Crop Protection* 10 (4): 243-253.
- RICHARDS, R. A. 2000. Selectable traits to increase crop photosynthesis and yield of grain crops. *Journal of Experimental Botany* 51 447-458.
- SCHWACHTJE, J., P. E. H. MINCHIN, S. JAHNKE, J. T. VAN DONGEN, U. SCHITTKO y I. T. BALDWIN. 2006. Snf1-Related Kinases Allow Plants to Tolerate Herbivory by Allocating Carbon to Roots. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 103 (34): 12935-12940.
- STOWE, K. A., R. J. MARQUIS, C. G. HOCHWENDER y E. L. SIMMS. 2000. The Evolutionary Ecology of Tolerance to Consumer Damage. *Annual Review of Ecology and Systematics* 31 565-595.
- STRAUSS, S. y A. AGRAWAL. 1999. The ecology and evolution of plant tolerance to herbivory. *TREE* 14 (5): 179-185.
- TIFFIN, P. 2000. Mechanisms of Tolerance to Herbivore Damage: What Do We Know? *Evolutionary Ecology* 14 (4-6): 523-536.
- TILMAN, D., J. FARGIONE, B. WOLFF, C. D'ANTONIO, A. DOBSON, R. HOWARTH, D. SCHINDLER, W. H. SCHLESINGER, D. SIMBERLOFF y D. SWACKHAMER. 2001. Forecasting agriculturally driven global environmental change. *Science* 292 (5515): 281-284.
- ZHANG, Z., S. P. WANG, G. M. JIANG, B. PATTON y P. NYREN. 2007. Responses of *Artemisia frigida* Willd. (Compositae) and *Leymus chinensis* (Trin.) Tzvel. (Poaceae) to sheep saliva. *Journal of Arid Environments* 70 (1): 111-119.

Efecto del uso integrado de estímulos repelentes y atrayentes sobre *Tecia solanivora* en cultivos de papa*

Effect of integrated use of repellents and attractants stimuli on *Tecia solanivora* in potato fields

María Isabel Gómez Jiménez¹ y Katja Poveda²

¹ Bióloga, MSc., Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. migomezj@unal.edu.co. ² Bióloga, Ph.D., Agroecology, Georg August University, Waldweg 26, Goettingen D-37073, Germany. kpoveda@gwdg.de

*Excerpts translated and reprinted from Basic and Applied Ecology 10(2009) 763-769. M.I. Gómez Jiménez, K. Poveda. Synergistic effects of repellents and attractants in potato tuber moth control. Copyright (2010), with permission from Elsevier

Resumen

La agricultura convencional se basa en el uso intensivo de plaguicidas de síntesis química para el manejo de plagas y enfermedades. Este tipo de manejo tiene efectos negativos a nivel ecológico y sobre la salud humana. Debido a esto, actualmente, en el mundo existe una amplia demanda por alternativas de manejo más saludables, tales como aquellas basadas en la manipulación del comportamiento. Estas estrategias usan estímulos repelentes o atrayentes o la combinación de estos para el control de plagas. Una de las principales plagas del cultivo de la papa es la polilla guatemalteca, *Tecia solanivora*, cuyas larvas se alimentan exclusivamente del tubérculo y pueden ocasionar graves pérdidas. En el presente trabajo se evaluó el efecto disuasivo de oviposición de ocho especies de plantas y la atracción para oviposición generada por ocho variedades de papa. En un ensayo en condiciones de campo se sembró la variedad Parida Pastusa empleando la variedad Roja Nariño como planta trampa y extracto de ajo-ají como estímulo repelente. La aplicación combinada de estos estímulos redujo el daño por *T. solanivora* e incrementó la productividad en comparación a parcelas control. La productividad en parcelas con tratamiento químico convencional fue similar a la de las parcelas tratadas con la estrategia combinada. Los resultados sugieren que el uso simultáneo de extracto de ajo-ají y el cultivo intercalado con *Solanum tuberosum* cv Roja Nariño es una estrategia de manejo efectiva y ecológicamente atractiva para el control de *T. solanivora*.

Palabras clave: Plantas repelentes. Plantas trampa. Extractos vegetales. Polilla guatemalteca de la papa.

Abstract

Conventional agriculture is based on the intensive use of synthetic chemical pesticides to control pests and diseases. This type of management practices has detrimental effects on ecosystems and human health. As a consequence there is a worldwide demand for alternative management practices, such as those based on behavioral manipulation. These strategies use repellent or attractive stimuli or their combination for pest control. One of the main pests of potato crops is the Guatemalan potato moth, *Tecia solanivora*, whose larvae feed exclusively on the tuber and can cause serious yield losses. In this study, we evaluated oviposition deterrence by eight species of plants and the oviposition stimulants from eight potato varieties. In a field experiment, we sowed cv Parida Pastusa employing cv Roja Nariño as trap plant and garlic-pepper extract as repellent stimuli. The combined application of these stimuli reduced *T. solanivora* larval tuber damage and increased the productivity in comparison to control plots. Productivity in the conventionally treated plots was similar to plots treated with the combined strategy. Results suggest that the simultaneous

use of garlic-pepper extracts and the intercropping with *Solanum tuberosum* cv Roja Nariño is an effective and ecologically sound management strategy for *T. solanivora* control.

Key words: Repellent plants. Trap plants. Plant extracts. Guatemalan potato moth.

Introducción

Los efectos devastadores de la intensificación de la agricultura y el uso intensivo de agroquímicos han incrementado la demanda por productos libres de residuos y producidos con prácticas ambientalmente sanas (Thompson 1998, Magnusson & Cranfield 2005). Como consecuencia, existe un creciente interés por estrategias alternativas de manejo de plagas tales como la diversificación de los agroecosistemas y la manipulación del comportamiento de las plagas por el uso de estímulos atrayentes y repelentes o su combinación (Miller & Cowles 1990, Khan *et al.* 2000, 2001; Finch *et al.* 2003).

Una de las pocas estrategias de manejo que integra el uso de dos estímulos diferentes se denomina estrategia “push-pull” (Pyke *et al.* 1987; Cook *et al.* 2007a), en donde se emplean medidas que hacen al cultivo protegido poco atractivo para las plagas (push), tales como feromonas, estímulos antialimentarios o disuasivos de oviposición, extractos vegetales o plantas acompañantes (Ascher 1993; Hammad *et al.* 2001; Srivastava *et al.* 2001; Finch *et al.* 2003; Mauchline 2005; Morley *et al.* 2005; Gökçe *et al.* 2006; Shu-Sheng *et al.* 2006), mientras que se les ofrece un recurso más atractivo, donde se facilita su control directo (pull) como los cultivos trampa. Estas pueden ser plantas de un estado de crecimiento, cultivar o variedad preferido por la plagas, o una especie más atractiva que el cultivo de forma que se reduce la presión por herbívoros y las poblaciones de plagas se concentran favoreciendo su control directo por métodos tradicionales o por controladores biológicos (Hokkanen 1991; Asman 2002; Hoy 2003; Shelton & Nault 2004; Musser *et al.* 2005; Potting *et al.* 2005; Shelton & Badenes 2006; Cook *et al.* 2007b).

Aunque esta estrategia puede reducir el costo económico y ambiental del uso intensivo de plaguicidas, el uso combinado de diferentes estrategias ha sido poco estudiado en otros cultivos (revisado por Cook *et al.* 2007a). La papa tiene un papel clave no solo en la agricultura mundial sino también en la economía y en la seguridad alimentaria.

Una de las principales plagas de la papa es la polilla guatemalteca, *Tecia solanivora*, que se ha especializado en tubérculos de papa. Este es el único alimento de la larva de esta polilla, la cual lo barrena y lo hace comercializable ocasionando pérdidas de más del 95% (Arias *et al.* 1996; Herrera 1997; Benavides 1998; EPPO 2005). Por el alto riesgo que implica la presencia de la polilla guatemalteca en los cultivos y otros insectos y patógenos, el 90% de los productores de papa en Colombia basan su manejo en aplicaciones intensivas de plaguicidas lo que implica un gasto de 61 millones de dólares al año (Observatorio de Competitividad Agrocadenas Colombia 2007).

Dada la urgencia de desarrollar un sistema de manejo para el cultivo de la papa que reduzca el uso desmedido de plaguicidas, el objetivo de este trabajo fue desarrollar una estrategia que combinara estímulos atrayentes y repelentes para el control de *T. solanivora*.

Materiales y Métodos

1. Insectos

Las polillas empleadas en los ensayos fueron obtenidas del Laboratorio de Cría de Insectos de la Universidad Nacional de Colombia (Bogotá). La colonia fue suplementada con larvas y pupas colectadas de campo al comienzo del estudio y fue mantenida a $17 \pm 2^\circ\text{C}$ en un cuarto oscuro. Para todos los experimentos se emplearon adultos de 3-4 días de emergidos.

2. Identificación de la planta repelente

Los experimentos para la evaluación de plantas trampa y repelentes se realizaron en condiciones de invernadero en 2006 y 2007 en la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Colombia en Bogotá. En estos experimentos la temperatura fluctuó entre 15 y 37°C . Para determinar si plantas no-hospederas reportadas previamente como repelentes tenían un efecto disuasivo de oviposición sobre *T. solanivora* se evaluaron ocho especies tradicionalmente usadas como repelentes para el control de esta y otras plagas de papa (Lal 1991; Kroschel & Koch 1996; Mamani *et al.* 1997; Ortega & Fernández 2000; Graf & Quispe 2002; Iannacone & Lamas 2003). Estas especies fueron *Minthostachys mollis* (Lamiaceae), *Allium sativum* (Liliaceae), *Allium sepa* (Liliaceae), *Capsicum frutescens* (Solanaceae), *Lippia alba* (Verbenaceae), *Tropaeolum tuberosum* (Tropaeolaceae), *Ruta graveolens* (Rutaceae) y *Calendula officinalis* (Asteraceae).

La variedad de papa empleada en los ensayos fue Pastusa suprema, cuyos tubérculos se sembraron en materas de 2 litros con una adición de 15 gramos de fertilizante 10:20:20 (N:P:K). Los experimentos se llevaron a cabo cuando las plantas de papa se encontraban en floración periodo que coincide con la tuberización (Segura *et al.* 2006).

Para evaluar el efecto repelente de cada planta y el gradiente de repelencia se localizaron las plantas en una línea con una distancia entre plantas de 20 cm. Siguiendo este patrón tres plantas de papa fueron ubicadas a cada lado de una planta no-hospedera, estas siete plantas conformaron una unidad experimental. Se empleó un diseño de bloques completos al azar. Cada bloque consistió de ocho unidades experimentales, uno por cada planta no-hospedera. Para evadir la tendencia de las polillas de ovipositar bajo las materas, se ubicaron cartones con hoyos de 15 cm de diámetro arriba del borde superior de las materas de forma que el suelo dentro de la matera quedaba nivelado con el cartón. Para proveer a las polillas de un sustrato para ovipositar que permitiera el conteo posterior de huevos se cubrió la lámina de cartón con una tela negra.

El montaje completo fue cubierto con una carpa de velo y se selló al cartón para evitar que las polillas escaparan. Se liberaron 400 adultos dentro de la carpa donde ellos podían moverse libremente. Después de cinco días se removió el cartón y la tela y se realizó el conteo del número de huevos encontrados alrededor de cada planta sobre una superficie de 400 cm^2 sobre la tela y el cartón.

3. Identificación de la planta trampa

Con el fin de encontrar una planta de papa con potencial como planta trampa se emplearon siete variedades comerciales de papa y un cultivar pertenecientes a las dos especies de papa *Solanum phureja* (Criolla latina, Criolla paisa, cultivar Pepina) y *Solanum tuberosum* (Bettina, Diacol Capiro, Parda Pastusa, Pastusa Suprema, Roja Nariño). Se realizaron dos experimentos, la evaluación del potencial como estimulante de oviposición y la evaluación del desarrollo de las larvas en cada una de estas variedades.

Oviposición

Tubérculos de las 7 variedades y el cultivar se sembraron como se describió previamente para las plantas de Pastusa Suprema. Los experimentos se realizaron en tuberización, momento en el que las plantas deben ser más atractivas para las polillas (Niño 2004). El montaje del experimento fue similar al descrito para el ensayo de plantas repelentes. En este caso se distribuyeron en cuatro bloques, cada uno conformado por 21 a 25 plantas de todas las variedades distribuidas al azar a lo largo de una línea con 40 cm entre la base de las plantas. 200 polillas fueron liberadas en cada bloque. Después de cinco días se realizó el conteo de los huevos encontrados en una superficie de 800 cm² en el cartón y la tela alrededor de cada planta. Para evaluar si alguna característica morfológica de la planta tuvo un efecto sobre la oviposición de *T. solanivora*, se registraron la altura, el número de tallos y el número de hojas para cada planta.

Desarrollo larval

Para este experimento se colocaron 30 larvas de *T. solanivora* en cada uno de cinco tubérculos por variedad en vasos plásticos que contenían arena en el fondo. Los vasos se cubrieron con velo y se contó el número de larvas que puparon, el peso de las pupas, el número de días que le tomó al adulto emerger desde la formación de la pupa y el número de adultos que finalmente emergieron.

4. Experimento de campo

Se llevó a cabo un ensayo en condiciones de campo en el municipio de Chocontá-Cundinamarca (5°07'930"N 73°39'630"W) entre Junio y Noviembre de 2007. El cultivo principal fue *Solanum tuberosum* cv. Parda pastusa. Se empleó extracto de ajo-ají comercial (Agrisan®) (120 mL/20L) como el estímulo repelente dado que ninguna de las plantas no-hospederas produjo una reducción significativa en la oviposición de *T. solanivora*. La variedad Roja Nariño fue usada como cultivo trampa en base a los resultados obtenidos en los ensayos de invernadero (ver Resultados).

Se aplicaron cinco tratamientos en un diseño completamente al azar replicado ocho veces. Los tratamientos fueron: 1) control (sin planta trampa ni extracto de ajo-ajo, 2) cultivo trampa sin extracto, 3) sin cultivo trampa y con extracto 4) cultivo trampa y extracto y 5) cultivo de papa con control químico convencional.

Cada tratamiento fue aplicado a parcelas de 9 x 5 m separadas entre si por 3 metros. Las parcelas consistieron de 5 surcos separados por un metro. La distancia entre sitios de siembra fue de 40 cm. Se fertilizó en la siembra con N:P:K 12-34-12 (Ecofertil®) (Junio 2007) y en el aporque (67 días después de siembra – dds). Para los tratamientos con cultivo trampa, los tubérculos de Roja Nariño se sembraron en el surco de la mitad de cada parcela en las mismas condiciones descritas. En los tratamientos correspondientes se aplicó el extracto de ajo-ají en los ocho surcos externos, inicialmente 44 dds y luego cada 15 días al follaje y después de floración (99 dds) cada siete días al follaje y a la base de la planta. En las parcelas con control convencional se aplicaron plaguicidas (Roxion-i.a. Dimethoate: 44 dds, Eltra-i.a. Carbosulphan: 44, 74 y 104 dds). Todas las parcelas fueron igualmente tratadas con fungicidas y herbicidas.

Se realizaron dos muestreos de la artropofauna asociada a cada tratamiento, el primero mediante trampas de caída a los 53 dds ubicadas en la mitad de cada parcela y mantenidas durante una semana, el segundo con trampas de caída y jameo en el segundo y tercer surco de un lado de la parcela. Los artrópodos colectados se determinaron a orden y se separaron en gremios de alimentación en depredadores, parasitoides y herbívoros, de estos últimos solo se tuvieron en

cuenta aquellos previamente descritos como importantes en el cultivo de la papa (López Ávila & Espitia Malagón 2000; Fedepapa 2004), los otros se tuvieron en cuenta para el análisis de abundancia total de artrópodos.

Se marcó una planta en los cinco surcos externos de uno de los lados de cada parcela un mes después de siembra. En estas plantas se tomaron medidas de altura cada quince días entre Julio y Septiembre. Se registró el número de tallos en el primer muestreo. En el momento de la cosecha (155 dds) se colectaron los tubérculos producidos por cada planta para evaluar la producción y el daño en tubérculo por herbívoros.

5. Análisis estadístico

El número de huevos se analizó como la proporción entre el número de huevos alrededor de una planta y el número total de huevos en el montaje experimental (bloque). Para el experimento de plantas repelentes los datos se transformaron con arc-sin de la raíz cuadrada para incrementar la homogeneidad de varianza y la normalidad de los residuos antes de realizar un ANOVA. Para el ensayo de plantas trampa la proporción de huevos se transformó con logaritmo natural y se analizaron las variables, variedad de papa, altura, número de tallos y hojas con un MANCOVA. En un modelo lineal generalizado se usó la variedad de papa como factor principal, y las otras variables como covariables. Para la evaluación del desarrollo larval se analizó el efecto de la variedad sobre 1) el número de larvas que puparon, 2) el número promedio de días que le tomó a la larva pupar, 3) el peso de las pupas y 4) el número de adultos que emergieron, en cuatro ANOVAs independientes. Los datos de peso de pupas se transformaron al logaritmo natural. Para evaluar la diferencia entre tratamientos se realizaron pruebas de Tukey.

En el experimento de campo se evaluó la correlación espacial entre parcelas con una prueba Mantel. Los datos de abundancia de artropofauna total y de herbívoros se transformaron a logaritmo natural. Los datos de postcosecha se analizaron en un ANOVA de dos vías con la distancia al surco medio y el tratamiento como factores principales. El surco de medio de todas las parcelas se analizó de forma separada con un ANOVA. Los análisis de ANOVA, MANCOVA y medidas repetidas se llevaron a cabo con el programa STATISTICA (StatSoft 2004) y las pruebas Mantel se realizaron con R (R 2005). Para las tablas y gráficas los datos promedio se transformaron de nuevo.

Resultados

1. Identificación de la planta repelente

Ninguna de las especies no-hospederas evaluadas afectó el número de huevos encontrados en las plantas cercanas a ellas ($F_{8, 45}=0,93$; $p=0,49$). Sin embargo, se encontró que a mayor distancia de la planta repelente la oviposición fue mayor ($F_{3, 180}=8,07$; $p < 0,001$), en general para todas las especies evaluadas el número de huevos fue mayor a una distancia de 60 cm (Fig. 1).

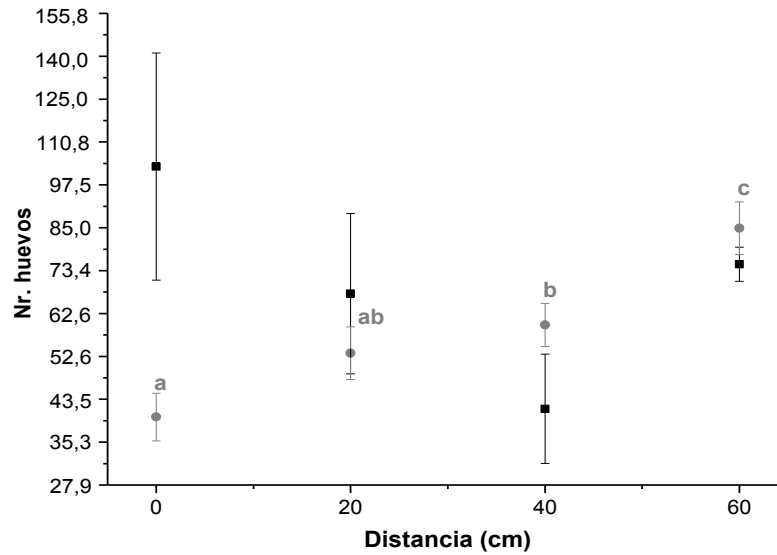


Figura 1. Oviposición de *T. solanivora* sobre plantas de papa ubicadas a 20, 40 y 60 cm de una planta no repelente o una control. En la distancia 0 se ubicó la planta no-hospedera. En gris el número de huevos promedio encontrados en las plantas no-hospederas, en negro los controles. Número promedio de huevos ($\pm$ Error estándar) con diferentes letras indica diferencias significativas (prueba de Tukey HSD, $p < 0,05$).

2. Identificación de la planta trampa

Oviposición

El número de huevos encontrados en las diferentes variedades de papa fue significativamente diferente ($F_{7,77}=2,65$; $p=0,016$). La oviposición de *T. solanivora* fue menor en las variedades Bettina y Parda Pastusa en comparación a la Roja Nariño (Tabla 1).

Tabla 1. Promedio ($\pm$ Error Estándar) de huevos en plantas de papa de diferentes variedades de *S. phureja* y *S. tuberosum*. Las diferentes letras indican diferencias significativas (prueba de Tukey HSD para tamaño de muestra desbalanceado, $p < 0,05$)

Especie	Variedad	No. de huevos
<i>Solanum phureja</i>	C. Latina	71,85 (0,16) ab
	C. Paiza	58,95 (0,20) ab
	Pepina	54,78 (0,23) ab
	Bettina	26,42 (0,40) a
<i>Solanum tuberosum</i>	D. Capiro	52,61 (0,37) ab
	P. Pastusa	27,52 (0,35) a
	P. Suprema	57,33 (0,31) ab
	R. Nariño	105,21 (0,31) b

La altura y el número de hojas y tallos no afectó el número de huevos encontrado cerca a las plantas ($F_{1,77}= 2,42$; $p=0,12$, $F_{1,77}= 1,10$; $p=0,29$ y $F_{1,77}= 2,95$; $p=0,08$ respectivamente).

Desarrollo larval

Se encontró que más larvas llegaron a adulto y se desarrollaron más rápido cuando crecieron sobre *Solanum phureja* que sobre *Solanum tuberosum*. Se encontró que en las variedades *S. tuberosum* ^{CVs} Capiro, Parda Pastusa, Roja Nariño y Pastusa Suprema menos larvas se desarrollaron a pupa, el tiempo entre pupa y adulto fue más prolongado y menos adultos emergieron ($F_{7,32}=4.39$, $p<0.01$, $F_{7,28}=5.25$, $p<0.01$ y $F_{7,32}=5.46$, $p<0.01$ respectivamente, Figs. 2a, b y c). El peso de las pupas fue igual en todas las variedades ($F_{7,28}=0.73$, $p=0.64$).

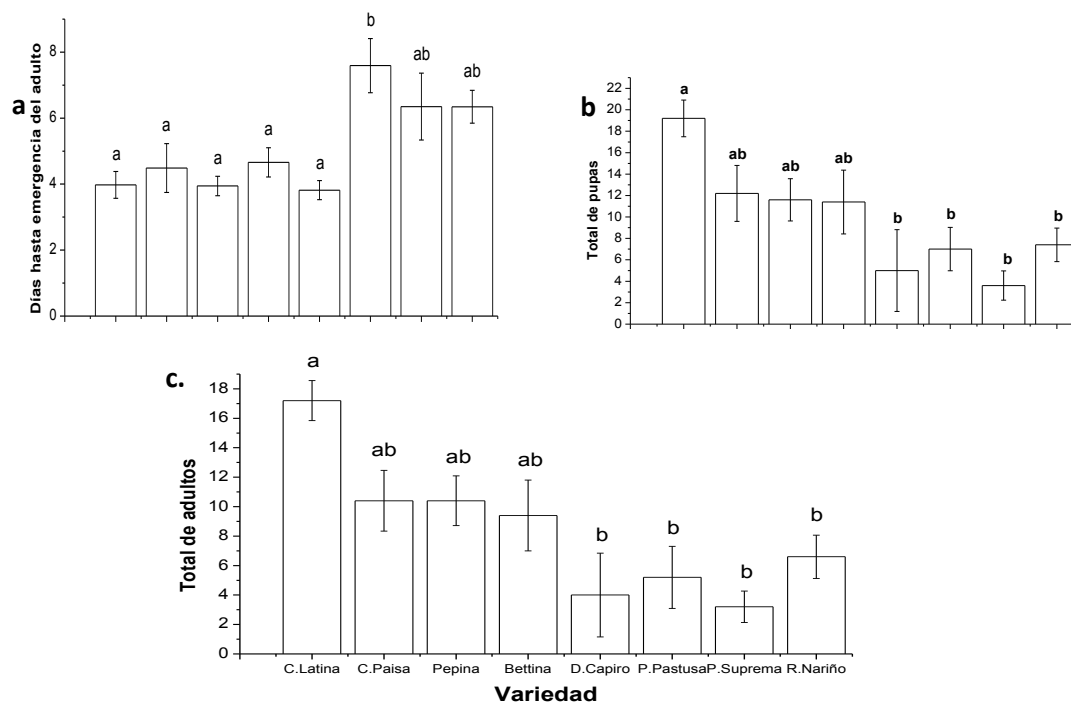


Figura 2. Efecto de diferentes variedades de papa sobre **a.** Número promedio de días desde la formación de la pupa hasta el nacimiento del adulto **b.** Número total de pupas **c.** Número de adultos que emergieron. Las barras ($\pm$ Error Estándar) con diferentes letras indican diferencias significativas (prueba de Tukey HSD, $p<0,05$ para b y c y prueba de Tukey HSD para tamaño de muestra desigual, $p<0,05$ para a)

3. Experimento de campo

Artropofauna

No se encontraron diferencias significativas en la abundancia de parasitoides, herbívoros o de la fauna artrópoda total entre los tratamientos ni el tiempo o tipo de muestreo (Tabla 2). En el primer muestreo con trampas de caída se encontró una mayor abundancia de depredadores en el control que en las parcelas con tratamiento convencional (Fig. 3)

Tabla 2. Valores p y F para la abundancia total, de depredadores, herbívoros y parasitoides para cada tipo y tiempo de muestreo

Muestreo		Abundancia				
Tipo	Tiempo (dds)		Total	Depredadores	Herbívoros	Parasitoides
Trampas de caída	53	$F_{4,36}$	2,29	2,87	2,0	0,82
		p	0,08	0,03*	0,11	0,51
	99	$F_{4,36}$	0,85	0,89	1,12	0,62
		p	0,50	0,47	0,97	0,64
Jameo	99	$F_{4,37}$	0,74	1,02	0,39	0,39
		p	0,57	0,40	0,81	0,80

* Significativamente diferente por prueba de Tukey HSD, $p < 0.05$

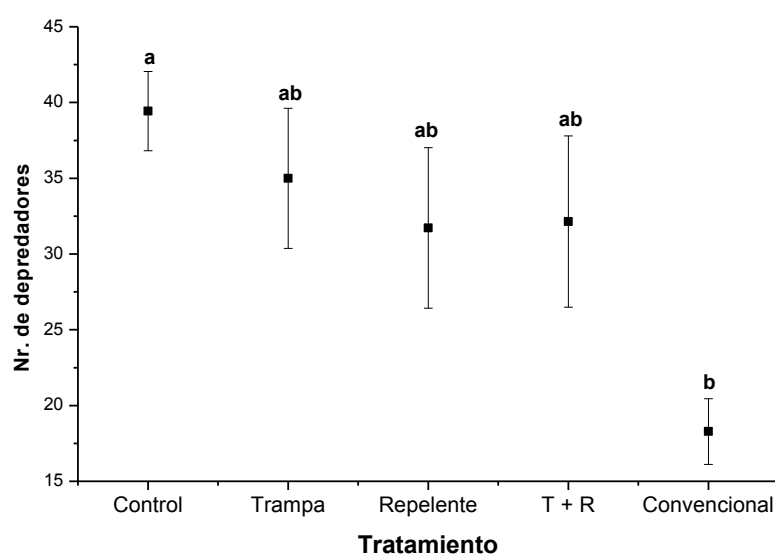


Figure 3. Promedio ($\pm$ Error estándar) de la abundancia de depredadores en trampas de caída a los 53 dds. Las barras con diferentes letras muestran diferencias significativas (prueba de Tukey HSD, $p < 0,05$).

Evaluación de postcosecha

Se encontró que la distancia desde el borde hacia el centro de las parcelas no tuvo efecto en las variables de producción evaluadas incluyendo el número y peso de los tubérculos sanos ($F_{3,132}=1,65$; $p=0,17$ y $F_{3,132}=0,30$; $p=0,82$ respectivamente). Las plantas de los tratamientos con planta trampa y extracto de ajo-ají produjeron más tubérculos sanos con un peso mayor que el control y el tratamiento con solo estímulo repelente ($F_{4,132}=4,16$; $p<0,01$ y $F_{4,132}=4,84$; $p<0,01$ respectivamente) por el contrario, con respecto al tratamiento convencional no se encontraron diferencias en la producción (Tabla 3). La proporción de tubérculos dañados sobre el número de tubérculos total para cada planta fue menor en el tratamiento con trampa y repelente y en el convencional que en el tratamiento con sólo repelente ($F_{4,132}=3,78$; $p=0,006$).

Tabla 3. Promedio ($\pm$ Error Estándar) de la proporción de tubérculos dañados y número y peso de tubérculos sanos producidos por planta, en los diferentes tratamientos. Letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey HSD, $p < 0,05$)

Tratamiento	Tuberculos dañados/total	No. de tubérculos sanos	Peso de tubérculos sanos
Control	0,28 (0,03) ab	9,32 (1,03) a	298 (37,16) ab
Trampa	0,26 (0,03) ab	11,65 (1,27) ab	333,31 (43,43) abc
Repelente	0,31 (0,03) ab	8,25 (0,74) a	222,93 (24,86) a
T + R	0,16 (0,02) b	14,10 (1,54) b	497,78 (72,38) c
Convencional	0,18 (0,02) b	12,5 (1,01) ab	403,59 (42,71) bc

Discusion

Con el fin de desarrollar una estrategia alternativa para el control de la polilla guatemalteca de la papa se evaluó la eficiencia de diferentes plantas repelentes y plantas trampa bajo condiciones de invernadero.

Ninguna de las plantas no-hospederas evaluadas redujo de forma efectiva la oviposición de *T. solanivora* en las plantas de papa. Estos resultados fueron sorprendentes dado que la selección de estas plantas se basó en reportes previos que describían el uso de sus extractos y hojas (Kroschel & Koch 1996; Mamani *et al.* 1997; Graf & Quispe 2002; Iannaccone & Lamas 2003), o como plantas acompañantes (Lal 1991; Ortega & Fernández 2000) para el control de esta y otras plagas de papa tanto en condiciones de almacenamiento como en cultivo. Dos razones pueden explicar las diferencias encontradas entre nuestros resultados y los reportes de literatura. Por un lado, el hecho de que en muchos casos emplean los extractos y las hojas picadas de las plantas sugiriendo que el efecto de la planta viva no es tan fuerte como el de estos derivados. Por otro lado, el uso del hospedero por *Phthorimaea operculella* y *Tecia solanivora* no es el mismo, y puede haber una diferencia en la vía por la que seleccionan a su hospedero basada en diferentes guías sensoriales. *P. operculella* tiene diferentes hospederos incluyendo papa, tomate y tabaco, en estos, la larva se alimenta de hojas, tallos y tubérculos mientras que el único hospedero de *T. solanivora* es el tubérculo de la papa.

Desafortunadamente nada se sabe acerca de las guías químicas que rigen la selección de hospedero para estas especies y es necesaria más investigación en este aspecto para entender las diferencias en su respuesta.

En el experimento de selección de planta trampa se encontró que las diferentes variedades tienen atracción diferencial sobre las hembras de la polilla guatemalteca de la papa. Teniendo en cuenta esta respuesta, se estableció que la variedad Roja Nariño es la mejor planta trampa debido a que en esta se encontró la mayor tasa de oviposición. Otra propiedad ideal de una planta trampa es que reduzca el desarrollo y supervivencia de la plaga debido a sus propiedades nutricionales y químicas (Shelton & Nault 2004; Khan *et al.* 2006; van den Berg 2006; Keeping *et al.* 2007). Se encontró que la variedad Roja Nariño tiene un efecto negativo sobre el desarrollo larval reduciendo la sobrevivencia de las larvas y las pupas e incrementando el tiempo de la emergencia del adulto. Dadas estas dos características que hacen de la variedad Roja Nariño una planta trampa ideal se seleccionó para su uso como cultivo trampa para su evaluación en campo. Se empleó el extracto de ajo-ají como estímulo repelente para evaluar el uso simultáneo de estos dos estímulos. Este extracto se seleccionó ya que su uso en cultivos de producción orgánica de la región es muy generalizado para el control de diferentes plagas y cultivos.

Al usar solamente el extracto de ajo-ají o la planta trampa no se presentó ningún efecto sobre la incidencia del daño ni sobre la producción, sugiriendo que estas no son una estrategia de manejo

viable al ser usadas de forma independiente. Por el contrario, La combinación de ambos estímulos tuvo un importante efecto positivo sobre la producción. Estos resultados evidencian que el uso integrado de estos estímulos tiene un efecto sinérgico como se ha encontrado en estudios previos donde se evaluaron estrategias para el control de *Delia antiqua* y *Heliothis* (Pyke *et al.* 1987; Cowles y Miller 1992).

Los resultados sugieren que la estrategia puede ser usada intercalando la variedad Parda Pastusa con Roja Nariño cada 8 surcos y aplicando cada dos semanas extracto ajo-ají al cultivo. Otra alternativa es reducir la entrada de las polillas al cultivo usando la planta trampa como barrera alrededor de este como se ha usado efectivamente en otros cultivos (Moore & Watson 1990).

El hecho de que el uso simultáneo de estímulo atrayente y repelente generó una producción igual a la encontrada con las prácticas de manejo convencional, hace de esta una estrategia muy atractiva que puede promover el desarrollo de sistemas de cultivo sostenibles que incrementen los rendimientos, reduciendo los daños ecológicos y favoreciendo la calidad de vida de productores y consumidores, ayudando a que el cultivo alcance su total potencial como “alimento del futuro” (Fao 2008).

Agradecimientos

Las autoras agradecen a A. Ramírez, C. Ñustez, A. López-Ávila, E. Pedraza, P.A. Díaz, Z. R. Muñoz, J. Jácome, J. Pineda, E. Pineda y Erasmo Bojacá y su familia por la asistencia y asesoría en campo y laboratorio. Esta investigación fue financiada por la Fundación Alemana para la Investigación (DFG) a través de las subvenciones PO 1215_2.1 y PO 1215_3.1 dadas K. Poveda.

Literatura citada

- ARIAS, J.; JARAMILLO, J.; AREVALO, E.; ROCHA, N.; MUÑOZ, L. 1996. Evaluación de la incidencia y severidad del daño de la polilla gigante de la papa *T. solanivora* en el departamento de Antioquia. Boletín Divulgativo. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Instituto Colombiano Agropecuario-ICA. CORPOICA. 24 p.
- ASCHER, K. 1993. Nonconventional insecticidal effects of pesticides available from the neem tree, *Azadirachta indica*. Archives of Insect Biochemistry and Physiology 22:433-449.
- ASMAN, K. 2002. Trap cropping effect on oviposition behaviour of the leek moth *Acrolepiopsis assectella* and the diamondback moth *Plutella xylostella*. Entomologia Experimentalis et Applicata 105 (2): 153-164.
- BENAVIDES, M. 1998. Resultados del manejo integrado de *Tecia solanivora* Polovny en fincas piloto del departamento de Cundinamarca. En: Conclusiones y memorias del taller “Planeación estratégica para el manejo de *Tecia solanivora* en Colombia. Universidad Nacional de Colombia-Bogotá. 53 p.
- COOK, S.; KHAN, Z.; PICKETT, J. 2007a. The use of push-pull strategies in integrated pest management. Annual Review of Entomology 52: 375-400.
- COOK, S.; RASMUSSEN, H.; BIRKETT, M.; MURRAY, D.; PYE, B.; WATTS, N.; WILLIAMS, I. 2007b. Behavioural and chemical ecology underlying the success of turnip rape (*Brassica rapa*) trap crops in protecting oilseed rape (*Brassica napus*) from pollen beetle (*Meligethes aeneus*). Arthropod-Plant Interactions 1: 57-67

- COWLES, R. ; MILLER, J. 1992. Diverting *Delia antiqua* (Diptera: Anthomyiidae) oviposition with cull onions: field studies on planting depth and a greenhouse test of the stimulodeterrent concept. *Environ. Entomol.* 21:453–60
- EPPO. 2005. Data sheets on quarantine pests: *Tecia solanivora*. OEPP/EPPO Bulletin 35, 399-401.
- FAO. 2008. Potato world: Production and Consumption-International Year of the Potato 2008. <http://www.potato2008.org/en/world/index.html>
- FEDEPAPA. 2004. Guía ambiental para el cultivo de la papa. En: http://www.minambiente.gov.co/prensa/publicaciones/guias_ambientales/3_sector_agricola_y_pecuario/26_guia_ambiental_para_el_cultivo_de_la_papa.pdf
- FINCH, S.; BILLIALD, H.; COLLIER, H. 2003. Companion planting - do aromatic plants disrupt host-plant finding by the cabbage root fly and the onion fly more effectively than non-aromatic plants?. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 109: 183-195.
- GÖKÇE, A.; STELINSKI, L.; ISAACS, R.; WHALON, M. 2006. Behavioural and electrophysiological responses of grape berry moth (Lep., Tortricidae) to selected plant extracts. *Journal of Applied Entomology* 130(9-10): 509-514.
- GRAF, B.; QUISPE, J. 2002. Control ecológico de la polilla de papa en almacén. www.redepapa.org/ecologico.pdf
- HAMMAD, E.; ZOURNAJIAN, H.; TALHOUK, S. 2001. Efficacy of extracts of *Melia azedarach* L. callus, leaves and fruits against adults of the sweetpotato white Bemisia tabaci (Hom., Aleyrodidae). *Journal of Applied Entomology* 125: 483-488
- HERRERA, F. 1997. La polilla guatemalteca de la papa. Biología comportamientos y prácticas de manejo integrado. CORPOICA, Programa Regional Agrícola. 14 p.
- HOKKANEN, H.M.T. 1991. Trap cropping in pest management. *Annual Review of Entomology* 36: 119-138.
- HOY, C. 2003. Focusing on the cropping system: What crop and landscape characteristics are conducive for trap cropping. Symposium: Trap Cropping-Using Insect Behavior, Plant Biology, and Landscape Management to Control Insect Pests. October, 2003.
- IANNACONE, J.; LAMAS, G. 2003. Efecto insecticida de cuatro extractos botánicos y del catarp sobre la polilla de la papa *Phthorimaea operculella* (Zeller) (Lepidoptera: Gelechiidae), en el Perú. *Entomotropica* 18(2): 95-105.
- KEEPING, M.; RUTHERFORD, R.; CONLONG, D. 2007. Bt-maize as a potential trap crop for management of *Eldana saccharina* Walker (Lep., Pyralidae) in sugarcane. *Journal of Applied Entomology* 131(4): 241–250.
- KHAN, Z.R.; PICKETT, J.A.; VAN DEN BERG, J.; WADHAMS, L.J.; WOODCOCK, C.M. 2000. Exploiting chemical ecology and species diversity: stem borer and striga control for maize and sorghum in Africa. *Pest Management Science* 56: 957-962.
- KHAN, Z.R.; PICKETT, J.A.; WADHAMS, L.; MUYEKHO, F. 2001. Habitat management strategies for the control of cereal stemborers and striga in maize in Kenya. *Insect Science and its Application* 21(4): 375-380.
- KHAN, Z.; MIDEGA, C.; HUTTER, N.; WILKINS, R.; WADHAMS, L. 2006. Assessment of the potential of Napier grass (*Pennisetum purpureum*) varieties as trap plants for management of *Chilo partellus*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 119:15-22.
- KROSCHER, J.; KOCH, W. 1996. Studies on the use of chemicals, botanicals and *Bacillus thuringiensis* in the management of the potato tuber moth in potato stores. *Crop Protection* 15(2): 197-203.
- LAL, L. 1991. Effect of inter-cropping on the incidence of potato tuber moth, *Phthorimaea operculella* (Zeller). *Agriculture, Ecosystems and Environment* 36: 185-190.

- LÓPEZ ÀVILA, A.; ESPITIA MALAGÓN, M. 2000. Plagas y Beneficios en el cultivo de la papa en Colombia. Boletín Técnico Divulgativo. CORPOICA: Programa Nacional de Manejo Integrado de Plagas, MIP. Corpoica, Bogotá, Colombia.
- MAGNUSSON, E.; CRANFIELD, J. 2005. Consumer demand for pesticide free food products in Canada: A probit analysis. *Canadian Journal of Agricultural Economics* 53(1): 67–81.
- MAMANI, P.; PEREIRA, R.; GONZÁLEZ, R.; GONZÁLEZ, S.; BOTELLO, R.; GANDARILLAS, E. 1997. Evaluación de diferentes formas de control para la polilla de la papa. *Journal en Agricultura y Desarrollo Sostenible* N°1.
- MAUCHLINE, A.; OSBORNE, J.; MARTIN, A.; POPPY, G.; POWELL, W. 2005. The effects of non-host plant essential oil volatiles on the behaviour of the pollen beetle *Meligethes aeneus*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 114: 181-188.
- MILLER, J., COWLES, R. 1990. Stimulo-deterrent diversion: a concept and its possible application to onion maggot control. *Journal of Chemical Ecology* 16(11): 3197-3212.
- MOORE, L.; WATSON, T. 1990. Trap crop effectiveness in community ball weevil (Coleoptera: Curculionidae) control programs. *Journal of Entomological Science* 25(4): 519-525.
- MORLEY, K.; FINCH, S.; COLLIER, S. 2005. Companion planting – behaviour of the cabbage root fly on host plants and non-host plants. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 117: 15-25.
- MUSSER, F.; NAULT, B.; NYROP, J.; SHELTON, A. 2005. Impact of a glossy collard trap crop on diamondback moth adult movement, oviposition, and larval survival. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 117:71-81.
- OBSERVATORIO DE COMPETITIVIDAD AGROCADENAS COLOMBIA. 2007. Cadena Papa. Web site: <http://www.agrocadenas.gov.co/home.htm>
- ORTEGA, E.; FERNÁNDEZ, S. 2000. Manejo integrado de la polilla minadora de la papa *Phthorimaea operculella*. Fonaiap, Prociandino, Pracipa. Quito, Ecuador.
<http://www.iicasaninet.net/pub/sanveg/pdf/phthorimaea-opercullela.pdf>
- POTTING, R.; PERRY, J.; POWELL, W. 2005. Insect behavioural ecology and other factors affecting the control efficacy of agroecosystem diversification strategies. *Ecological Modelling* 182: 199–216.
- PYKE, B.; RICE, M.; SABINE, B.; ZALUCKI, M. 1987. The push-pull strategy—behavioural control of *Heliothis*. *Australian Cotton Grower* May-July: 7–9
- R. 2005. The R Foundation for Statistical Computing. Version 2.2.1 (2005-12-20 r36812). ISBN 3-900051-07-0
- SEGURA, M.; SANTOS, M.; ÑUSTEZ, C. 2006. Desarrollo fenológico de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio de Zipaquirá (Cundinamarca). *Fitotecnia Colombiana* 6(2):33-43.
- SHELTON, A.M.; NAULT, B.A.. 2004. Dead-end trap cropping: a technique to improve management of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Crop Protection* 23 (6): 497-503
- SHELTON, A.M.; BADENES-PEREZ, F.R. 2006. Concepts and applications of trap cropping in pest management. *Annual Review of Entomology* 51: 285-308.
- SHU-SHENG, L.; YUE-HONG, L.; YONG-GEN, L. 2006. Non-host plant extracts reduce oviposition of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) and enhance parasitism by its parasitoid *Cotesia plutellae* (Hymenoptera: Braconidae). *Bulletin of Entomological Research* 96(4): 373-378.
- SRIVASTAVA, S.; GUPTA, M.; PRAJAPATI, V.; TRIPATHI, A.; KUMAR, S. 2001. Insecticidal activity of Myristicin from *Piper mullesua*. *Pharmaceutical Biology* 39(3): 226–229.
- STATSOFT INC. 2004. Statistica Version 7 for Windows. _/ Telsa.
- THOMPSON, G. 1998. Consumer demand for organic foods: What we know and what we need to know. *American Journal of Agricultural Economics* 80(5): 1113-1118.

- VAN DEN BERG, J. 2006. Oviposition preference and larval survival of *Chilo partellus* (Lepidoptera:Pyralidae) on Napier grass (*Pennisetum purpureum*) trap crops. International Journal of Pest Management 52(1): 39-44.

Simposio Aracnología

Coordinador:

**Eduardo Flórez, M. Sc. Cand. Ph. D.
Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.**

Estado actual del conocimiento de arañas (Araneae) en Colombia

Current state of knowledge on spiders (Araneae) in Colombia

Alexander Sabogal González

Biólogo MSc Ciencias Agrarias (Entomología), Universidad INCCA de Colombia. *asabogalg@yahoo.com*

Resumen

Se realizó la recopilación de los trabajos realizados con arañas en el país durante las tres últimas décadas. La mayoría de los estudios han sido desarrollados en temas de biodiversidad en ecosistemas naturales y en agroecosistemas y se han ejecutado principalmente por estudiantes de pregrado y posgrado bajo la modalidad de trabajo de grado y tesis. La publicación de estos resultados solamente alcanza el 23% de los artículos para el país. Los departamentos donde se ha desarrollado la mayor parte de la investigación en Colombia son el Valle del Cauca, Cundinamarca y Antioquia, sin embargo, aunque con pocos estudios, se tiene representatividad en 16 departamentos más. Adicionalmente se actualizó el número de especies, géneros y familias de arañas, a partir del Catálogo Mundial de Arañas (The World Spider Catalog) y algunas de las publicaciones recientes donde se han hecho nuevos registros. La cifra pasó de 680 especies, 249 géneros y 49 familias de acuerdo con lo registrado por Flórez y Sánchez en 1995 a 1223, 392 y 67 respectivamente.

Palabras clave: Arañas de Colombia, ecosistemas naturales, agroecosistemas, publicaciones

Abstract

A summary of the works carried out with spiders in the country during last three decades was made. The majority of the studies have been developed in natural ecosystems and agroecosystems. They have been executed mainly by undergraduate and postgraduate students under the modality of graduation work or Thesis. The publication of these results only reaches 23 % of the articles for the country. Valle del Cauca, Cundinamarca and Antioquia are the most important departments, where investigation has been developed, although, other 16 departments have a few work. Additionally, the number of species, genus and families of spiders was updated based on The World Spider Catalog and some of the recent publications where new records have been made. The number went from 680 species, 249 genera and 49 families following Flórez and Sanchez in 1995 to 1223, 392 and 67 respectively.

Key words: Colombian spiders, natural ecosystems, agroecosystems, publications

Introducción

En Colombia, los trabajos con arañas como en la mayoría de los grupos de artrópodos se remontan al siglo XIX, época de las grandes expediciones realizadas por los europeos en el nuevo continente. En sus inicios solamente se enfocaban en la descripción de nuevas especies para la ciencia, pero gracias a la presencia de los Hermanos La Sallistas, a comienzos del siglo XX y a su gran interés por el reconocimiento de la diversidad de la fauna y flora en el país, se fomentó el establecimiento de las colecciones biológicas nacionales.

Con seguridad la presencia en el país de William Eberhard a finales de los setenta en el Valle del Cauca, crea un nuevo hito en la arcnología colombiana, pues con él se da inicio a los estudios

ecológicos y comportamentales con arañas. Tal vez el único aracnólogo colombiano que trabajó paralelamente a Eberhard durante esa época fue el profesor Nicolás Paz, quien realizó un gran aporte con sus trabajos faunísticos regionales en el departamento de Antioquia. Desde finales de los setenta hasta la actualidad, el interés por el estudio de las arañas en el país ha ido en aumento, particularmente gracias a los trabajos realizados o dirigidos por Eduardo Flórez, quien es considerado el aracnólogo con mayor trayectoria en el país.

Por este creciente interés se hizo necesario realizar la presente actualización de la investigación en el campo de las arañas, particularmente en las últimas tres décadas, por ser este periodo el de mayor actividad. A esta recopilación de trabajos se incluye el número de familias, géneros y especies registradas para Colombia, en el Catálogo Mundial de Arañas (The World Spider Catalog, Platnick 2010) y en dos investigaciones recientemente aceptadas para publicación en *The Journal of Arachnology* (Cabra *et al.* en prensa) y *Zootaxa* (Pinzón *et al.* en prensa)

Materiales y Métodos

Para la recopilación de la información consignada en el presente documento se realizó una revisión detallada de las investigaciones colombianas relacionadas con el estudio de las arañas, con el apoyo del Grupo Colombiano de Aracnología que cuenta con coordinadores regionales en las principales ciudades del país, la biblioteca personal del profesor Eduardo Flórez Daza y algunas páginas de internet; en este último aspecto, la página del Catálogo de Arañas del Mundo (The World Spider Catalog, Version 10.5) que dirige el Dr. Norman I. Platnick del Museo de Historia Natural Americano con sede en Nueva York, fue la base principal para actualizar el listado de especies de arañas para Colombia.

Para dicha actualización se organizó la información del catálogo en una base de datos (Excel) y se etiquetaron las especies de la siguiente forma:

- Endémicas: Especies de arañas que solamente se encuentran en Colombia.
- Compartidas: Especies de arañas que además de Colombia, se encuentran en otros países.
- Nuevos Registros: Especies de arañas que han sido encontradas en investigaciones colombianas y aún no aparece la información en el catálogo.
- Triangulaciones: Especies de arañas que se encuentran en países vecinos con Colombia ubicada entre ellos y aún no han sido registradas para el país.
- Periféricas: Especies de arañas que se encuentran en uno o más de los países fronterizos.

Resultados y Discusión

El número de trabajos con arañas en Colombia en los últimos 30 años (1980 – 2010), asciende a más de 100, la mayoría de ellos han sido enfocados en el reconocimiento de la biodiversidad de este grupo faunístico en ecosistemas naturales, principalmente en áreas boscosas, alcanzando el 51% de las investigaciones. Los proyectos en agroecosistemas ocupan el segundo lugar con un 25%. Pocos se han enfocado en aspectos taxonómicos y con menor participación los que involucran estudios comportamentales, esto corresponde al 25% restante. (Tabla 1)

Tabla 1. Temáticas de los estudios con arañas en Colombia (1980-2010)

TEMA	Total	Porcentaje
Diversidad en ecosistemas naturales	51	47%
Diversidad en agroecosistemas	27	25%
Comportamiento	12	11%
General	9	8%
Taxonomía	9	8%
Diversidad en zonas urbanas	1	1%
Total general	109	100%

Un aspecto importante es que estos trabajos han sido desarrollados como parte de procesos de investigación formativa, la mayoría a nivel de pregrado (48%) y unos pocos de posgrado (6%). La producción científica de estas investigaciones es poca, pues solamente el 23% ha sido publicado en revistas indexadas, lo que corresponde al 32% de los artículos para el país. El 68% restante de las publicaciones, son resultados de estudios taxonómicos, comportamentales, caracterizaciones locales de arañas o sinopsis sobre temas que involucran algún aspecto relacionado con la aracnología colombiana, realizados al interior de instituciones de educación superior en su mayoría, pero como actividades extracurriculares (Tabla 2).

Tabla 2. Nivel académico de los estudios con arañas en Colombia (1980-2010)

NIVEL DEL TRABAJO	Total	Porcentaje
Pregrado	52	48%
Artículo	44	40%
Posgrado	7	6%
Capítulo	3	3%
Libro	3	3%
Total general	109	100%

Algunos se han convertido en textos de consulta casi obligada para los interesados en el estudio de las arañas como el elaborado por Flórez y Sánchez (1995) por ser este el primer catálogo para las especies de arañas en Colombia o el manual para las arañas del Valle del Cauca en 1996, donde se publica por primera vez en el país una clave taxonómica para la identificación de familias.

En general, la mayoría de los trabajos han sido desarrollados en tres departamentos, Valle del Cauca, Cundinamarca y Antioquia, alcanzando 44% de los 109 existentes, el resto de las investigaciones se distribuyen en 16 departamentos, cada uno de ellos con 8% o menos (Claro está que de los 108, 15 corresponden a publicaciones que no hacen relación a una zona particular, si no que abordan temáticas que pueden representar cualquier región del país, porque tratan aspectos históricos (Flórez 1992, 2004), taxonómicos (Flórez 1996, Sabogal y Flórez 2000), de historia natural (Flórez 1997, 2001; Blanco y Salas 2007), o relacionados con control biológico (Bastidas *et al.* 1994; FEDEARROZ 1995) (**iError! La autoreferencia al marcador no es válida.**)

Tabla 3).

Claro está que de los 108, 15 corresponden a publicaciones que no hacen relación a una zona particular, si no que abordan temáticas que pueden representar cualquier región del país, porque tratan aspectos históricos (Flórez 1992, 2004), taxonómicos (Flórez 1996, Sabogal y Flórez 2000), de historia natural (Flórez 1997, 2001; Blanco y Salas 2007), o relacionados con control biológico (Bastidas *et al.* 1994; FEDEARROZ 1995) (**¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida.**)

Tabla 3. Número de trabajos con arañas por departamento en Colombia (1980-2010)

DEPARTAMENTO	TOTAL	PORCENTAJE	DEPARTAMENTO	TOTAL	PORCENTAJE
Valle del Cauca	19	20%	Atlántico	2	2%
Cundinamarca	16	17%	Cauca	2	2%
Colombia	15	16%	Quindío	2	2%
Antioquia	7	7%	Santander	2	2%
Meta	7	7%	Bolívar	1	1%
Córdoba	6	6%	Guajira	1	1%
Tolima	6	6%	Huila	1	1%
Magdalena	4	4%	Norte de Santander	1	1%
Nariño	4	4%	Risaralda	1	1%
Vaupés	4	4%	Sucre	1	1%
Boyacá	3	3%	Amazonía	1	1%
Caquetá	3	3%	Total general	109	100%

El segundo componente de esta revisión, es la actualización del número de especies, géneros y familias, que desde la aparición de la primera lista en 1995 realizada por Flórez y Sánchez, no había sido renovada. En esa oportunidad se registraron 49 familias, 249 géneros y 680 especies de arañas, con este trabajo producto de la revisión del Catálogo de Arañas del Mundo (The World Spider Catalog, Platnick 2010) y algunas de las publicaciones recientes donde se mencionan nuevos registros, la cifra pasó a 67 familias, 392 géneros y 1223 especies (Tabla 4Tabla 5Tabla 6)

Esta cuantificación para el caso de las familias, se hizo teniendo en cuenta los datos de distribución de las especies del catálogo mundial, se encontró en primera instancia el registro de 60 familias, sin embargo, se incluyen siete más por triangulación, porque los países donde se encuentra registrada la presencia de alguna de sus especies ubican a Colombia en medio de dicha distribución. Se presentan seis familias adicionales (periféricas) que podrían estar en el país porque se encuentran en los países que comparten frontera con el nuestro (Tabla 4). Con este registro de 67 familias, Colombia alberga el 61% de las 109 que actualmente se encuentran en el catálogo mundial (Platnick 2010); en el anexo 1 se encuentra el número de géneros y especies por familia para Colombia.

Tabla 4. Número de familias de arañas para Colombia

ESTADO	COLOMBIA	% MUNDO
ACTUALES	60	61%
TRIANGULACIÓN	7	
PERIFÉRICAS	6	6%
TOTAL	73	67%

En cuanto a los géneros, en el catálogo se encontraron 347, a estos se le suman 10 más, que corresponden a nuevos registros hechos en trabajos que aceptados para publicación (Cabra *et al.* en prensa; Pinzón *et al.* en prensa) y 35 por triangulación, en total se tienen 392, 43 más que los registrados en el listado de Flórez y Sánchez; esta nueva cifra corresponde al 10% de los géneros del mundo (Tabla 5).

Tabla 5. Número de géneros de arañas para Colombia

ESTADO	COLOMBIA	% MUNDO
ACTUALES	347	
NUEVOS REGISTROS	10	10%
TRIANGULACIÓN	35	
PERIFÉRICOS	486	13%
TOTAL	878	23%

Los géneros que se encuentran en los países fronterizos son 486, Es posible que no todos estén distribuidos en el país, sin embargo, dentro de este numeroso grupo es posible encontrar una importante cantidad de nuevos registros.

Tal vez la cifra más difícil de establecer es la del número de especies, porque en algunos casos son objeto de cambios de posición dentro de los géneros e incluso dentro de las familias, sin embargo, se logró establecer que en Colombia se cuenta con 393 especies endémicas, 618 compartidas, algunas de ellas con una amplia distribución, 60 nuevos registros y 152 obtenidas por triangulación, en total son 1223 especies para el país, duplicando las 680 encontradas en Flórez y Sánchez (Tabla 6).

En el caso de las especies encontradas en los países limítrofes se agruparon de la siguiente forma: periféricas 1, aquellas presentes en al menos dos países fronterizos con 467, periféricas 2, las encontradas solamente en alguno de los siguientes cuatro países Ecuador, Panamá, Perú o Venezuela, con 1639 y periféricas 3, a las encontradas únicamente en Brasil con 2544 (Tabla 6). Al igual que con los géneros, muchas de las 4873 especies que habitan los países fronterizos, pueden tener poblaciones establecidas en Colombia, lo que hace necesario incrementar las revisiones del material depositado en los museos y paralelamente planear muestreos, principalmente en las áreas fronterizas de la Amazonia, la Orinoquía y el Darién.

Tabla 6. Número de especies de arañas para Colombia

ESTADO	COLOMBIA	% MUNDO
COMPARTIDAS	618	
ENDÉMICAS	393	2,96%
NUEVOS REGISTROS	60	
TRIANGULACIÓN	152	
PERIFÉRICAS 1	467	1,13%
PERIFÉRICAS 2	1639	3,97%
PERIFÉRICAS 3	2544	6,17%
TOTAL	5873	11,27%

Esta selección de especies encontradas en la periferia, se hizo porque los datos de distribución de los nuevos registros, encajan en alguno de los grupos propuestos, incluso se encontraban registradas en países que no tienen frontera con Colombia. Por ejemplo, de los 60 registros, 20 corresponden a especies del grupo *Periféricas 1*, 17 a *Periféricas 2*, 13 a *Periféricas 3*, tres corresponden a las triangulaciones y las últimas cinco estaban solamente en Bolivia, Centro América, Paraguay, Estados Unidos o México. Esto evidencia que los 392 géneros y las 1223 especies son apenas una fracción del número real que se encuentra en el país, si se tiene en cuenta que en los países fronterizos existen 486 géneros y 4650 especies más (Tabla 5Tabla 6).

Conclusiones

Es claro que el desarrollo de los estudios con arañas en el país, está ligado a los procesos formativos de la investigación, cerca de la mitad de la producción se ha originado en trabajos de pregrado y posgrado, sin embargo, la publicación de los mismos no supera el 25%; este fenómeno hace necesario planear cuidadosamente los futuros trabajos, para que los resultados puedan generar más y mejores aportes al estudio de este diverso grupo faunístico. A pesar de tener una amplia cobertura en el territorio colombiano, pues se tienen trabajos en 19 de los 33 departamentos, aún existen sitios en el país sin registro de arañas, por lo tanto se tiene todo un campo de exploración por delante. Debido a la dificultad para realizar determinaciones confiables principalmente por la falta de claves taxonómicas, es necesario que los futuros investigadores establezcan contacto con los especialistas, para que con la ayuda de dibujos o fotografías se pueda subsanar esta deficiencia, esta estrategia fue adoptada por Cabra en el 2009 y logró aportar al registro nacional 15 especies.

Agradecimientos

Al profesor Eduardo Flórez, por compartir desinteresadamente su pasión por las arañas, a los autores de los trabajos recopilados, que con su esfuerzo han aportado información valiosa para mejorar el conocimiento de este grupo faunístico en Colombia y a los miembros del Grupo Colombiano de Aracnología, por ser parte del futuro de la aracnología en el país.

Literatura citada

No es frecuente presentar la bibliografía organizada por temas, pero por tratarse de una revisión, se considera útil agruparla de acuerdo al nivel del trabajo, por eso se organizaron en Trabajos de Grado, Trabajos de Posgrado y Publicaciones.

Trabajos de Grado

- ALAPE, E. 2008. Estructura de arañas tejedoras (Araneae: Araneomorpha) en la Reserva Forestal Protectora Bellavista (Ibagué-Tolima). Trabajo de grado. Biología. Universidad del Tolima. Ibagué, Colombia.
- ÁLVAREZ, A.; SIERRA, R. 1985. Reconocimiento de arañas en maíz y sorgo en el Sinú medio. Trabajo de grado. Ingeniería Agronómica. Universidad de Córdoba. Montería, Colombia
- AYAZO, R.; SOTO, R. 2007. Influencia de la estructura vegetal en la comunidad de arañas (Araneae) del suelo en un sistema silvopastoril de Córdoba, Colombia. Trabajo de grado Biología. Universidad de Córdoba. Montería, Colombia.
- BARRIGA, B. J. 1995. Cambios en la diversidad de arañas constructoras de telas orbiculares (Araneae: Orbicularie) a lo largo de un gradiente altitudinal, en el Parque Nacional de Munchique, Cauca. Trabajo de grado. Biología, Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.

- BASTIDAS, H. 1992. Aracnofauna en el Valle del Cauca, en algodónero y arroz: reconocimiento, incidencia, consumo y efecto de insecticidas. Tesis de grado. Ingeniería Agronómica. Universidad Nacional de Colombia. Palmira, Colombia
- BASTIDAS, M; RAMÍREZ, J. 2006. Acercamiento a la comunidad de arañas del PNN Cueva de los Guacharos. Tesis de pregrado. Licenciatura en Biología. Universidad Pedagógica Nacional. Bogotá, Colombia.
- BELLO, J. C. 1995. Efectos de borde sobre la distribución de las arañas orbitales (Araneae: Orbicularie) a lo largo de un gradiente altitudinal, en el Parque Nacional Natural Munchique, Cauca. Trabajo de grado. Biología, Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.
- BENAVIDEZ, L. 2004. Comunidades de arañas (Arachnida: Araneae) asociadas al dosel de bosques de Tierra Firme e Igapó en la estación biológica Mosiro Itajúra (Caparú), Vaupés, Amazonia Colombiana. Trabajo de grado, Biología. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- BLANCO, E. 2002. Composición de la araneofauna orbital (Araneae: Orbiculariae) en un bosque andino de la cordillera oriental (Piedecuesta, Santander). Tesis de pregrado. Biología. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia.
- BOTTO, F. C.; PADILLA, Y. 2010. Arañas tejedoras (Arachnida: Araneae) de los cerros de Santa Marta (Magdalena, Colombia). Trabajo de grado. Biología, Universidad del Magdalena. Santa Marta, Colombia.
- CABRA, J.J. 2009. Estimación de la diversidad alfa, beta y gamma de arañas en un ambiente heterogéneo: Parque Natural Regional El Vinculo (Valle, Colombia). Trabajo de grado. Biología. Universidad del Valle. Cali, Colombia.
- CASTILLO, J.A 1981. El mimetismo de las telarañas artificiales. Trabajo de grado. Biología. Universidad del Valle. Cali, Colombia.
- CEPEDA, J. 2005. Distribución y comparación de arañas tejedoras en diferentes microhábitats de un bosque alto andino. Trabajo de grado, Biología. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- CORREA, D. 2000. Disponibilidad de presas para las arañas orbiculares (Arachnida: Araneae) en manglares aledaños a la Bahía de Buenaventura. Trabajo de grado. Biología. Universidad del Valle. Cali, Colombia.
- CORTÉS, C. 2001. Diversidad de arañas de estrato rasante en transectos borde-interior de un bosque del piedemonte cordillerano (Medina, Cundinamarca) Colombia. Trabajo de grado. Biología, Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.
- 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. Biología, Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.
- 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.
- DURANGO, J. 1985. Reconocimiento de arañas en el arroz en el Sinú Medio. Trabajo de grado. Ingeniería Agronómica, Universidad de Córdoba. Montería, Colombia
- FERREIRA, L.C. 2007. Diversidad de arañas orbitales en tres formaciones vegetales de la Sierra Nevada de Santa Marta, Magdalena, Colombia. Trabajo de grado. Biología, Universidad del Magdalena. Santa Marta, Colombia.

- FORERO, S. Estructura de la comunidad de arañas (Arachnida: Araneae) en un relicto de bosque de niebla. San Antonio del Tequendama (Cundinamarca). Trabajo de grado. Ingeniería Agronómica, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- GILLEDE, O. 1999. Relación entre disturbios, oferta estructural del hábitat y diversidad de arañas orbitales en sotobosques de galería (Meta – Colombia). Trabajo de grado. Biología. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.
- GIRALDO, I & PARRA, J. 1997. Introducción a la aracnofauna y miriapofauna del alto de San Miguel (Caldas-Antioquia). Trabajo de pregrado. Biología. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.
- GOENAGA, G.; RODRÍGUEZ, K. 2005. Araneofauna presente en un remanente de bosque seco tropical en la Hacienda “El Ceibal”, municipio de Santa Catalina, Bolívar, Colombia. Trabajo de grado, Biología. Universidad del Atlántico. Barranquilla, Colombia.
- GÓMEZ, L. A. 2005. Estudio comparativo de las comunidades de arañas en cultivos de algodón convencional y transgénico en el departamento del Tolima, Colombia. Trabajo de grado, Biología. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- GUASCA D.; REINA R. 2009. Caracterización de la comunidad de arañas en el Cerro Los Comuneros (Tenjo, Cundinamarca). Trabajo de pregrado. Biología. Universidad El Bosque. Bogotá, Colombia.
- GUTIERREZ, A. 1982. Reconocimiento de arañas predatoras en algodón. Trabajo de grado. Ingeniería Agronómica. Universidad de Córdoba. 98pp.
- GUTIÉRREZ, J.; USECHA, J.; VERGARA, R. 1991. Estudios básicos sobre la aracnofauna en cultivos de arroz en zonas del Tolima. Trabajo de grado. Ingeniería Agronómica. Universidad del Tolima. Ibagué, Colombia
- 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.
- LOZANO, A. 2008. Estudio de las comunidades de arañas cazadoras en cinco coberturas en la Reserva Forestal Protectora “Bellavista” en el Municipio de Ibagué, (Tolima Colombia). Trabajo de grado. Biología. Universidad del Tolima. Ibagué, Colombia.
- FRANCO, A.C. (En ejecución) Actualización de la diversidad y distribución geográfica del género *Alpaida* (Araneae, Araneidae) en colecciones de Colombia. Trabajo de grado. Biología. Universidad El Bosque. Bogotá, Colombia.
- MARÍN, J. D. 2006. Inventario de arañas cursoriales en un bosque húmedo montano bajo en el Parque Ecológico Piedras Blancas, Guarne (Antioquia, Colombia). Trabajo de grado. Biología. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.
- MEDINA, M.M. 1997. Estructura de la comunidad de arañas tejedoras asociada a tres (3) tipos de habitat en la sede campestre de la Fundación Universitaria de Popayán. Trabajo de grado. Ecología. Fundación Universitaria de Popayán. Cauca, Colombia.
- MESA, L. 2001. Diversidad y estructura de especies del género *Micrathena* (Arachnida, Araneae, Araneidae) en un transecto de alta montaña neotropical. Trabajo de grado. Biología. Universidad del Quindío. Armenia, Colombia.
- MORENO A.; VARGAS, O. 2005. Diseño y elaboración de una guía ilustrada sobre la araneofauna presente en Villavicencio - Meta. Trabajo de grado. Licenciatura en Biología Universidad Pedagógica Nacional. Bogotá, Colombia.
- MUÑOZ, D. 2008. Diversidad de arañas orbitales en parcelas con tratamiento de disturbio en un bosque secundario del Parque Ecológico Laguna El Tabacal, en el municipio de La Vega (Cundinamarca, Colombia). Trabajo de grado. Ecología. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia

- NIÑO, D.; MARTÍNEZ, A.; MORA, G. 2002. Estudio de las comunidades de arañas (Arácnida: Araneae) de dos ecosistemas en la región subxerofítica de la Vereda Mosquera (Cundinamarca). Trabajo de Pregrado. Licenciatura en Biología. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia.
- OW, Y. 2001. Influencia de las actividades agropecuarias en la diversidad y abundancia de arañas tejedoras en un bosque seco tropical en la Serranía de Pajuancho, Municipio de Juan de Acosta, Atlántico. Trabajo de Pregrado. Biología. Universidad del Atlántico. Barranquilla. Colombia.
- PERAFÁN, C. 2004. Composición y distribución espacio-temporal de las comunidades de arañas (Arachnida: Araneae) en el sistema de cultivo Maíz-Soja de la altillanura plana Colombiana, Municipio de Puerto López, Meta. Trabajo de grado, Biología. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- REYNA, J. 2010 Aproximación a la estructura y composición de la araneofauna del Valle de Sogamoso (Boyacá, Colombia). Trabajo de grado, Biología. Universidad INCCA de Colombia. Bogotá, Colombia
- ROMO, M. 2005. Estudio de la comunidad de arañas orbiculares (Araneae: Orbiculariae) en un bosque altoandino y zonas aledañas a la Laguna Negra Santuario de Flora y Fauna Galeras, Pasto Nariño. Trabajo de grado. Biología. Universidad de Nariño. Pasto, Colombia.
- SAAVEDRA, E. 2006. Reconocimiento de la aracnofauna asociada al cultivo de arroz seco en la subregión del San Jorge, Sucre. Trabajo de grado. Ingeniería Agronómica. Universidad de Córdoba. Montería, Colombia.
- SABOGAL, A; PINZÓN, J. 2001. Estudio del ciclo de vida y hábitos alimenticios de la araña *Alpaida variabilis* (Keyserling, 1864) (Araneae: Araneidae) en la Sabana de Bogotá. Trabajo de grado. Biología. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- SALAS, G. 1995. Estudio del ciclo de vida y repertorios comportamentales de *Tylogonus* sp. (Araneae: Salticidae) en cautiverio. Trabajo de grado. Biología. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia
- SANTAMARIA R., L. 2009. Estudio taxonómico y distribución geográfica de tarántulas de la familia Dipluridae (Araneae, Mygalomorphae) en Colombia. Trabajo de Pregrado. Biología. Universidad del Tolima. Ibagué, Colombia.
- SILVA. R. A. 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. Biología. Universidad de la Amazonia. Florencia, Colombia
- TORRADO, R. 1998 Estudio de arañas asociadas a ambientes urbanos en la ciudad de Bogotá, sector de La Candelaria. Trabajo de grado. Biología. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia
- TORRES, M. 1995. Arañas Tetragnatidas del Santuario de Flora y Fauna de Iguaque, Boyacá. Trabajo de grado. Licenciatura en Biología. Universidad Pedagógica Nacional. Bogotá, Colombia.
- VALLEJO, M. 1997. Estructura de una comunidad de arañas orbitelares (Arácnida: Araneae) en sistemas agroforestales del Bajo Anchicayá, Pacífico colombiano. Trabajo de grado. Biología. Universidad del Valle. Cali, Colombia.
- VANEGAS, S. 2004 Distribución vertical de arañas asociadas a *Quercus humboldtii* y *Clusia* spp. Trabajo de grado. Biología. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia
- 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.

Trabajos de posgrado

- CEPEDA, J. 2009. Comparación ecológica de comunidades de arañas y coleópteros y análisis del impacto del manejo orgánico y convencional, en cultivos de café. Trabajo de Maestría. Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- CORTES, C. 2008. Patrones de disposición espacial vertical-horizontal y diversidad de arañas orbitelares en cuatro zonas de la reserva natural Ibanasca (Juntas, Tolima, Colombia). Trabajo de Maestría. Biología (Conservación y Vida Silvestres). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- MORÓN, E. 2004. Descripción de las familias de arañas (Arachnida: Araneae) en un paleocauce del río Palomino, Dibulla - Guajira. Tesis Especialización en Biología con Énfasis en Zoología. Universidad del Magdalena. Santa Marta, Colombia.
- RODRÍGUEZ, V. (En ejecución) Diversidad de arañas tejedoras (Araneae: Orbicularia) en bosques de áreas prioritarias para la conservación en la Cordillera Oriental de Colombia. Trabajo de Maestría. Ciencias Agrarias con Énfasis en Entomología. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- SAAVEDRA, E. 2005. Estudio de la comunidad de arañas asociadas al cultivo de arroz secano mecanizado en la subregión del San Jorge. Tesis de especialización. Universidad de Córdoba. Montería, Colombia.
- SABOGAL, A. (En ejecución). Estudio comparativo de las comunidades de arañas asociadas a bosques conservados y áreas intervenidas en el Santuario de Fauna y Flora Otún Quimbaya (Risaralda, Colombia). Trabajo de Maestría. Ciencias Agrarias con Énfasis en Entomología. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- VALDERRAMA, C.A. 1996. Comparación de la distribución vertical de arañas constructoras de telas orbiculares en tres zonas de un bosque nublado. Trabajo de Maestría. Ecología. Universidad de Los Andes. Bogotá, Colombia.

Publicaciones

- ARBOLEDA, D. E. & M.P. JARAMILLO. 1997. Algunos aspectos biológicos y etológicos de *Cyrtophora citricola* Forskal (Arácnida: Araneidae) en el Valle de Aburrá. Aconteceres Entomológicos 263-270
- BARRETO, P.; BARRETO. M. 1994. Arañas. Importancia médica y llave para familias. Colombia Médica, 1994, 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.; MURILLO, A.; PANTOJA, A.; ZULUAGA; J.; GUTIÉRREZ, Y. 1994 Reconocimiento de arañas en algodón en el Valle del cauca. Manejo Integrado de Plagas, 32: 33-35
- 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, Octubre 19. pp. 1-8.

- BENAVIDES, L. & FLÓREZ, E. 2007. Comunidades de arañas (Arachnida: Araneae) en microhabitats de dosel en bosques de tierra firme e Igapó en la Amazonia Colombiana. *Revista ibérica de aracnología*. 14: 49-62
- BLANCO, V. E.; AMAT, G.; FLOREZ, E. 2003. Araneofauna orbitalar (Araneae:Orbiculariae) de los Andes de Colombia: Comunidades en hábitat bajo regeneración. *Revista Ibérica de Aracnología* 7: 189-203.
- 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.
- CABRA, J.; CHACÓN, P.; VALDERRAMA, C. 2010. Additive partitioning of spider diversity in a fragmented tropical dry forest (Valle del Cauca, Colombia). *Journal of Arachnology*. En prensa.
- CALIXTO, A. 1997. Spiders at the CIEM: A preliminary species list. *Field studies of fauna and flora at La Macarena, Colombia* 10: 33-37
- CEPEDA, J., FLOREZ, E. 2007. Arañas tejedoras: Uso de diferentes microhábitats en un bosque andino de Colombia. *Revista Ibérica de Aracnología*, 14, 39-48.
- CORTÉS, C.; FAGUA, G. 2003. Diversidad de arañas de estrato rasante en transectos borde-interior de un bosque del piedemonte cordillerano (Medina, Cundinamarca) Colombia. *Revista Colombiana de Entomología*, 29(2): 113-120.
- CUEVAS, A. 1994. Las arañas: controladores naturales de insectos fitófagos en el cultivo de arroz en Norte de Santander. *Revista Colombiana de Entomología* 20 (3): 179-186.
- CHACON, P.; EBERHARD, W. 1980. Factors affecting numbers and kinds of prey caught in artificial spider webs, with consideration of how orb-web trap prey. *Bull. Br. Arachnol. Soc.*, 5(1): 29-38.
- FEDEARROZ. 1995. Las arañas reguladoras de poblaciones de varios insectos. Un paso adelante en Investigación y Transferencia de Tecnología. Santa fe de Bogotá. 96-105
- FERREIRA, L. C.; FLÓREZ, E. 2008. Arañas orbitales (Araneae: Orbiculariae) en tres formaciones vegetales de la Sierra Nevada de Santa Marta (Magdalena, Colombia). *Revista Ibérica de Aracnología* 16: 3-16
- FERREIRA, L. C.; FLÓREZ, E.; SABOGAL, A. 2009. Arañas orbitales de un bosque húmedo subtropical de la Sierra Nevada de Santa Marta (Magdalena, Colombia). *Caldasia* 31(2):369-371
- FLÓREZ, E. 1990. Contribución al conocimiento de los arácnidos y miriápodos del departamento del Valle. Informe final, proyecto 2108-05-012-86, Colciencias-Inciva. Cali, 327 p.
- FLÓREZ, E. 1992. Las arañas de Colombia: Aspectos históricos y estado actual de su conocimiento. *Cespedesia*. 19(62-63): 239-241.
- FLÓREZ, E. 1996. Las Arañas del Departamento del Valle del Cauca. Un Manual Introductorio a su Diversidad y Clasificación. Instituto vallecaucano de Investigaciones Científicas INCIVA, Instituto colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología COLCIENCIAS. Santiago de Cali.
- FLÓREZ, E. 1996. Araenofauna asociada a telas de la araña parda del mediterráneo *Cyrtophora citricola* (Araneae: Araneidae) en el Departamento del Valle, Colombia. *Cespedesia* 21(68): 189 - 191
- FLÓREZ, E. 1996. Registro de dos nuevas especies de arañas del género *Micrathena* (Araneae: Araneidae) para el Departamento del Valle. *Cespedesia* 21(68): 193 – 194
- FLÓREZ, E. 1997. Las arañas y la naturaleza. *Memorias XXIV Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología*. pp. 1-13.
- FLÓREZ, E. 1997. Estudio de la comunidad de arañas del bosque seco tropical de la estación biológica “El Vínculo”. *Cespedecia*. 22(69): 37-59

- FLÓREZ, E. 1998. Estructura de comunidades de arañas (Araneae) en el departamento del Valle, suroccidente de Colombia. *Caldasia*. 20(2): 173-192.
- FLÓREZ, E. 1999. Estructura y composición de una comunidad de arañas (Araneae) en un bosque muy seco tropical de Colombia. *Boletín de Entomología Venezolana*. 14(1): 37-51.
- FLÓREZ, E. 1999. Estudio de comunidades de arañas (Araneae) del Parque Nacional Farallones de Cali, Colombia. *Cespedesia*. 23(73-74): 99-113.
- FLOREZ, D.E. 2000. Comunidades de arañas de la región pacífica del departamento del Valle del Cauca, Colombia. *Revista Colombiana de Entomología* 26(3-4): 77-81
- FLÓREZ, E. 2004. Las arañas en Colombia: reseña histórica, presente y perspectivas futuras. En: Simposio Arañas, Congreso Sociedad Colombiana de Entomología. Memorias del XXXI Congreso Sociedad Colombiana de Entomología. Bogotá. p. 73- 76.
- FLOREZ, E.; SÁNCHEZ, H. 1995. Diversidad de los arácnidos en Colombia, aproximación inicial. En: 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. Accidentes por animales venenosos, Ed. 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.
- FLOREZ, 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* Vol. 9. p. 241–248
- FLOREZ, 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.
- GILEDE, O., & BELLO, J. C. (2000). La familia Araneidae (Araneoidea: Orbicularie) en el departamento del Meta, Colombia. *Biota Colombiana* 1(1):125-130.
- JIMÉNEZ, J.J.; FLÓREZ, E. 2006. Historia de las tarántulas. *Innovación y Ciencia* 13(2): 28-37
- PAZ, N. 1978. Introducción a la artropofauna de Antioquia. *Actualidades Biológicas* 7(23): 22-23.
- 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.
- PAZ, N.; RAVEN, R. 1989. A new species of *Linothele* from Colombia (Araneae, Mygalomorphae, Dipluridae). *Journal of Arachnology* 18:79-86.
- 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., E. FLOREZ & E. PALACIOS. 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. 2008. Ensamblaje de arañas del suelo en tres tipos de bosque de la Estación Biológica Mosiro Itajura Caparú (Amazonia Colombiana) En: Alarcón-Nieto, G.; Palacios, E. (Eds). Estación Biológica Mosiro Itajura-Caparu. Biodiversidad en el territorio del Yaigojé Apaporis. Fundación BioColombia, UEPN, MinAmbiente y Conservación Internacional Colombia.
- PINZON, J.; BENAVIDES, L.; SABOGAL, A. 2010. New records of araneid spiders (Araneae: Araneidae) in the Colombian Amazon Region. Zootaxa. (Aceptado)
- PLATNICK, N. 2010. The World Spider Catalog. 10.5. Disponible en: <http://research.amnh.org/entomology/spiders/catalog/index.html>. [Fecha última revisión: 10 abril 2010].
- RICO G., A; BELTRÁN A., J; ÁLVAREZ D., A.; FLÓREZ D., E. 2005. Diversidad de arañas (Arachnida: Araneae) en el Parque Nacional Natural Isla Gorgona, Pacífico Colombiano. En: Biota Neotropical. 5(n1a) <<http://www.biotaneotropica.org.br/v5n1a/es/fullpaper?bn007051a2005+pt>>
- ROMO, M. y FLÓREZ, E. 2008. Comunidad de arañas orbitelares (Araneae: Orbiculaire) asociada al bosque altoandino del Santuario Flora y Fauna Galeras, Nariño, Colombia. Boletín Científico, Centro de Museos, Museo de Historia Natural. 13(1) 114-126.
- 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.; FLÓREZ, E. 2000 Arañas espinosas del género *Micrathena* Sundevall, 1833 (Araneae: Araneidae) de Colombia. Biota Colombiana 1(3): 253-260

Anexo 1. Número de géneros y especies para las familias de arañas en Colombia

N°	FAMILIA	GÉNEROS	ESPECIES	N°	FAMILIA	GÉNEROS	ESPECIES
1	ACTINOPODIDAE	1	3	35	NEPHILIDAE	2	2
2	AGELENIDAE	2	2	36	NESTICIDAE	1	1
3	AMAUROBIIDAE	2	2	37	OCHYRO CERATIDAE	1	3
4	ANAPIDAE	2	14	38	OECOBIIDAE	1	4
5	ANYPHAENIDAE	20	39	39	OONOPIDAE	8	17
6	ARANEIDAE	50	333	40	OXYOPIDAE	4	8
7	BARYCHELIDAE	2	3	41	PALPIMANIDAE	1	2
8	CAPONIIDAE	2	4	42	PARATROPIDIDAE*	-	-
9	CLUBIONIDAE	1	2	43	PHILODROMIDAE	3	3
10	CORINNIDAE	15	32	44	PHOLCIDAE	16	27
11	CTENIDAE	7	25	45	PISAUROIDAE	3	11
12	CTENIZIDAE*	-	-	46	PRODIDOMIDAE	3	7
13	CYBAEIDAE	1	1	47	SALTICIDAE	47	86
14	CYRTAUCHENIIDAE	2	2	48	SCYTODIDAE	1	7
15	DEINOPIDAE	1	3	49	SEGESTRIIDAE	1	1
16	DICTYNIDAE	3	4	50	SELENOPIIDAE	1	3
17	DIGUETIDAE*	-	-	51	SENOCLIDAE	1	2
18	DIPLURIDAE	4	9	52	SICARIIDAE	1	3
19	DRYMUSIDAE*	-	-	53	SPARASSIDAE	10	20
20	DYSDERIDAE	1	2	54	SYMPHYTOGNATHIDAE	2	4
21	FILISTATIDAE	2	2	55	SYNOTAXIDAE	1	4
22	GNAPHOSIDAE	9	16	56	TENGELLIDAE	1	1
23	HAHNIIDAE	1	1	57	TETRABLEMMIDAE	1	1
24	HERSILIIDAE	2	4	58	TETRAGNATHIDAE	9	73
25	IDIOPIDAE	2	2	59	THERAPHOSIDAE	16	31
26	LINYPHIIDAE	27	93	60	THERIDIIDAE	39	158
27	LIOCRANIDAE*	-	-	61	THERIDIOSOMATIDAE	6	9
28	LYCOSIDAE	9	24	62	THOMISIDAE	18	43
29	MECICOBOTHRIIDAE*	-	-	63	TITANOECIDAE	1	2
30	MICROSTIGMATIDAE	1	1	64	TRECHALEIDAE	8	24
31	MIMETIDAE	2	2	65	ULOBORIDAE	5	17
32	MITURGIDAE	4	11	66	ZODARIIDAE	2	8
33	MYSMENIDAE	2	4	67	ZORIDAE*	-	-
34	NEMESIIDAE	1	1	Total		392	1223

* Estas familias se incluyeron en el listado por triangulación, por lo tanto no presentan datos para género y especie

Acari y la importancia de nuevos estudios en Colombia

Mites and the importance of new research in Colombia

José Orlando Cómbita-Heredia

Biólogo, C. Maestría en Ciencias—Biología, Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, Depto. de Biología, Laboratorio de Invertebrados, jocombitah@unal.edu.co

Si alguna de las medidas de diversidad, abundancia, ubicuidad o adaptabilidad son tomadas como medida del éxito evolutivo de cualquier grupo de animales, podemos entonces decir que los ácaros deberán estar en los primeros puestos de la lista. Los ácaros pertenecen a la Subclase Acari que está dentro de la Clase Arachnida, pero tienen un tamaño mucho menor que sus parientes. Entre los más pequeños están los ácaros de los folículos humanos y los ácaros de las tráqueas de las abejas, aproximadamente 0,1 mm. Debido a su pequeño tamaño, una generación entera de estos ácaros es capaz de vivir en un solo folículo de un cabello humano o en una sola tráquea de una abeja. Como excepción a la regla están las garrapatas, que se encuentran dentro de los ácaros de mayor tamaño, más de 2 centímetros cuando están llenas de sangre, aunque también se pueden encontrar ácaros de tamaño medio, mayor a un milímetro, como algunos ácaros predadores y algunos ácaros acuáticos.

Hasta la actualidad se han descrito aproximadamente 50.000 especies de ácaros y se estima que esto es sólo un 5 % de la totalidad de especies presentes. Su gran abundancia y diversidad se ven reflejadas en especies acuáticas y de suelo. En muestras de un metro cúbico de agua podemos encontrar 5.000 individuos de más de 50 especies (Sabatino *et al.* 2000), incluso pueden llegar a un millón de individuos por metro cúbico de suelo u hojarasca, con más de 200 especies en bosques conservados de zonas templadas (Walter 2006; Norton y Behan-Pelletier 2006).

Los arácnidos son predominantemente predadores, pero en los ácaros se han desarrollado una gran variedad de otros hábitos alimenticios como parasitismo, algunos son fitófagos, saprófagos, otros se alimentan de bacterias y otros de hongos. Algunos han desarrollado una relación obligada con otros animales, como es el caso de los ácaros de la sarna o las garrapatas, pero muchas de estas relaciones están lejos de ser parasíticas, una gran cantidad de especies se asocian a otros organismos como medio de dispersión o como medio de alimento, ya que se suben a otros animales para alimentarse de algunos fluidos que produce el huésped o para alimentarse de otros invertebrados, incluso para alimentarse de hongos o invertebrados que habitan los nidos o galerías de sus huéspedes. Las especies fitófagas y hematófagas son las que se consideran de importancia económica pues causan grandes pérdidas en cultivos y en animales de granja. Algunas especies de ácaros ocasionan de igual forma, problemas en la salud de los seres humanos, como las garrapatas o ácaros que producen enfermedades cutáneas o enfermedades respiratorias, entre otras.

Los ácaros se encuentran dentro de los animales terrestres más antiguos, con fósiles conocidos del Devónico temprano, aproximadamente 400 millones de años (Norton *et al.* 1988). Además, gracias a su gran plasticidad adaptativa los ácaros han podido colonizar casi todos los ambientes terrestres, marinos y otros ambientes acuáticos, por esto se les puede encontrar desde ambientes polares y nevados hasta desiertos. En suelo se encuentran hasta 10 metros de profundidad y en agua dulce se les puede encontrar en todo tipo de ambientes: lagos, manantiales, ríos, cascadas, aguas subterráneas, entre otros; con temperaturas muy bajas hasta termales con temperaturas de 50°C,

incluso se les encuentra en ambientes marinos costeros y abisales de hasta 5.000 metros de profundidad (Krantz 2009).

Los ácaros en sentido general, son muy estudiados a nivel mundial. Para Latinoamérica, los países que más han investigado estos organismos son: Brasil, México, Chile, Cuba y Argentina. Para Colombia, cabe destacar grandes aportes de algunos investigadores y sus estudiantes principalmente en ácaros de importancia agrícola como lo son: Eduardo Urueta, José Iván Zuluaga, Nora Mesa, Alfredo Acosta y Fernando Cantor. Recientemente se han ampliado más los campos de investigación en acarología, ahondando en otras ramas como ácaros de suelo, ácaros acuáticos, ácaros foréticos y sistemática molecular, entre otros, gracias a los proyectos que se están adelantando por el Grupo Colombiano de Acarología conformado por: Diana Rueda, Elisa Jimeno, Alexandra Sierra, Karen Muñoz y Orlando Cómbita.

Para la conferencia de la Subclase Acari en el marco del Simposio Colombiano de Aracnología, se hará la presentación de tres tópicos principales:

- Qué son los ácaros y sus características.
- Reseña histórica de la Acarología en Colombia y su contextualización a nivel mundial.
- Perspectivas de investigación en Colombia

Literatura Citada

- Krantz, G. W. 2009. A Manual of Acarology. 3rd Edition, Krantz & Walter, Eds. Oregon State University Bookstore, Corvallis.
- Sabatino, A.; Guerecke, R.; Martin, P. 2000. The Biology and Ecology of Lotic Water Mites. *Fresh Water Biology* 44: 47-62.
- Norton, R.A.; Bonamo, P.M.; Grierson, J.D.; Shear, W.A. 1988. Oribatid mite fossils from a terrestrial Devonian deposit near Gilboa, New York. *Journal of Paleontology* 62: 259-269.
- Norton, R.; & Behan-Pelletier, V. (Julio de 2006). Soil Acarology. 56th Annual Acarology Summer Program . Ohio, USA: Ohio State University.
- Walter, D. (Julio de 2006). Soil Acarology: Parasitiformes. 56th Annual Acarology Summer Program . Ohio, USA: Ohio State University.

Los Pedipalpi (Arachnida: Amblypygi, Thelyphonida, Schizomida) en el norte de Suramérica con énfasis en la fauna colombo-venezolana, estado actual de su conocimiento taxonómico

The Pedipalpi (Arachnida: Amblypygi, Thelyphonida, Schizomida) in northern South America, with an emphasis on Colombian-Venezuelan fauna and actual taxonomic status

Osvaldo Villareal Manzanilla

¹ Red Antivenenos / Subproyecto 1. Museo del Instituto de Zoología Agrícola, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, Apartado 2101-A, ZP 4579, Maracay, Aragua, Venezuela.
osvaldovillarreal@gmail.com

Introducción

Los Pedipalpi, conforman un clado dentro de la Clase Arachnida, integrado por tres órdenes vivientes: Amblypygi, Schizomida y Thelyphonida. Ubicados dentro de los Tetrapulmonata y con una relación estrecha con las arañas, se han propuesto diversas hipótesis para explicar sus relaciones filogenéticas. Aunque las propuestas más recientes los aceptan como un grupo monofilético (Schultz 1990, Giribet *et al.* 2002) otros autores no admiten la existencia de este grupo, relacionando a los amblopíidos más estrechamente con las arañas, y a su vez entendiéndolos como el grupo hermano de vinagrillos más esquizómidos (Wheeler & Hayashi 1998), en este trabajo no se pretende discutir las relaciones finas de grandes grupos y se tomará Pedipalpi en la acepción de Schultz (1990) y Giribet *et al.* (2002) con fines meramente prácticos.

Integrantes de los llamados “órdenes menores” de la clase Arachnida, debido a la poca cantidad de especies que poseen (Amblypygi, 136; Schizomida, 218; Thelyphonida, 103) (Harvey 2003), el nivel de conocimiento que existe sobre estos arácnidos es bastante básico.

En el caso particular del norte de Suramérica han sido muy poco estudiados, con cifras muy por debajo de lo que debe ser la diversidad real del grupo: Amblypygi, dos géneros y 9 especies; Schizomida, 5 géneros y 11 especies; y Thelyphonida, 2 géneros y 5 especies.

Estas bajas cifras, permiten hacernos una idea comparativa cuando estudiamos datos de la diversidad de estos grupos en países como Cuba donde aproximadamente 46 especies de esquizómidos, 16 amblopíidos y al menos dos de vinagrillos han sido descritas hasta el presente, o si observamos los altos índices en México o en el norte de centro América, y es fácil pensar, que la carencia del conocimiento responde de alguna manera a la falta de especialistas locales en la taxonomía de estos grupos. A diferencia de Cuba y los Estados Unidos, el resto de los países americanos han carecido durante décadas de aracnólogos especializados en este orden, así como en muchos otros órdenes menores.

El panorama taxonómico de los grupos que integran Pedipalpi (Amblypygi, Schizomida y Thelyphonida) ha sufrido cambios drásticos en fechas recientes. Un incremento del número de géneros y especies en cada uno de los órdenes ha sido un resultado constante de las revisiones y aportes recientemente publicados (Reddell y Cokendolpher 1995, Viquez y Armas 2005, Viquez y Armas 2006, Armas y Colmenares 2006, Villarreal *et al.* 2008), siendo el caso mas representativo el de los esquizómidos, donde fueron registrados 15 nuevos géneros aproximadamente en solo un año (Reddell y Cokendolpher 1995).

En el presente trabajo se intenta resumir la información taxonómica existente en torno a la diversidad de los órdenes Amblypygi, Schizomida y Thelyphonida para el norte de Suramérica, con énfasis en Colombia y Venezuela. No se pretende aportar nuevos datos sistemáticos o de distribución, por el contrario, esperamos que este trabajo sirva de base para los estudiantes y jóvenes investigadores interesados pero neófitos en el estudio de estos grupos, facilitándole en forma de un compendio la información básica sobre la diversidad del grupo en Colombia y Venezuela. Una clave taxonómica a géneros y un listado de las especies conocidas en estos países son presentados.

El trabajo está basado en una exhaustiva revisión bibliográfica de toda la información accesible para las especies citadas de dichos países, usando como referentes taxonómicos los trabajos clásicos de Reddell & Cokendolpher (1995) y Harvey (2003).

Orden **AMBLYPYGI** Thorell

El Orden Amblypygi, es entre los aquí estudiados el de mayor estabilidad taxonómica, sin embargo, hasta la fecha se han registrado en Colombia y Venezuela 13 especies en 4 géneros y 2 familias. En Venezuela, el género *Heterophrynus* ha sido encontrado asociado a áreas boscosas y montañosas principalmente de la Cordillera de la Costa, con una distribución solapada con algunas especies de *Phrynus*. Especies de los tres géneros registrados en Venezuela, han sido hallados habitando ambientes cavernícolas, sin embargo solo en el género *Charinus* se han detectado especies aceptadas como formas troglóbias (Ravelo 1975, 1977).

Charinidae Quintero

Charinus bordoni (Ravelo, 1977)

Speleophrynus bordoni [Ravelo, 1977]: 18 – 25, figs 1-2, 3a-c, 4a-d.

Localidad tipo: Cueva de Cerro Verde, Sierra de Perijá, Estado Zulia, Venezuela.

Charinus camacho (González-Sponga, 1998)

Charinides camacho (González-Sponga, 1998): 2-3, figs. 1-8, mapa 1.

Localidad tipo: Hacienda Buruquel, Chiguará, Municipio Sucre, Estado Mérida, Venezuela.

Charinus pardillalensis (González-Sponga, 1998)

Charinides pardillalensis (González-Sponga, 1998): 2-3, figs 9-13, map 1.

Localidad tipo: Morro de Pardillal, San Casimiro, Estado Aragua.

Charinus tronchonii (Ravelo, 1975)

Speleophrynus tronchonii [Ravelo, 1975 (1976)]: 79-84, figs 1-3, 4a-e.

Localidad tipo: Cueva 2 del Río Hueque, 6,5 Km N. 50º desde el pueblo de Cabure, Sierra de San Luís, Estado Falcón, Venezuela.

Comentarios sobre el género *Charinus*.

El género *Charinus* presenta una distribución circumtropical. En América ha sido ampliamente registrado, desde las Antillas hasta el norte de Suramérica. Particularmente en Venezuela se conocen al menos 3 especies no descritas, de localidades dispares, desde el piedemonte andino hasta el Escudo Guayanés. Para Colombia no ha sido registrado, sin embargo es probable que estudios posteriores puedan registrar alguna especie para dicho país o que *Charinus bordoni* esté presente en las montañas colombianas de la Sierra de Perijá.

Phrynidae Blanchard**Heterophryninae** Pocock***Heterophrynus batesii*** (Butler, 1873)

Phrynus batesii Butler, 1873: 120.

Localidad tipo: Alto Amazonas, Brasil.

Distribución: Brasil, Colombia, Ecuador.

Heterophrynus cheiracanthus (Gervais, 1842)

Phrynus cheiracanthus Gervais, 1842: 76.

Localidad tipo: Demerara-Mahaica, Guyana.

Distribución: Guyana, Trinidad, Venezuela.

Registros en Venezuela: En Venezuela es conocida esta especie para al menos las siguientes localidades: Parque Nacional Henri Piitier, Hacienda Santa María (MIZA 580 – 583) (Estado Aragua); Cueva del Zumbador (Estado Falcón); Sistema de Morros de Macaira (Estado Guárico) Parque Nacional Guatopo (MIZA 578), Cueva Alfredo Jahn, Birongo (Estado Miranda); Parque Bolivariano Minas de Aroa (Estado Yaracuy).

Heterophrynus cervinus Pocock, 1894

Heterophrynus cervinus Pocock, 1894: 288.

Localidad tipo: Colombia (como Nueva Granada).

Distribución: Colombia y Ecuador.

Heterophrynus niceforoi Amado & Morales, 1986

Heterophrynus niceforoi Amado & Morales, 1986a: 33-40, figs 1-4, 7, 9

Localidad tipo: Villavicencio, departamento del Meta, Colombia.

Localidad tipo: Villavicencio, Meta, Colombia

Distribución: Colombia

Phryninae Blanchard***Phrynus araya*** Colmenares & Villarreal, 2008

Phrynus araya Colmenares & Villarreal, 2008: 90 – 93. Figs 1–9.

Localidad tipo: Cueva de Orro, caño Kró (Coró), Serranía de los Motilones, Sierra de Perijá, Estado Zulia, Venezuela.

Distribución: Conocida de localidades en la Sierra de Perijá, Zulia, sin embargo no se descarta su posible presencia en Colombia (Armas & Angarita 2008).

Phrynus gervaisii (Pocock, 1894)

Tarantula gervaisii Pocock, 1894c: 285-286, lámina 7, figuras 5-5a.

Phrynus caracasanus Pereyaslawzewa 1901: 17-304.

Localidad tipo: Magdalena, Colombia.

Distribución: Colombia, Costa Rica, Ecuador, Guyana, Panamá, Trinidad y Tobago, y Venezuela. La distribución de *P. gervaisii* fue presentada por Quintero (1981) quien ofrece en un mapa varios puntos de distribución de dicha especie en Venezuela, sin embargo no señala en el texto alguna localidad precisa.

Registros: El Limón; Cueva de los Murciélagos (Estado Aragua), Cerro Santa Ana (Estado Falcón), Minas de Aroa (Yaracuy).

Comentarios: *Phrynus caracasanus* Pereyaslawzewa 1901 fue descrito para Caracas, Venezuela, sin embargo, Quintero (1981) establece su sinonimia con *P. gervaisii*.

***Phrynus pulchripes* (Pocock, 1894)**

Tarantula pulchripes Pocock, 1894c: 283-284, lámina 7, figs 6, 6a.

Hemiphrynus corderoi Mello-Leitão, 1946: 1-2, lámina 1, figs 1-2.

Localidad tipo: Colombia.

Distribución: Colombia, Antillas Holandesas (Aruba, Bonaire y Curaçao), Trinidad y Tobago, y Venezuela.

Comentarios: *Hemiphrynus corderoi* (Mello-Leitão 1946) fue descrito con material proveniente de las cercanías de Caracas, sin embargo, Quintero (1981) consideró esta especie un sinónimo junior de *P. pulchripes*.

***Phrynus panche* Armas & Angarita, 2008**

Phrynus panche Armas & Angarita, 2008: 25–28. Figs 1–8.

Localidad tipo: Villeta, provincia Guavila, departamento de Cundinamarca, Colombia.

Distribución: Conocido de la localidad tipo y otras dos muy cercanas en la Cordillera Oriental.

Comentarios sobre el género *Phrynus*.

Este género presenta distribución neotropical con excepción de una única especie conocida para Indonesia (Harvey 2002). La fauna colombo-venezolana de este grupo, es muy similar, con varias especies compartidas por ambos países (p. ej. *P. gervaisii*, *P. pulchripes*), sin embargo, existen otras especies de distribución aparentemente mas restringida que podrían ser endemismos de pequeñas áreas biogeográficas o ecológicas. Una especie adicional es conocida para el amazonas venezolano (Giupponi & Villarreal, en prep.).

***Paraphrynus laevifrons* (Pocock, 1894)**

Paraphrynus laevifrons Pocock, 1894c: 279-280. Lámina 7 fig 1, 1a.

Localidad tipo: Costa occidental de América (probablemente Ecuador o Colombia) (Harvey 2003).

Distribución: Colombia, Costa Rica, El Salvador, Nicaragua y Panamá.

***Paraphrynus macrops* (Pocok)**

Tarantula macrops Pocock, 1894: 281 – 282, lámina 7 figs 3, 3a.

Localidad tipo: Suramérica.

Distribución: Suramérica.

Comentarios sobre el género *Paraphrynus*.

El género *Paraphrynus* cuenta actualmente con 18 especies registradas para México, Centroamérica y Cuba. Sólo dos especies: *P. laevifrons* y *P. macrops* han sido citadas para Sur América (Harvey 2003), sin embargo sin localidad específica.

Orden SCHIZOMIDA Petrunkevitch

El orden Schizomida, es un pequeño grupo de arácnidos considerado por Harvey dentro de los órdenes menores, el cual posee en la actualidad poco más de 200 especies de distribución principalmente pantropical. La mayor parte de especies son marcadamente endémicas, sin embargo, existen al menos dos especies de mayor plasticidad ecológica las cuales se encuentran ampliamente distribuidas: *Zomus bagnallii* y *Stenochrus portoricensis*, esta última registrada para

varios países del Caribe y de América del Sur, teniendo su límite austral de distribución geográfica en el estado de *São Paulo*: Ubatuba (Praia Dura), 23°30'S 45°10'W (Santos *et al.* 2008).

Este grupo se encuentra distribuido ampliamente en Colombia y Venezuela, sin embargo la carencia de muestreos especializados y las dificultades de colecta que representan por su pequeño tamaño y hábitos huidizos, hacen de los esquizómidos uno de los grupos de arácnidos peor conocidos desde el punto de vista taxonómico en ambos países, siendo este un panorama que se extiende a todos los países del norte de Suramérica. En Colombia solo 4 especies son conocidas, de dos géneros, una de ellas presumiblemente introducida. En Venezuela la situación es levemente más alentadora, con solo 7 especies en 4 géneros registrados en la literatura, todas con alto grado de endemismo, dos de ellas para ambientes hipogeos (Armas y Colmenares 2006; Villarreal y Teruel 2006) mientras que una especie como *Stenochrus portoricensis* Chamberlin, especie con facultades partenogenéticas y ampliamente distribuida por introducción en Suramérica (Tourinho y Kury 1999, Santos *et al.* 2008) no ha sido registrada para dicho país aun cuando sería de esperarse su presencia.

Una única familia ha sido identificada en Suramérica, y los límites genéricos dentro de esta han sido estudiados en Reddell & Cokendolpher (1995), sin embargo las relaciones entre estos son desconocidas.

Hubbardiidae Cook

Hansenochrus flavescens (Hansen, 1905)

Schizomus flavescens Hansen in Hansen Söresen, 1905: 44-46, lámina 2, figs 2a-h.

Localidad tipo: Corosul, cerca de Caracas, Venezuela.

Hansenochrus simonis (Hansen, 1905)

Schizomus simonis Hansen in Hansen Söresen, 1905: 42-44, lámina 1, figs 1a-r.

Localidad tipo: Colonia Tovar, Estado Aragua y San Esteban, Estado Carabobo, Venezuela.

Distribución: Rancho Grande, Parque Nacional Henri Pittier (González-Sponga, 1997).

Hansenochrus urbanii Villarreal y Teruel, 2006

Hansenochrus urbanii Villarreal y Teruel, 2006: 234-236, figs 1-7.

Localidad tipo: Cueva del Santuario, cerca de Barbacoas, Estado Lara, Venezuela.

Hansenochrus yolandae (González-Sponga, 1997)

Schizomus yolandae González-Sponga, 1997: 4-7, figs 10-17.

Localidad tipo: Parque Nacional Guatopo, Municipio Acevedo, Estado Miranda, Venezuela.

Comentarios sobre el género *Hansenochrus*.

El género *Hansenochrus* presenta una amplia distribución en el norte de Suramérica, incluyendo Guyana, Surinam, Trinidad y Tobago y Venezuela, así como algunas islas del arco de las Antillas menores, Panamá y Costa Rica (Harvey 2003, Armas 2009). Se ha referido en la literatura que es probable que este género se encuentre compuesto por varios grupos de especies (p. ej. Villarreal & Teruel 2006) al menos dos de estos representados en la fauna venezolana. Una revisión de dicho género en este país esta siendo realizada y al menos 3 nuevas especies están siendo descritas provenientes de la Cordillera de la Costa, mientras que al menos otras 2 son conocidas solo por ejemplares hembras. Para Colombia no existen registros de dicho género, sin embargo se conoce de su presencia en este país (L. García com. pers.; Moreno com. pers.).

***Piaroa virichaj* Villarreal, Giupponi & Tourinho, 2008**

Piaroa virichaj Villarreal, Giupponi & Tourinho, 2008: 61-61, figs 1-12.

Localidad tipo: Tobogán de la Selva, Estado Amazonas, Venezuela.

Comentarios sobre el género *Piaroa*.

Este género fue recientemente creado para incluir una única especie del norte del amazonas venezolano (Villarreal *et al.* 2008), y posteriormente, confirmada su presencia con la descripción de una nueva especie de Costa Rica (Armas & Viquez, 2009). En Venezuela, se conocen 4 especies nuevas, dos de ellas en proceso de descripción, Provenientes del tramo occidental de la Cordillera de la Costa y del piedemonte andino en el estado Trujillo. Las otras dos especies solo son conocidas por ejemplares hembras, lo que limita su descripción. En Colombia, el género esta siendo formalmente registrado con una especie proveniente del departamento de Tolima (Villarreal & García en prensa) y adicionalmente dos nuevas especies son conocidas de los departamentos de Cundinamarca, Quindío y Valle del Cauca (D. Luna, & J. Moreno, com. pers.).

***Stenoschizomus tejeriensis* González-Sponga, 1997**

Stenoschizomus tejeriensis González-Sponga, 1997: 2-4, figs 1-9.

Localidad tipo: La Montañita, carretera Tejerías – Tiara, Municipio Ricaurte, Estado Aragua, Venezuela.

***Surazomus cumbalensis* (Kraus, 1957)**

Surazomus cumbalensis (Kraus, 1957): 246-247. Figs 1-6.

Localidad tipo: Cumbal, entre Paso e Ipiales, departamento de Nariño, Colombia.

***Surazomus macarenensis* (Kraus, 1957)**

Surazomus macarenensis (Kraus, 1957): 249-250. Figs 14-17.

Localidad tipo: Macarena, sur de Villavicencio, cerca de la desembocadura del Río Sanza en el Río Guejar, departamento del Meta, Colombia.

Comentarios: La localidad citada arriba, es la traducción de la información presentada por Kraus (1957), también transcrita por Reddell & Cokendolpher (1995), sin embargo en el catálogo mas reciente del orden, Harvey (2003) cita esta especie para el departamento de Tolima. García & Villarreal (2009) comentan la posible confusión en esta cita con una localidad llamada Serranía de La Macarena y restituyen la localidad tipo para el departamento de Meta donde se da el punto de confluencia entre los ríos previamente citados.

***Surazomus sturmi* (Kraus, 1957)**

Surazomus sturmi (Kraus, 1957): 246-247. Figs 1-6.

Localidad tipo: 3 km a las afueras de Bogotá, departamento de Cundinamarca, Colombia.

Comentarios sobre el género *Surazomus*.

Este género presenta una amplia distribución en Suramérica, ocupando la cuenca amazónica, cordilleras Colombianas y con algunos registros para Ecuador y Perú (Reddell & Cokendolpher 1995). Pocas especies han sido registradas desde costa rica y actualmente al menos 3 nuevas especies están siendo descritas de este país (Armas *et al.* en prensa).

Su presencia en Venezuela no ha sido confirmada, una cita de *Surazomus brasiliensis* (Kraus, 1967) fue hecha para las cuevas de la región nororiental de este país en el estado Falcón (Chapman 1983), sin embargo esta identificación nunca fue confirmada y Reddell & Cokendolpher (1995) prefieren tratarla como *Surazomus* sp. no. 8 y dicho registro no ha sido considerado en el catálogo

más reciente (Harvey 2003). Así como otros esquizómidos, las especies de este género parecieran tener una altísima tasa de endemismo, y una verdadera diversidad en Colombia. Un estudio preliminar del género en este país, arroja como resultado alrededor de 10 especies nuevas distribuidas en al menos 4 departamentos: Boyacá, Cundinamarca, Risaralda, Vaupés y Valle del Cauca, con una diversidad sorprendente en el departamento de Valle del Cauca, con alrededor de 5 especies nuevas (J. Moreno & D. Luna, com. pers.).

Rowlandius arduus Armas, Villarreal & Colmenares, 2009

Rowlandius arduus Armas, Villarreal & Colmenares, 2009: páginas.

Localidad tipo: Cerro Galicia, sierra de San Luís, Estado Falcón, Venezuela.

Comentarios sobre el género *Rowlandius*.

Este género de distribución típicamente antillana, es uno de los grupos mas diversos de Schizomidos neotropicales, con mas de 50 especies descritas. Su presencia en tierra firme fue recientemente registrada (Cokendolpher & Reddell 2000) con la descripción de *R. sul*, una especie basada en únicamente ejemplares hembras provenientes del Amazonas brasileño, y ratificada por una segunda especie también de dicho país, ambas especies compartiendo una morfología genital femenina única en el grupo (Santos *et al.* 2008). Mas recientemente Armas *et al.* describen *R. arduus* para Venezuela, siendo el primer registro del género para este país. Esta especie presenta características que parecieran relacionarla con algunas especies de *Rowlandius*, sin embargo, presenta diferencias fundamentales que son discutidas por los autores comentando su difícil posicionamiento genérico, debido entre otras cosas a la morfología característica que presentan sus espermateca. Esta especie es mantenida en el género ante la carencia de revisiones en un marco filogenético, y en pro de evitar la creación de géneros monotipicos que deban ameritar en el futuro cercano un acto sinonímico (Armas *et al.* 2009). Algunas especies adicionales están siendo estudiadas de este género para ambos países. De la región fronteriza en el Parque Nacional Tamá se conoce una nueva especie en proceso de estudio por el autor, y del departamento de Tolima se tiene en proceso de descripción una nueva especie morfológicamente relacionada a *R. gladiger* (Villarreal *et al.* datos no publicados). Dos especies adicionales están siendo estudiadas de localidades colombianas (D. Luna com. Pers.).

Wayuuzomus gonzalezspongai Armas y Colmenares, 2006

Wayuuzomus gonzalezspongai Armas y Colmenares, 2006: 28-30, figs. 1-9.

Thelyphonidae Lucas

Mastigoproctinae Speijer

Mastigoproctus abeli Villarreal & Giupponi, 2009

Mastigoproctus abeli Villarreal & Giupponi, 2009: 146-

Localidad tipo: Cueva Del Zumbador, Cerro La Misión, Estado Falcón, Venezuela (MNRJ, MIZA).

Mastigoproctus ayalai Viquez y Armas, 2007

Mastigoproctus ayalai Viquez y Armas, 2007: 40-44, Figs. 1a-f; 2a-f; 3a-b; 4.

Localidad tipo: Los Pijiguaos, Estado Bolívar, Venezuela

Mastigoproctus colombianus Mello-Leitao

Mastigoproctus colombianus Mello-Leitao, 1940: 52 – 53.

Localidad tipo: Villavicencio, Meta, Colombia.

Distribucion: Colombia.

***Mastigoproctus formidabilis* Hirst, 1912**

Mastigoproctus formidabilis Hirst, 1912: 235-237, figs 5-6.

Localidad tipo: La Polonia, Estado Táchira, Venezuela.

Registros: Estado Mérida; Río Buena Vista, Estado Trujillo, Venezuela (Armas et al., 2007).

Hypoctoninae Pocock

***Thelyphonellus venezolanus* Haupt, 2009**

Thelyphonellus venezolanus Haupt, 2009: 64-65. Figs 1-5.

Localidad tipo: San Isidro, "provincia" de Bolívar, Km. 88, Carretera a las tierras altas de Guayana (Periferia sureste de san Isidoro).

Comentarios: Especie conocida por solamente por un ejemplar macho adulto y un subadulto. Haupt (2009) registra como localidad tipo a San Isidro y luego refiere periferias de "San Isidoro". Es el primer registro del género para Venezuela.

***Thelyphonellus vanegasae* Giupponi & Vasconcelos, 2008**

Thelyphonellus vanegasae Giupponi & Vasconcelos, 2008: 18-21. Figs 1-6.

Localidad tipo: Dagua, Valle del Cauca, Colombia.

Conclusiones

La fauna Colombo-venezolana de los ordenes asociados al clado Pedipalpi, se encuentra poco conocida, y sus bajos índices de diversidad responden a la falta de estudios taxonómicos de los mismos y no representan la diversidad real de estos grupos.

Este desconocimiento de su alfa axonomia, se agrava en la medida que algunos de estos grupos son de difícil colecta y muchas veces se encuentran escasamente representados en las colecciones debido a sus hábitos crípticos e huidizos, su pequeño tamaño y la relativamente baja abundancia de estos animales. Si a esto adicionamos la carencia de especialistas regionales que se encuentren trabajando sobre la sistemática y taxonomía de estos órdenes, es fácil entender el bajo número de especies conocidas para dichos países. Estudios recientes no publicados revelan una altísima diversidad del orden Schizomida en Colombia y Venezuela, con una alta diversificación de géneros como *Piaroa*, *Hansenochrus* y *Surazomus*.

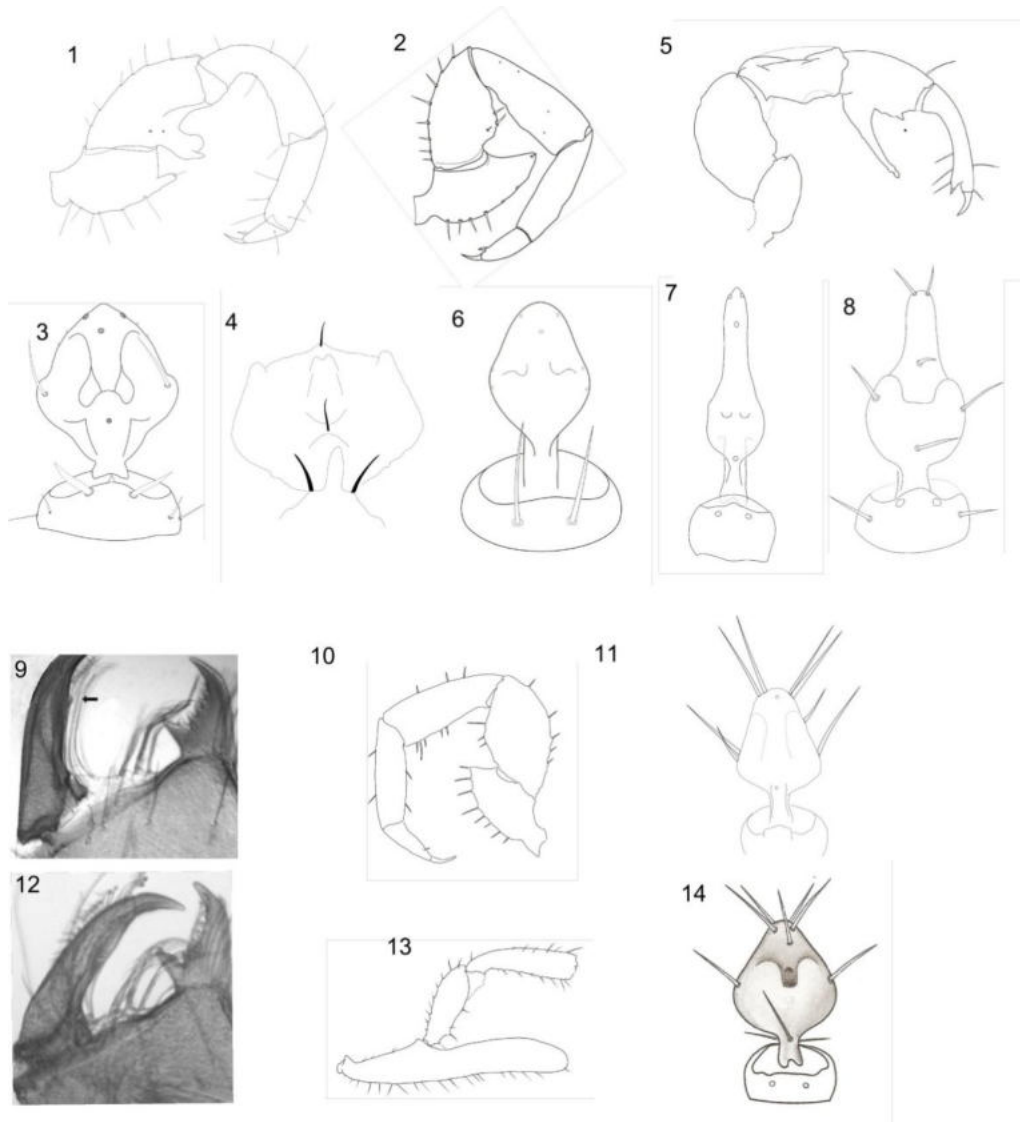
El conocimiento de los límites genéricos en este orden es incipiente y la carencia de propuestas de sus relaciones filogenéticas agravan el panorama de conocimiento de este grupo, sin embargo, su fuerte grado de endemismo, su alta tasa de especiación y su poca movilidad y capacidad de dispersión, hacen de este grupo que sea ideal para estudios de modelaje biogeográfico, así como también podría ser usado en la determinación de áreas prioritarias para la conservación.

Agradecimientos

A Luis F. de Armas (Cuba) por su valioso apoyo durante el estudio del material de esquizómidos venezolanos, así como por permitirme el uso de la figura 23. A Luis F. García, David Luna, Julián Reyna y Jairo Moreno, por compartir sus datos sobre esquizómidos colombianos y por todo el apoyo para permitir el estudio de material de este país. Jairo Moreno facilitó amablemente las figuras 1, 2, 3 y 16 y colaboró durante la elaboración de las claves de identificación taxonómica. Al Dr. Eduardo Flores y la Dra. Nancy Barreto por la invitación a participar en este evento y todas las facilidades prestadas.

Clave a género para identificación de machos de Hubbardiidae (Arachnida: Schizomida) de Colombia y Venezuela

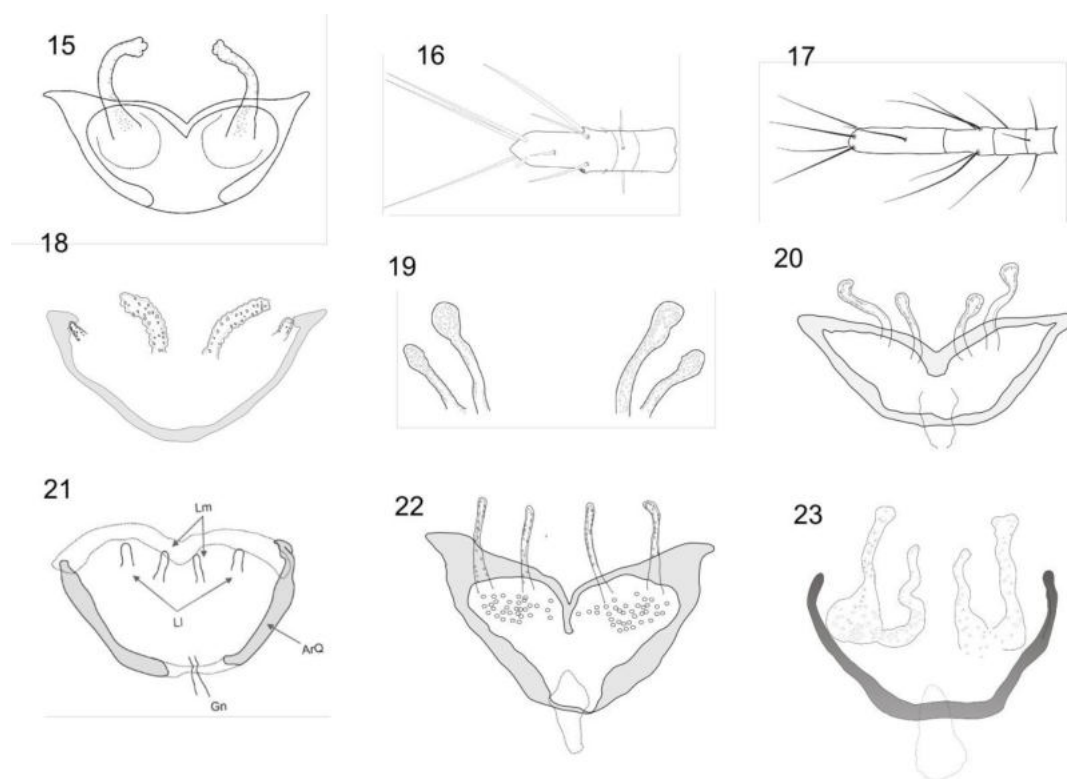
1. Pedipalpos dimórficos sexualmente, con modificaciones (proyecciones ó procesos) a nivel del fémur, tibia o tarso.....2
- 1'. Pedipalpos no dimórficos sexualmente, sin estructuras accesorias a nivel del fémur, tibia o tarso.....3
- 2(1). Fémur del pedipalpo con proceso ventral (Fig. 1) ó proyecciones laminares (Fig. 2). Flagelo como en las Figs 3 ó 4.....**Surazomus**
- 2'. Fémur normal, tibia del pedipalpo con una proyección espiniforme ventral anterior y el tarso con un proceso espiniforme ventrodistal (Fig. 5). Flagelo como en la Figura 6.....**Stenoschizomus**
- 3(1). Flagelo aplanado, generalmente alargado con dos pequeñas depresiones circulares dorsales; muy largo: relación largo/ancho 6,5 (Fig. 7).....**Piaroa**
- 3'. Flagelo con dos prominencias dorsales romas, relativamente corto: relación largo/ancho menor o igual a 3.....4
- 4(3). Flagelo con márgenes laterales describiendo una línea curva y cóncava desde el mayor ancho dorsal hasta el borde posterior, globoso basalmente; sin proceso dorsoposterior del segmento abdominal XII, metapeltidio siempre entero; relación largo/ancho del flagelo entre 2,4 y 3 (Fig. 8).....**Hansenoehrus**
- 4'. Flagelo con márgenes laterales describiendo una línea recta desde el mayor ancho dorsal hasta el borde posterior, generalmente corto, con proceso dorsoposterior del segmento abdominal XII o no, metapeltidio entero o dividido; relación largo/ancho del flagelo aproximadamente 1,5.....5
- 5(4). Con proceso dorsoposterior del segmento abdominal XII, metapeltidio dividido, con diente accesorio en el quelícero (Fig. 9), trocánter del pedipalpo normal (Fig. 10). Flagelo como en la figura 11.....**Wayuuzomus**
- 5'. Sin proceso dorsoposterior del segmento abdominal XII, metapeltidio entero, sin diente accesorio en el quelícero (Fig. 12), dimorfismo sexual en los pedipalpos puede estar presente en la proyección anterior del trocánter (Fig. 13). Flagelo como en la figura 14.....**Rowlandius**



Figs 1–14. - 1-2. *Surazomus* sp. Pedipalpo derecho en vista ectal. 3-4. Flagelo en vista dorsal. 5-6. *Stenoschizomus tejeriensis*. 5. Pedipalpo derecho, en vista ectal. 6. Flagelo en vista dorsal. 7-8. Flagelos en vista dorsal. 7. *Piaraa* sp. 8. *Hansenochrus* sp. 9-11. *Wayuuzomus gonzalezspingai*. 9. Quelícero. 10. Pedipalpo izquierdo en vista ectal. 11. Flagelo en vista dorsal (modificadas de Armas & Colmenares, 2006). 12-14. *Rowlandius* spp. 12. quelícero. 13. Trocánter, fémur y patela del pedipalpo derecho, en vista ectal. 14. Flagelo en vista dorsal.

Clave a género para identificación de hembras de Hubbardiidae (Arachnida: Schizomida) de Colombia y Venezuela

1. Flagelo tetrasegmentado (Fig. 15). Espermatecas con uno ó dos pares de lóbulos.....2
- 1'. Flagelo trisegmentado (Fig. 16). Con dos pares de lóbulos 6
- 2(1). Espermateca con un par de lóbulos (lóbulos medianos ausentes). Lóbulos laterales curvados a manera de "C". Con arco quitinizado en forma de antifaz, gonópodo generalmente ausente (Fig. 17).....**Piaroa**
- 2'. Espermateca con dos pares de lóbulos.....3
- 3(2). Lóbulos de las espermatecas con expansiones distales, lóbulos laterales de mayor longitud que los mediales. Arco quitinizado generalmente en forma de antifaz (Fig. 18).....**Hansenoehrus** (en parte)
- 3'. Lóbulos de las espermatecas con ó sin expansiones distales, cuando presentes, generalmente los lóbulos laterales claramente mayores que los mediales. Si están ausentes o inconspicuas, los lóbulos laterales subiguales a los mediales. Arco quitinizado generalmente en forma de antifaz o formando una "U" 4
- 4(3). Lóbulos cortos y digitiformes. Nunca con expansiones distales. Arco quitinizado en forma de "U" (Fig. 19).....**Hansenoehrus** (en parte)
- 4'. Lóbulos largos y digitiformes, algunas veces sinuosos. Sin o con expansión distal de los lóbulos, al menos los laterales. Arco quitinizado en forma de antifaz o "U" 5
- 5(4). Lóbulos largos, casi rectos, paralelos y delgados, sin expansión distal, si presente es muy sutil. Presencia de un fuerte gonópodo (Fig. 20). Con un diente accesorio grande en el quelícero (Fig. 9).....**Wayuuzomus**
- 5'. Lóbulos sinuosos, al menos los laterales con expansión distal leve, o todos los cuatro lóbulos expandidos distalmente. Presencia de gonópodo poco visible (Fig. 21). Dedo móvil del quelícero sin diente accesorio conspicuo (Fig. 12)**Rowlandius**
- 6(1). Lóbulos sin expansiones distales. Lóbulos mediales curvados hacia fuera, los laterales reducidos. Arco quitinizado presente (Fig. 22).....**Stenoehrus**
- 6'. Lóbulos con expansiones distales. Lóbulos mediales y laterales de aproximadamente igual longitud. Arco quitinizado ausente (Fig. 23).....**Surazomus**



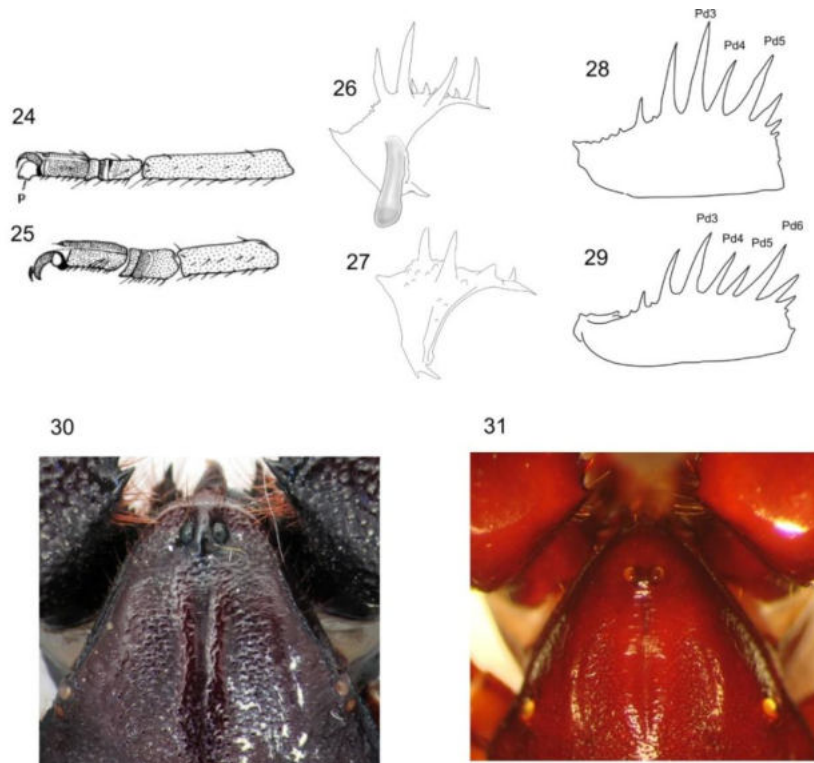
Figs 15–23. - 15-16. Flagelo vista dorsal .15. *Piaroa* sp. 16. *Surazomus* sp. -17-23. Espermateca vista dorsal. 17. *Piaroa virichaj*. 18. *Hansenochrus* sp. 19. *Hansenochrus urbanii*. 20. *Wayuuzomus gonzalezspingai* (modificadas de Armas & Colmenares, 2006). 21. *Rowlandius arduus*. 22. *Stenochrus portoricensis*. 23. *Surazomus* sp.

Clave para géneros de Amblypigi presentes en Colombia y Venezuela

1. Patas caminadoras con pulvilli (Fig. 24), tibia del pedipalpo dorsalmente con tres grandes espinas dorsales (1, 2, 3) que disminuyen en longitud de la región distal a la proximal.....Charinidae (**Charinus**)
- 1'. Patas caminadoras sin pulvilli (Fig. 25), tibia del pedipalpo dorsalmente con tres largas espinas de casi igual longitud o con más de tres espinas.....Phrynidae **2**
- 2(1). Patela del pedipalpo dorsalmente con tres espinas largas de casi igual longitud y hasta tres pequeñas espinulas ubicadas distalmente de la espina 1. Trocanter del pedipalpo con una apófisis dirigida anteriormente sobre la región ventral (Fig. 26).....Heterophryinae (**Heterophrynus**)
- 2'. Patela del pedipalpo dorsalmente con cinco o seis espinas primarias. Trocanter del pedipalpo sin apófisis ventral (Fig. 27).....Phryinae **3**
- 3(2). Patela del pedipalpo dorsalmente con cinco espinas (Fig. 28), una pequeña espina (Pd4) entre las dos más largas (Pd3, Pd5).....**Phrynus**
- 3'. Patela del pedipalpo dorsalmente con seis espinas, dos pequeñas espinas entre las dos más largas (Fig. 29).....**Paraphrynus**

Claves identificación de géneros de Thelyphonida presentes en Colombia y Venezuela

1. Quillas laterales del caparazón bien desarrolladas (Fig. 30); ojos medios separados por una cresta medial; ojos medios dirigidos anterolateralmente.....**Mastigoproctus**
- 1'. Caparazón sin quillas laterales (Fig. 31); ojos medios separados por al menos una cresta ligeramente desarrollada; ojos medios dirigidos más o menos verticalmente.....**Thellyphonellus**



Figs 24–31. - 24-25. Tarsos IV. 24. *Charinus* sp. Presencia de pulvilio. 25. *Phrynus* sp. Ausencia de pulvilio (modificadas de Armas & Pérez, 2001). 26-27. Trocánter del pedipalpo en vista ventral. 26. *Heterophrynus* sp. 27. *Phrynus* sp. 28-29. Patela del pedipalpo. 28. *Phrynus* sp. 29. *Paraphrynus* sp. 30-31. Región anterior del carapacho. 30. *Mastigoproctus abeli*. 31. *Thelyphonellus venezolanus*.

Literatura citada

- ARMAS L. F. DE. 2009. Dos nuevas especies de *Hansenochrus* y *Rowlandius* (Schizomida: Hubbardiidae) Costa Rica. *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa*, 45: 253–257.
- ARMAS L.F. DE & PÉREZ G.A. 2001. Los Amblipígididos de República Dominicana (Arachnida: Amblypygi). *Revista Ibérica de Aracnología*, 3: 47–66.
- ARMAS L.F. DE & COLMENARES G.P.A. 2006. Nuevo género de Hubbardiidae (Arachnida: Schizomida) del Zulia, Venezuela. *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa*, 39: 27-30.
- ARMAS, L.F. DE; ANGARITA, A. 2008. Nueva especie de *Phrynus* Lamarck, 1802 (Amblypygi: Phrynidae) de Colombia. *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa*, 43: 25 – 28.
- ARMAS, L.F., VILLARREAL, M.O. Y VÍQUEZ, C. 2007. Redescubrimiento de *Mastigoproctus formidabilis* Hirst, 1912 (Thelyphonida: Thelyphonidae) en Venezuela. *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa*, 40: 423-425.

- ARMAS, L.F. DE; VÍQUEZ, C. 2009. Primer registro del género *Piaroa* Villarreal, Giupponi et Tourinho, 2008 (Schizomida: Hubbardiidae) en centro América, con la descripción de una nueva especie de Costa Rica. *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa*, 44: 131 – 133.
- ARMAS, L.F. DE, VILLARREAL M.O. & COLMENARES G.P.A. 2009. Nuevo *Rowlandius* (Schizomida: Hubbardiidae) de la Sierra San Luis, Venezuela noroccidental. *Papeis Avulsos de Zoologia*, S.P., 49(28):361-368.
- COLMENARES G.P.A. & VILLARREAL M.O. 2008. Una nueva especie de *Phrynus* Lamarck, 1801 (Amblypygi: Phrynidae) de la Sierra de Perijá, Venezuela. *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa*, 43: 89 – 93.
- GARCÍA, L.F.; VILLARREAL, M. O. 2009. Localidad tipo precisa de *Surazomus macarenensis* (Kraus, 1957) (Schizomida: Hubbardiidae). *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa*, 44: 434.
- GIRIBET, G., EDGECOMBE, G.D., WHEELER, W.C. Y BABBIT, C. 2002. Phylogeny and systematic position of Opiliones: a combined analysis of chelicerate relationships using morphological and molecular data. *Cladistics* 18: 5–70.
- GONZÁLEZ-SPONGA, M.A. 1997. Arácnidos de Venezuela. Un nuevo género y dos nueva especie de Schizomidae y redescrípción de *Schizomus simonis* Hansen y Sörensen, 1905 del Sistema Montañoso de la Costa (Schizomida). *Acta Biologica Venezuelica*, 17(2): 1 – 10.
- HARVEY, M. 2003. *Catalogue of the smaller arachnid orders of the world: Amblypygi, Uropygi, Schizomida, Palpigradi, Ricinulei and Solifugae*. CSIRO Publishing, Australia, 1 – 363.
- RAVELO, P.O. 1975. *Speleophrynus tronchonii* Nuevo género y especie de Amblipigios de la familia Charontidae, en una cueva de Venezuela (Arachnida: Amblypygy). *Boletín de la Sociedad Venezolana de Espeleología*, 6: 77–85.
- RAVELO, P.O. 1977. *Speleophrynus bordoni* Nueva especie de Amblipigios de la familia Charontidae, en una cueva de Venezuela (Arachnida: Amblypygy). *Boletín de la Sociedad Venezolana de Espeleología*, 8: 17–25.
- REDDELL J. Y COKENDOLPHER J. 1995. Catalogue, bibliography and generic revisión of the Order Schizomida (Arachnida). *TexasMemorial Museum, Speleological Monographs* 4: 1 – 170.
- SANTOS, A.J., DIAS, S.C., BRESCOVIT A.D. & SANTOS, P.P. 2008. The arachnid order Schizomida in the Brazilian Atlantic Forest: a new species of *Rowlandius* and new records of *Stenochrus portoricensis* (Schizomida: Hubbardiidae). *Zootaxa*, 1850: 53–60.
- SHULTZ J.W. 1990. Evolutionary morphology and phylogeny of Arachnida. *Cladistics*, 6: 1 – 31.
- TOURINHO, A.L.M. Y KURY, A.B. 1999. The southernmost record of Schizomida in South America, first records of Schizomida for Rio de Janeiro and of *Stenochrus* Chamberlin, 1922 for Brazil (Arachnida, Schizomida, Hubbardiidae). *Boletim do Museu Nacional, Zoologia* 405: 1 – 6.
- VILLARREAL, M.O. Y TERUEL, R. 2006. Un nuevo *Hansenochrus* Reddell & Cokendolpher, 1995 (Schizomida: Hubbardiidae) de Venezuela noroccidental. *Papeis Avulsos de Zoologia de S.P.* 46(20): 233 – 238.
- VILLARREAL, M.O., GIUPPONI, P.L.A. Y TOURINHO, A.L. 2008. New Venezuelan genus of Hubbardiidae (Arachnida: Schizomida). *Zootaxa*, 1969: 60 – 88.
- VÍQUEZ, C. Y ARMAS L.F. DE. 2005. Dos nuevos géneros de vinagrillos de Centroamérica y las Antillas (Arachnida: Thelyphonida). *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa*, 37: 95-98.
- VIQUEZ C. & DE ARMAS L. F. 2006. Un nuevo género y dos nuevas especies de vinagrillos centroamericanos (Arachnida :Thelyphonida). *Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa*, 38 : 37-41.
- WHEELER, W.C. Y HAYASHI, C.Y. 1998. The Phylogeny of the Extant Chelicerate Orders. *Cladistics* 14: 173–192.

Escorpiones: estado actual de su conocimiento en Colombia

Eduardo Flórez Daza

Biólogo, MSc. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia,
aefflorezd@unal.edu.co

Introducción

Los escorpiones (o “alacranes” nombre común que reciben estos arácnidos en Iberoamérica) comprenden un grupo faunístico que exhibe un conjunto de características únicas dentro del Reino Animal, tales como su antigüedad, la posesión de venenos, presencia de pectinas (órganos sensoriales especializados), fluorescencia cuticular ante luz ultravioleta, ciclos de vida largos, ovoviviparidad, y cuidado maternal, entre otros. Su principal atributo ecológico es el de regular poblaciones de otros artrópodos, ya que son organismos netamente depredadores.

Exhiben una morfología particular, por lo cual sus representantes vivientes y extintos son fácilmente reconocibles. Su cuerpo se encuentra conspicuamente segmentado, reconociéndose dos grandes regiones o tagmas: El cefalotórax o prosoma, y el abdomen u opistosoma. Este último se halla a su vez subdividido en una región amplia o mesosoma y una región posterior angosta y cilíndrica conocida como metasoma o cola, el cual termina en una vesícula o aguijón que contiene las glándulas productoras de venenos (figuras 1 y 2).

Los escorpiones son animales que a través de larga historia evolutiva han logrado desarrollar adaptaciones bioquímicas, fisiológicas comportamentales y ecológicas que les han permitido asegurar su permanencia sobre el planeta por alrededor de 450 millones de años. En Colombia solo se ha registrado una especie subfósil hallada en copal en Santander (Lourenço, 2005)

Infortunadamente los escorpiones son conocidos comúnmente como organismos perjudiciales a la especie humana debido al efecto de sus venenos. Sin embargo menos del 1% de sus especies son potencialmente peligrosos para la salud humana. Únicamente en los géneros *Androctonus*, *Centruroides* y *Tityus*, pertenecientes a la familia Buthidae, incluyen alrededor de 25 especies consideradas peligrosas para el hombre.

A pesar del efecto perjudicial de los venenos, en la actualidad diversas toxinas de algunas especies de escorpiones están siendo utilizada en campos como la medicina y la producción de bio-insecticidas, por lo cual su mala reputación podría llegar a ser revertida en un futuro no muy lejano.

Aunque estos “fósiles vivientes” han cambiado poco en su morfología, a partir de sus reconocidos ancestros de vida acuática, su transición al medio terrestre les condujo al desarrollo de un amplio rango de adaptaciones, como fueron la transformación de branquias en pulmones libro, el desarrollo de una fuerte cutícula que impide la evaporación de líquidos vitales, el desarrollo de elaborados patrones de cortejo .y la producción de espermatozoides que permiten la fertilización de los óvulos, los cuales se desarrollan internamente en el útero femenino y son retenidos por ella hasta el momento del parto. Las crías emergen a través del opérculo genital femenino y con la ayuda de la madre suben a su dorso, en donde permanecen por espacio de 1-2 semanas. Este comportamiento de cuidado maternal es compartido con algunos otros grupos de arácnidos y artrópodos, pero quizás ninguno de ellos logra una longevidad como la que ha sido observada en escorpiones, la cual puede superar los 10 años en condiciones de cautiverio, y por lo menos un año en alcanzar la madurez sexual.

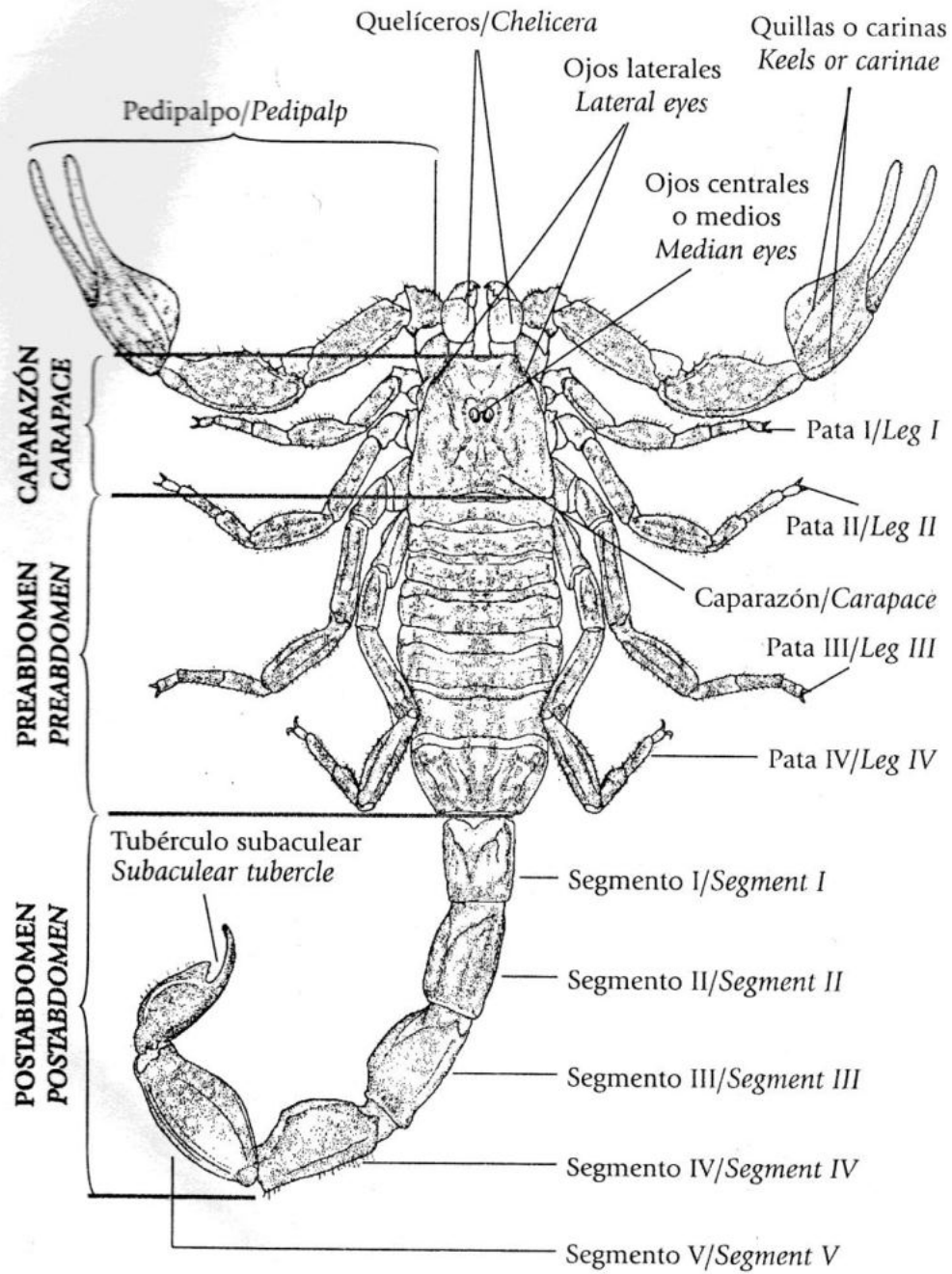


Figura 1. Morfología externa dorsal de un escorpión. (Adaptado de Viquez, 1999)

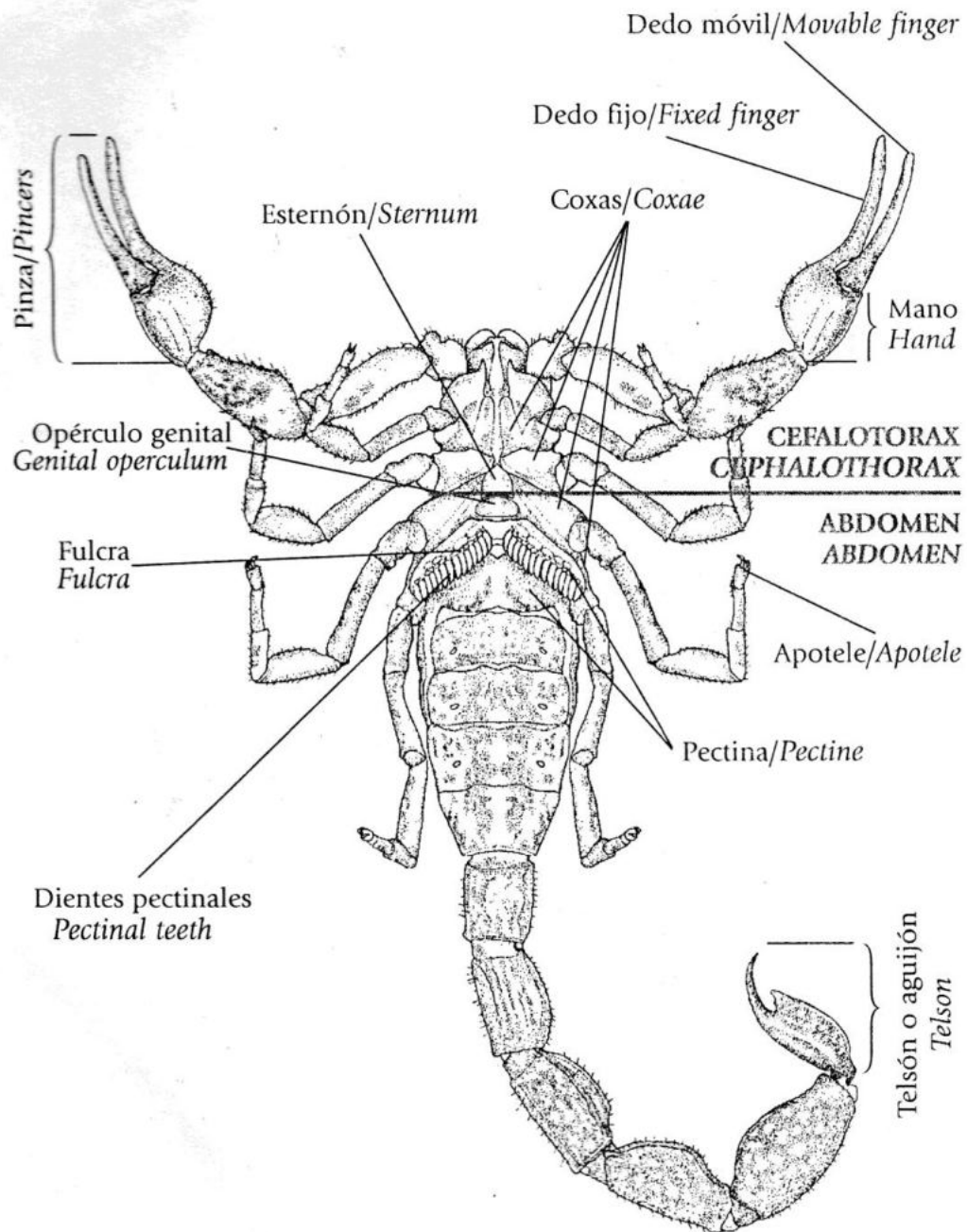


Figura 2. Morfología externa ventral de un escorpión. (Adaptado de Viquez, 1999)

El conocimiento científico de los escorpiones de Colombia se remonta al año 1844, cuando el naturalista francés Paul Gervais, describió tres especies de nuestro país: *Chactas vanbenedeni*

perteneciente a la familia Chactidae, *Tityus forcípula* de la familia Buthidae y *Opisthacanthus elatus* de la familia Liochelidae,

Debió transcurrir casi un siglo y medio a partir de entonces para que estudiosos nacionales se dedicaran al estudio de la escorpiofauna colombiana, en diversos frentes, tales como la taxonomía, la biología, la ecología y los venenos.

En el presente documento se consignan entonces los principales aportes efectuados, tanto por investigadores extranjeros, como nacionales, pretendiendo presentar un panorama actualizado de su conocimiento, aunque se debe aclarar desde ahora, que su estudio aún está en una fase inicial, y que lo mejor de la escorpiología colombiana está por venir. Para aspectos generales de la biología, ecología y comportamiento de escorpiones es recomendable consultar el libro “Biology of scorpions” editado por G. Polis (1990) y el trabajo de revisión de Williams (1987).

Estudios sobre biología de escorpiones de Colombia

Los aportes sobre la biología de escorpiones se limitan a tres especies: *Tityus columbianus* y *Tityus fuhermanni* (Buthidae), y *Chactas reticulatus* (Chactidae). Sobre la especie *T. columbianus* son relevantes los trabajos de W. Lourenco (1991) sobre partenogénesis, detectando una población unisexuada en la Sabana de Bogotá, y otra bisexual en Boyacá, señalando causas geoclimáticas del pasado como posibles generadoras de éste fenómeno en la población de la sabana de Bogotá.

De otra parte los trabajos con *T. fuhermanni* (Gomez *et al.*, 2002 , Rouad *et al.*, 2000) y *C. reticulatus* (Lourenco *et al.*, 2003) se han enfocado al desarrollo del ciclo de vida en condiciones de laboratorio. El trabajo de Gómez realizado en Antioquia permite inferir que la duración del ciclo de vida de *T. fuehrmanni* tendría una duración menor que el adelantado por Rouad *et al* con la misma especie en Francia, aunque Gómez *et al* solo lograron alcanzar el 4º instar, con una duración aproximad de un año para ello.

En escorpiones también se registran casos de especies partenogenéticas, y partos múltiples luego de una única inseminación. En Colombia ambos casos han sido registrado en algunas de sus especies [(Lourenco (1991), García *et al.*, (2005)]. Igualmente García *et al.*, (2005), describen la presencia de una malformación genética en el escorpión *Tityus forcipula*, consistente en un juvenil obtenido a partir de una parto en cautiverio que nació con dos metasomas (colas).

Estudios sobre ecología de escorpiones de Colombia

Los hábitos depredadores de los escorpiones, determina que contribuyan como consumidores en las cadenas tróficas de los bosques en donde ellos habitan, y aunque su diversidad en número de especies es relativamente bajo si se les compara con las arañas, los ácaros y muchos ordenes de insectos, su gran abundancia en algunos hábitats particulares, determinan que sean elementos claves en tales ecosistemas.

Los trabajos sobre aspectos de la densidad poblacional de la especie *Tityus columbianus*, llevados a cabo por Bohorquez *et al.*, (2005, 2008), en dos épocas diferentes. De acuerdo con estos trabajos la población de ésta especie permanece estable.

Gómez *et al.*, (2002) evaluaron algunos aspectos ecológicos de *T. fuhermanni* en la ciudad de Medellín y en sus alrededores, encontrando que esta especie utiliza diferentes tipos de

microhábitats incluidos los proporcionados por viviendas humanas, ya que esta especie se ha adaptado a vivir de manera sinantropica, una vez su hábitat natural fue invadido por el hombre.

Los escorpiones forman parte de la dieta de otros animales depredadores, particularmente de algunos vertebrados, como aves, anfibios reptiles y mamíferos (Polis, 1990). En Colombia, han sido registradas tres especies de escorpiones en dietas de anfibios (Botero-Trujillo 2006) y Flórez & Blanco (2010)], tabla 1.

Tabla 1. Especies de escorpiones incluidas en dietas de anuros en Colombia.

ESCORPIÓN	ANURO	LOCALIDAD	REFERENCIA
<i>Tityus nematochirus</i>	<i>Rhinella (=Bufo) marina</i>	Villavicencio, Meta	Botero-Trujillo (2006)
<i>Tityus tayrona</i>	<i>Rhinella marina</i> <i>Leptodactylus bolivianus</i> <i>Leptodactylus fuscus</i> <i>Hypsoboas pugnax</i>	Piojó, Atlántico, Aracataca, Magdalena, Piojó, Atlántico y Piojó, Atlántico	Flórez & Blanco (2010)
<i>Ananteris columbiana</i>	<i>Rhinella marina</i>	Piojó, Atlántico	Flórez & Blanco (2010)

Los escorpiones son encontrados comúnmente en el suelo, troncos en descomposición y debajo de piedras, es decir en el sotobosque, sin embargo se sabe que algunas especies pueden ser arborícolas. Recientemente Florez *et al.*, (2010) registran al chactido *Chactas keyserlingi*, en el dosel de un bosque altoandino, en Cundianmarca.

Actualmente se desarrollan dos trabaos de Grado en las Universidades de Caldas y Nariño, tratando de evaluar la escorpiofauna en un transecto altitudinal en el Municipio de Manizales (Gaviria en prep), y sobre el efecto de actividades antrópicas sobre las poblaciones de dos especies de escorpiones en el Municipio de Buesaco, Nariño (Tovar & Souza en prep.).

Estudios sobre venenos de escorpiones de Colombia

Los venenos de especies de escorpiones colombianas han recibido una gran atención por parte de investigadores nacionales, aunque el primer aporte fue realizado por Marinkelle (1965). El serpentario de la Universidad de Antioquia ha venido adelantando se han ocupado del estudio de la composición, efectos, sintomatología y tratamiento de picaduras de escorpiones de especies colombianas [(Otero 2002, Otero *et al.*, 2004)] Guerrero (2001), efectuó estudios relacionados con el aislamiento y evaluación de toxinas de *Centruroides margaritatus* en la región del Patía, Cauca. En el libro "Accidentes por animales venenosos, Pineda & Flórez (2002) aportan una síntesis del conocimiento de las especies colombianas involucradas con accidentes escorpiológicos en Colombia, revelando que solo cuatro especies pertenecientes a la familia Buthidae, pueden ser consideradas como de riesgo para la salud humana en Colombia, aunque casi nunca llegan a ocasiona accidentes fatales; estas especies son: *Centruroides margaritatus* en los valles geográficos del río Cauca y Magdalena, así como en la región Caribe, *Tityus pachyurus* en el Magdalena medio, *T. asthenes* en la región Pacífica y *T. fuhermanni* en Medellín y sus alrededores. Los aspectos toxinológicos e inmunoquímicos del venenos del escorpión *Tityus pachyurus* fueron abordados por Barona *et al.*, (2004). y Valderrama (1998) efectuó una revisión histórica del tema.

En la actualidad existen líneas investigativas en curso adscritas a diferentes universidades colombianas, tales como la de Antioquia, del Cauca, Nacional y del Valle.

Estudios sobre diversidad de escorpiones de Colombia

El conocimiento de los escorpiones de Colombia, se inicia a mediados del Siglo XIX gracias a trabajos adelantados por autores europeos, tales como Koch, Thorell, Kraepelin y Pocock. A partir de las últimas décadas se destacan las contribuciones del venezolano Gonzales-Sponga (1972, 1976, 1978), el franco-brasilero Lourenço (1991, 1997), Lourenço & Florez (1990) y el cubano Teruel [Teruel & García (2008), Teruel & Roncallo (2008)]. Este auge ha sido complementado por autores colombianos tales como Botero-Trujillo (2008), Botero-Trujillo & Noriega (2008), Botero-Trujillo & Francke (2009), Botero *et. al.* (2009), Flórez (2001) y Florez *et al.*, (2008).

En la actualidad se conocen aproximadamente 1500 especies de escorpiones en el mundo, agrupados en 120 géneros y 18 familias. En Colombia se han registrado hasta la fecha 65 especies, agrupadas en 14 géneros y cinco familias: Buthidae, Chactidae, Diplocentridae, Liochelidae y Troglotayosicidae (Tabla 2). La diversidad de géneros y especies de escorpiones en Colombia se ha visto incrementada significativamente en la última década, en la cual se han registrado alrededor de 20 especies, 4 géneros y una familia como nuevos taxones para el país.

Tabla 2. Diversidad de la escorpiofauna colombiana.

FAMILIAS	GENEROS	No DE ESPECIES
BUTHIDAE	<i>Ananteris</i> <i>Centruroides</i> <i>Microtityus</i> <i>Tityus</i>	<i>Rhopalurus,</i> 40
CHACTIDAE	<i>Brotheas</i> <i>Chactas</i> <i>Teuthraustes</i> <i>Vachoniochactas</i>	<i>Broteochactas</i> <i>Chactopsis</i> 21
DIPLOCENTRIIDAE	<i>Tarsoporus</i>	2
LIOCHELIDAE	<i>Opisthacanthus</i>	1
TROGLOTAYOSICIDAE	<i>Troglotayosicus</i>	1
TOTALES:	Familias: 5	Géneros: 14 Especies: 65

Teniendo en cuenta que aun gran parte del territorio nacional se encuentra inexplorado, se puede inferir que la diversidad escorpiológica se verá incrementada paulatinamente en el futuro.

Estudios sobre conservación de escorpiones de Colombia

Los escorpiones son elementos importantes para el equilibrio ecológico de los ecosistemas terrestres, cuyas especies generalmente sustentan poblaciones pequeñas y de limitada distribución

geográfica, por lo cual se hace necesario fijar metas para su conservación . En el libro Rojo de los Invertebrados Terrestres, Flórez (2007) incluyó cuatro especies de escorpiones en algún grado de amenaza de acuerdo a riesgos tales como extracción indiscriminada del medio natural (*Tityus columbianus*, *Opithacanthus elatus*), como por la reducción de áreas naturales en donde habitan especies endémicas (*Tityus engelkei* y *Chactas oxfordi*).

Literatura citada

- BARONA, J., R. OTERO & V. NUÑEZ. 2004. Aspectos toxinológicos e inmunoquímicos del venenos del escorpión *Tityus pachyurus* Pocock de Colombia: capacidad neutralizante de antivenenos producidos en Latinoamérica. *Biomédica*, 24: 42-49.
- BOHORQUEZ, G.R. C.O. JIMENEZ & H.B. LARA. 2005. Comparación de dos poblaciones de *Tityus columbianus* Thorell (Scorpiones, Buthidae) en Arborizadora Alta (Bog.) y en Soacha (Cun.) en cuanto a la abundancia relativa, distribución temporal y espacial. Trabajo de Grado, Departamento de Biología, Universidad Pedagógica Nacional, 87 pags.
- BOHORQUEZ, G.R., C.O. JIMENEZ, H.B. LARA & FLOREZ, D.E. 2008. Monitoreo de una población partenogenética del escorpión *Tityus columbianus* (Scorpiones, Buthidae) en Bogotá, Colombia. Resúmenes del 2do Congreso latinoamericano de Aracnología, p. 73.
- BOTERO-TRUJILLO, R. 2006. Anuran predators Bufo marinus first know natural enemy of *Tityus nematochirus* Mello-Leitao 1940 (Scorpiones, Buthidae). *Revista Iberica de Aracnología*, 13: 199-202.
- BOTERO-TRUJILLO, R. 2008. First record of the scorpion genus *Chactopsis* Kraepelin in Colombia, with the description of *Chactopsis carolinae* sp. nov. (Scorpiones, Chactidae). *Zootaxa* 1743: 34-42.
- BOTERO-TRUJILLO, R. & J.A., NORIEGA. 2008. First record of scorpion *Microtityus* from Colombia with the description of a new species. *Journal of Arachnology*, 36: 259-266.
- BOTERO-TRUJILLO, R. & O. FRANCKE. 2008. A new species of troglomorphic leaf litter scorpion from Colombia belonging to the genus *Troglotayosicus* (Scorpiones, Troglotayosicidae). *Texas Memorial Museum, Studies on the cave and endogean fauna of North America*, 7: 1-10.
- BOTERO-TRUJILLO, R. M. ERAZO & G. PEREZ. 2009. A new species of *Microtityus* (Scorpiones, Buthidae) from northern Colombia. *Zootaxa*, 2120: 27-38.
- FLOREZ, D.E., 2001. Escorpiones de la familia Buthidae (Scorpiones, Chelicerata) de Colombia. *Biota Colombiana*. 2(1): 25-30.
- FLOREZ, D.E., 2007. Escorpiones. En: Libro rojo de los invertebrados terrestres, G. Amat, G. Andrade y E. Amat (Eds.). pp.: 70-82.
- FLOREZ, D.E., R. BOTERO-TRUJILLO & L.E. ACOSTA. 2008. Description of *Vachoniochactas humboldti* sp. nov. from Colombia, with complementary notes on the genus (Scorpiones, Chactidae). *Zootaxa*, 1853: 31-44.
- FLOREZ, D.E. & A.T. BLANCO (2010). Registro de escorpiones incluidos en las dieta de anuros en la costa Atlántica colombiana. *Revista Ibérica de Aracnología* (en prensa).
- FLOREZ, D.E., F. HELBIG & H. GASCA-ALVAREZ (2010). Registro del escorpión *Chactas keyserlingi* Pocock, 1893 (Scorpiones, Chactidae) en el dosel de un bosque altoandino en Colombia. *Revista Ibérica de Aracnología* (en prensa).
- GARCÍA, M.A., E.D. FLOREZ, R. GARCIA & C-R. RUBIO. 2005. Un caso de anomalía morfológica y parto múltiple en el escorpión *Tityus forcipula* (Scorpiones, Buthidae) en la ciudad de Armenia, Colombia. Resúmenes 1er Congreso Latinoamericano de Aracnología, p. 187.
- GOMEZ, J.P., P. VELASQUEZ, M. SALDARRIAGA, A.DIAZ & R. OTERO. 2002. Aspectos biológicos y ecológicos del escorpión *Tityus fuhrmanni* (Kraepelin, 1914), en poblaciones del cerro El

- Volador y barrios aledaños de la ciudad de Medellín. *Actualidades Biologicas*, 24(77): 103-111.
- GONZALEZ-SPONGA, M.A. 1972. *Brotheas camposi*, nueva especie de escorpión para la amazonía colombiana. *Memorias del Sociedad de Ciencias Naturales de La Salle, Venezuela*, 32(91): 55-67.
- GONZALEZ-SPONGA, M.A. 1976. *Broteochactas colombiensis*, nueva especie de la amazonía colombiana. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales*, 22(132/133): 131-148..
- GONZALEZ-SPONGA, M.A. 1978. *Chactas oxfordi* (Chactidae). Nueva especie de la Sierra Nevada de santa Marta, Coloombia. *Monografías Científicas A. Pi Suñer*, No 9: 1-20.
- GUERRERO V.J., 2001. Aislamiento, purificación y evaluación de neurotoxinas del escorpión *Centruroides margaritatus* (Buthidae) del Municipio del Patía, Departamento del Cauca, Colombia. Trabajo de Grado, Departamento de Biología, Universidad del Cauca. 96 pags.
- 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., 1997. Synopsis de la faune de scorpions de Colombie, avec des cosnsiderations sur la systematique et biogeographie des especes. *Revue Suisse de Zoologie*, 104(1): 61-94.
- LOURENÇO, W.R., V. ANDRZEJEWSKY & J.L. CLOUDSLEY-THOMPSON. 2003. The life history of *Chactas reticulatus* Kraepelin (Scorpiones, Chactidae), with a comparative analysis of the reproductive traits of three scorpion lineages in relation to habitat. *Zoologischer Anzeiger*, 242: 63-74.
- LOURENÇO, W.R., & E.D. FLOREZ. 1990. Scorpions from Colombia. III. The scorio-fauna of pacific region (Choco), with some biogeographic considerations. *Amazoniana*. XL(2): 119-133.
- LOURENÇO, W.R., & W. WEITSCHAT. 2005. First sub-fossil scorpion of the genus *Chactas* Gervais from Colombian copal (Scorpiones, Chactidae). *Mitt. Geol-Palaont. Inst. Univ. Hamburg*, 89: 179-182.
- MARINKELLE, C.J. & H.L. STHANKE. 1965. Toxicological and clinical studies on *Centruroides margaritatus* (Gervais), a common scorpion in wetern Colombia. *Journal of Medical Entomology*, 2(2): 197-199.
- POLIS, G.A., 1990. The biology of scorpions. Standford Univ. Press. 578 pags.
- OTERO R. 2002. Seroterapia antivenenosa. Ventajas del uso de antivenenos del tipo IgG, F(ab') en picaduras de escorpiones y mordeduras de serpientes. *Pediatrica*, 37(1): 8-16.
- OTERO R., E. NAVIO, F. CESPEDES, M NUÑEZ, L. LOZANO, E. MOSCOSO, M SALDARRIAGA, E. FLOREZ & W. LOURENÇO. 2004. Scorpion envenoming in two regions of Colombia: clinical, epidemiological and therapeutic aspects. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 98: 742-750.
- PINEDA, D. & E.D. FLOREZ, 2002. Picaduras de escorpiones. En: *Accidentes por animales venenosos*. D. Pineda (Ed.). Instituto Nacional de Salud, Bogotá, pp. 91-107.
- ROUAD, C., J.L. CLOUDSLEY-THOMPSON & W. LOURENÇO, 2000. The life history of *Tityus fuhrmanni* Kraepelin (Scorpiones, Buthidae). *Biogeographica*, 76(1): 119-124.
- TERUEL, R. & L.F. GARCIA, 2008. Rare or poorly known scorpions from Colombia.I. Redescription of the *Tityus macrochirus* (Scorpiones, Buthidae). *Euscorpius*, 63: 1-11.
- TERUEL, R. & C. RONCALLO, 2008. Rare or poorly known scorpions from Colombia. III. On the taxonomy and distribution of *Rhopalurus laticauda* Thorell (scorpions, Buthidae) with description of a new species of the genus. *Euscorpius*, 68: 1-12.
- VALDERRAMA, R.H., 1998. Envenenamiento por picadura de escorpiones. 1er Simposio Colombiano de Toxinología, Medellín. Pp: 169-178.
- WILLIAMS, S.C. 1987. Scorpion bionomics. *Annual Review of Entomology*. 32: 275-295.

Simposio Entomología Médica

Coordinadora:

**Carolina Torres G., M. Sc.
Programa para Estudio y Control de Enfermedades Tropicales (PECET),
Universidad de Antioquia.**

Problemas com a identificação de espécies do gênero *Anopheles* e recomendações para o desenvolvimento de estudos taxonômicos como ferramenta básica de investigação

Problems with the identification of *Anopheles* species and recommendations for the development of taxonomic tools for research

Eduardo Sterlino Bergo e Maria Anice M. Sallum

Financiamento: Fundação de Amparo à Pesquisa do estado de São Paulo – FAPESP no. 2005/53973-0

Os mosquitos têm sido intensamente estudados por sua importância em saúde pública, visando principalmente determinar seu papel vetor, a identificação de espécies e o controle de doenças por eles transmitidas. Isso resultou no senso comum que os mosquitos são um grupo bem conhecido do ponto de vista taxonômico.

O gênero *Anopheles* tem sido mais estudado do que qualquer outro grupo de mosquitos, com referência à classificação e taxonomia. Atualmente a sistemática de Anophelinae é dominada pela pesquisa genética e molecular.

Muitas espécies de *Anopheles* são difíceis de identificar devido à sobreposição de caracteres e variação morfológica. Assim, o controle efetivo da malária pode ser dificultado pela má identificação das espécies envolvidas com a transmissão. Isso ocorre principalmente porque há carência de taxonomistas especializados em mosquitos e faltam chaves de identificação atualizadas com os novos complexos de espécies de vetores recém descobertos.

Há necessidade de um acurado sistema para identificar mosquitos do gênero *Anopheles* em qualquer estágio de vida. Para resolver este problema seriam bem vindas chaves taxonômicas interativas e ilustradas, glossário morfológico, catálogo de pesquisa, maior quantidade de literatura taxonômica, pesquisas com ênfase nos hotspots de biodiversidade, classificação preditiva fundamentada tanto em características morfológicas quanto em características moleculares, além de manter a comunidade de especialistas em mosquitos unida por meio de comunicação e treinamento.

O principal instrumento para a identificação de espécies de mosquitos é a chave dicotômica baseada em caracteres da morfologia externa, porém a maioria das chaves em uso foi desenvolvida décadas atrás. Novas propostas vêm sendo implantadas, como chaves multi-acesso para identificação de espécies de mosquitos e substituição das tradicionais por outras interativas, baseadas em matriz computacional, que fazem amplo uso do hipertexto para link de imagens, glossários e outros materiais de apoio. Progresso também está sendo feito na substituição total de chaves por correspondente óptico de amostras em banco de dados digital. Outra abordagem atual é o uso de sequências de DNA para a identificação, por exemplo, o gene citocromo c oxidase subunidade I. Este gene está sendo empregado como “barcode” para a identificação de diversos grupos de animais.

O segundo espaçador interno transcrito (ITS2) do DNA ribossômico tem sido amplamente empregado como marcador molecular para a identificação e separação de espécies crípticas de

Anopheles. Contudo, espécimes testemunho precisam ser depositados em museus, as variações intra-específicas devem ser consideradas e as informações biológicas devem ser incluídas, associadas com as sequências de DNA e o indivíduo analisado.

Na atualidade, o principal problema com a taxonomia de *Anopheles* é a existência de complexos de espécies que não são seguramente identificadas com as chaves disponíveis. Alguns desses complexos que vem sendo estudados são: *An. benarrochi*, que apresenta diferenças morfológicas na genitália masculina entre a região oeste da Amazônia e o estado de São Paulo; *An. oswaldoi* que inicialmente foi descrito como complexo de quatro espécies, porém provavelmente são duas; *An. konderi* que apresenta diferenças na genitália masculina entre populações coletadas ao norte e ao sul do rio Amazonas. Há ainda três formas cromossômicas de *An. nuneztovari* distribuídas pelo norte da América do Sul. Recentemente *An. goeldii* foi removida da sinonímia de *An. nuneztovari*. Acresce considerar a semelhança morfológica entre as fêmeas de *An. goeldii*, *An. nuneztovari* e *An. dunhami*. Estas três espécies podem ser facilmente confundidas se não forem examinadas as genitálias dos machos e as formas imaturas, incluindo os ovos, além de sequências de DNA. *Anopheles strodei* é outra espécie com ampla distribuição pelo continente sul americano. Contudo, existem fortes evidências morfológicas, tanto da genitália dos machos como dos ovos, bem como análises filogenéticas de sequências de DNA que nos permitem afirmar que se trata de complexo de pelo menos quatro espécies.

Técnicas de biología molecular para la tipificación de insectos de importancia médica: Iniciativa Barcodin

Techniques in molecular biology for typification of insects of medical importance: Barcodin initiative

Sandra Uribe Soto

M.Sc, Ph.D. Facultad de Ciencias, Grupo de Investigación en Sistemática Molecular, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Laboratorio de Biología y Sistemática de Insectos, bloque 16, 101.
surribe@unal.edu.co

El uso de técnicas de Biología molecular para estudiar insectos de importancia médica no es reciente.

Moléculas como las proteínas y el ADN han sido ampliamente utilizadas en aspectos de la taxonomía y sistemática de insectos vectores de enfermedades.

Tanto las isoenzimas como el ADN obtenido mediante diversas metodologías y más recientemente en forma de secuencias constituyen herramientas indudables para diferenciar especies, entender aspectos de la dinámica de las poblaciones y estudiar las relaciones evolutivas o filogenia y la filogeografía.

A partir de los años 80 con el desarrollo e implementación de las técnicas de PCR, la taxonomía y sistemática de las especies presentó una suerte de renacimiento al incorporar los nucleótidos y los aminoácidos y la estructura secundaria del ARNN como caracteres en el estudio de las especies.

En el caso de las secuencias de ADN, a pesar de que inicialmente su obtención se consideró costosa y con altos requerimientos de personal especializado, su uso se popularizó rápidamente gracias a los avances técnicos y a su característica ampliamente deseada en el contexto de la sistemática de representar una información reproducible y conectable al rededor del mundo.

En la actualidad es claro que los costos que representa incluir moléculas como herramienta en los estudios de entomología médica que han bajado considerablemente, justifican grandemente su incorporación como herramientas de apoyo a la taxonomía clásica y en la resolución de problemas y preguntas concretas de biología y especiación.

La idea de usar la identidad genética particular de los organismos en un proyecto global y como apoyo a las grandes iniciativas de taxonomía global y biodiversidad, o a problemas de estudio particulares a investigadores e instituciones, no es ajena a los insectos de importancia médica.

En este sentido la Iniciativa del “Barcoding” es de gran importancia y ha permeado grandemente los estudios en insectos vectores de enfermedad.e.s. Junto con otros genes mitocondriales y nucleares, el gen Citocromo Oxidasa I, aparece con base en la iniciativa del “Barcoding” como una alternativa cuyos principios y aplicaciones se describen a continuación.

La iniciativa del “Barcoding” con el propósito de identificar especies, fue propuesta en el año 2003 (Hebert *et al* 2003). Esta iniciativa se presentó como una forma rápida, económica y a gran escala, para avanzar en la realización de los inventarios de especies y en el conocimiento de la

biodiversidad, en el contexto del uso ampliamente establecido para la época, de secuencias de ADN en estudios de filogenia, filogeografía, y demarcación de poblaciones. (Simon *et al.* 1994).

El uso de un fragmento de ADN mitocondrial del gen Citocromo Oxidasa I como una secuencia para tipificar e inventariar los organismos y que permitiera estudiarlos al hablar de ellos en un mismo idioma, se postuló como una herramienta adicional a la morfología, para el descubrimiento e identificación de especies y como un proyecto de prueba para evaluar de forma masiva la aplicación de técnicas de biología molecular al estudio de biotas particularmente ricas y complejas.

En el año 2005 se presentó formalmente la propuesta en la primera conferencia internacional sobre “Barcoding Life” que fue realizada en el Museo de Historia Natural de Londres. Allí se explicó a la comunidad científica la idea de un grupo de científicos de la Universidad de Güelp en Canadá, de usar una secuencia de aproximadamente 600 pares de bases nucleotídicas del gen mitocondrial de la Citocromo Oxidasa I (COI) como un “identificador universal” para especies animales y se invitó a validar su utilidad en especies y grupos animales de todo el mundo.

Como aspectos importantes o “bioproductos” derivados del uso de una secuencia como identificador universal, se consideran las librerías de secuencias de ADN de un sin número de organismos. En este sentido, al ser depositadas en bases de datos como BoID y GenBank, las secuencias se convierten en información de acceso público y están a disposición de un gran número de usuarios. Así mismo, se resalta la formación en todo el mundo de personas con competencias en el uso de la tecnología de ADN como herramienta en taxonomía y sistemática y la implementación global de un sistema amigable y con bajo costo por individuo de identificación, el cual contribuiría al “mantenimiento económico de lo que podría llamarse taxasfera”. (Janzen 1993, 2005).

Si bien la propuesta inicial del código genético de barras fue realmente ambiciosa y no pareció orientar sus objetivos desde la rigurosidad de la Sistemática, la participación de taxónomos y sistemáticos de todas partes del mundo y los avances en diferentes grupos de organismos, la convierten a la fecha, en una de las estrategias más usadas y exploradas en busca del conocimiento y estudio de la diversidad animal, y en particular de los insectos.

Las personas e instituciones involucradas en la iniciativa del “barcoding” o código de barras, la consideran como una herramienta que facilitará a mediano y corto plazo, la tarea de identificación de especies y que contribuirá sin duda a revitalizar las colecciones biológicas depositadas en los museos al incorporar información en forma de ADN, así como a avanzar en el inventario de la biodiversidad (Hebert *et al.* 2003).

A la fecha se registra la participación de investigadores de más de 50 países, que no solo obtienen las secuencias de la región mitocondrial COI, sino también de otros genes mitocondriales y nucleares en animales, microorganismos y plantas, lo cual ha permitido el avance y perfeccionamiento de las actividades relacionadas con esta iniciativa. (Frezal 2008)

En el caso particular de la biomedicina, y en lo que respecta a patógenos, parásitos y vectores, el código genético de barras ha sido ampliamente validado y las aplicaciones particulares para complejos de especies y especies morfológicamente indistinguibles de insectos vectores son claramente ejemplificadas y bien documentadas poner (Cywinska, 2006; Kumar 2007; Azari 2010, Azpurua 2010).

Para Colombia la iniciativa aún no es ampliamente conocida ni suficientemente difundida y los alcances y limitaciones apenas comienzan a hacerse disponibles para consideración de la comunidad

académica y científica. No obstante la participación de grupos e investigadores en comunicación con la iniciativa global se concreta en la presentación de resultados parciales en congresos especializados.

En muchos países del mundo son las mismas autoridades gubernamentales y los organismos de control quienes financian y promueven la implementación de la iniciativa por los aspectos prácticos que se derivan de la asignación de haplotipos a organismos con importancia ecológica, económica o en salud y como una forma de apropiarse del conocimiento de su diversidad y crear un lazo entre la biotecnología y la biodiversidad.

En Colombia aspectos relacionados con la obtención de permisos de estudio de diversidad biológica, acceso a recursos genéticos y de exportación de biodiversidad son aspectos que deben considerarse de forma conjunta con las autoridades ambientales y el ministerio del medio ambiente, en relación con la adecuada implementación y avances del proyecto.

Aproximación Metodológica

La metodología para obtener la secuencia usada como identificadora universal, ha sido ampliamente estandarizada y optimizada, e incluye procedimientos de rutina en los laboratorios de biología molecular.

De forma regular se requiere la extracción del ADN, la amplificación del fragmento deseado del gen COI, la purificación del ADN y la obtención de secuencias que en la actualidad se realiza en secuenciadores automáticos y con fluorocromos de forma rápida y eficiente.

Lo ideal es usar para la extracción de ADN pequeñas cantidades de tejido del organismo, de forma que los especímenes se deterioren lo menos posible y puedan conservarse como colección de referencia. En el caso de insectos de importancia médica, se registra el uso de patas y abdomen como fuente de extracción de ADN y obtención de secuencias de gran calidad.xx cita de mosquitos canada o india

La extracción de ADN se realiza de forma exitosa mediante el uso de soluciones de lisis o productos comerciales que mejoran grandemente el rendimiento e incluso mediante procesos automatizados que facilitan la obtención de ADN de gran cantidad de individuos en tiempos mínimos.

Mediante el uso de un par de oligonucleótidos o cebadores que fueron universalmente diseñados para tal fin (con pequeñas modificaciones para algunos casos), es posible amplificar el fragmento de interés mediante la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) y finalmente obtener las secuencias de ADN para el análisis respectivo (Hebert *et al* 2004; O'Dor 2003).

El Consorcio para el código de barras de la vida CBoL desde Canadá es quien coordina a nivel global los procedimientos y estándares de la iniciativa y proporciona la participación de países, instituciones e investigadores además de promover la realización encuentros periódicos con los investigadores para evaluar los avances, la participación en relación con diferentes grupos taxonómicos y redireccionar si es necesario los esfuerzos de acuerdo a los resultados.

A la fecha el consorcio posee una infraestructura en términos de laboratorios y plataforma informática que posibilita que partes pequeñas o tejidos de los especímenes bajo estudio, puedan ser enviados directamente a Canadá por los miembros de los países participantes bajo un permiso

de exportación del respectivo país. De esta forma el ADN puede ser extraído y amplificado para la obtención de secuencias.

De acuerdo con las facilidades de los diferentes países y de la dotación y calidad de los laboratorios, también puede enviarse el ADN extraído o productos de PCR para la obtención de secuencias o éstas pueden obtenerse directamente por los investigadores de cada país y registrarse en las bases de datos cumpliendo los requisitos de conservación de los especímenes voucher, fotografías y demás información relevante.

En el caso de Colombia cuya participación en la iniciativa es relativamente reciente, una reunión e indagación preliminar liderada por el Instituto von Humboldt a finales del año 2009, permitió verificar que los investigadores involucrados o interesados en proyectos relacionados con la iniciativa “código genético de barras”, provienen de instituciones con laboratorios suficientemente dotados para el procesamiento y obtención de secuencias de ADN. No obstante, dicha capacidad debe reexaminarse en términos de los objetivos del proyecto que considera la obtención masiva de información a partir de grandes cantidades de individuos, lo cual presupone la existencia e inversión de recursos económicos considerables representados entre otros aspectos, en desarrollos técnicos, de personal y tiempo.

Una vez obtenidas las secuencias éstas pueden ser analizadas con diversas herramientas bioinformáticas. Es ideal que éstas puedan interrelacionarse con cada espécimen depositado en un museo y cuya identificación corresponda a la realizada por un especialista, o que de ser un grupo desconocido y particularmente complejo o diverso, haya siempre uno o varios especialistas estudiando el grupo desde otras perspectivas taxonómicas y como respaldo al trabajo molecular.

Bajo la concepción de la iniciativa enmarcada en la Sistemática molecular, los nucleótidos provenientes de cada uno de los individuos secuenciados son usados como un descriptor universal de diversidad.

El análisis inicial y más simple de las secuencias de ADN en el código de barras, incluye métodos de distancia genética y construcción de árboles de N.J (de los términos en inglés Neighbor Joining que se traducen como vecino cercano). Con base en las secuencias obtenidas para grupos particulares de organismos se ha podido avanzar en la obtención de estimativos de los valores máximos de variación intraespecífica e interespecífica lo que facilita la asignación de individuos a diferentes grupos con base en valores de divergencia genética.

Desde la perspectiva de la taxonomía integrada, que implica el uso de diferentes tipos de caracteres para descubrir, delimitar y realizar identificación de las especies, el análisis de caracteres en forma de secuencias de ADN en esta iniciativa, debe ser cauteloso y las secuencias del fragmento del gen COI no deben usarse como caracteres únicos en el estudio de las especies. En este sentido debe considerarse que las delimitaciones o descripciones de las especies son problemas complejos de sistemática y que deben realizarse con base en sistemas de múltiples caracteres, por lo cual no se trata simplemente de la identificación de grupos de individuos con secuencias de ADN similares, sino que se presupone la evaluación de numerosos caracteres moleculares, morfológicos y biológicos y de la aplicación de un concepto de especie.

En este sentido es claro que la iniciativa más que delimitar especies, permite la identificación de organismos y grupos de organismos y que en el caso de las especies, aspectos como el diseño de muestreo y el acceso a los especímenes de museo son críticos y deben reflejar de la mejor forma posible la variación geográfica y local de la especie de interés.

Al revisar las aproximaciones al análisis de las secuencias en “Barcoding” y considerar aspectos estadísticos y de análisis desde la Sistemática molecular, debe considerarse que no existe una perfecta identidad de secuencias entre los individuos de una misma especie. Es claro además que en los análisis debe incluirse criterios y medidas estadísticas sobre la certeza del uso de las secuencias para realizar agrupaciones correctas, que se derivan de las asunciones de la genética de las poblaciones que se estudian y que en casos como especies con fuerte subdivisión de las poblaciones la asignación de individuos a una especie puede no ser adecuada.

Es recomendable que los métodos de análisis consideren la información filogenética de las especies en una base de datos y la información disponible de múltiples secuencias al interior de las especies de forma que las secuencias se usen bajo la concepción de caracteres más que distancias. Los métodos bayesianos son de gran utilidad en esta dirección y su utilización es ampliamente propuesta (Rasmus y Matz 2006).

Entre las iniciativas relacionadas de forma particular con insectos de importancia médica se encuentran la de Mosquitos, *Lutzomyia* spp, las cuales se mencionan brevemente en razón con su importancia para el país.

Mosquito Barcode Initiative MBI

Hace aproximadamente 5 años el Museo de Historia Natural de Londres lideró una reunión de expertos en la taxonomía y sistemática de mosquitos en la cual se discutió la utilización de las secuencias “barcode” como una herramienta en el estudio taxonómico de mosquitos. Con base en dicha reunión se implementó una iniciativa que tiene como objetivo la creación de un sistema operacional global que permita la identificación de mosquitos. En un tiempo estimado de cinco años, se propuso tipificar con base en esta secuencia universal por lo menos 5 individuos de aproximadamente el 80 % de las 3200 especies conocidas de mosquitos.

Por los alcances de la información obtenida en aspectos como el control vectorial, la prioridad de trabajo está enfocada a los mosquitos transmisores de enfermedades y sus especies relacionadas.

Investigadores de todo el mundo están involucrados en la propuesta y trabajan de forma colaborativa en los diferentes grupos y especies representados en sus regiones. En el caso particular de Colombia investigadores de al menos tres Universidades y centros del país avanzan en la obtención de información de grupos particulares como el género *Trichoprosopon* y otros asociados a fitotelmata, y los subgéneros *Kerteszia* y *Nysorhynchus* del género *Anopheles* (Gutierrez 2009; Suaza 2009).

En la tercera conferencia de Barcode realizada en México a finales del 2009, la doctora Yvonne Lynton, líder del proyecto a nivel mundial, presentó las secuencias barcode de 19.000 mosquitos correspondiente a 179 especies. Los resultados obtenidos revelan la existencia de 46 taxa crípticos, lo cual indica que la biodiversidad de mosquitos puede estar subestimada al menos en un 26%. En al menos 8 especies se evidenció introgresión que fue corroborada con secuencias de la región nuclear ITS2.

Los datos presentados revelan que se ha tipificado el 35% de las especies conocidas para el género *Anopheles* el cual incluye el 90% de los vectores de malaria reportados para el mundo.

Otros resultados corresponden a los obtenidos en India por Kumar y colaboradores con secuencias de barcode previamente difundidos en 2007. Kumar et al 2007. Así mismo, Cywinska *et al.* (2006) reportaron la tipificación con la secuencia barcode de especies de Culicidae de Canadá.

Uno de los aspectos más interesantes en el trabajo realizado a la fecha con mosquitos lo constituye la asignación de secuencias a especímenes almacenados en colecciones y museos y de gran antigüedad. Muchos de estos individuos son indispensables y de gran representatividad para los objetivos del proyecto. La metodología de extracción de ADN fue descrita por Hajibabaei *et al.* 2006 y Dean & Ballard, 2001. Como fuente de ADN se usa un par de patas o el individuo se desmonta y sumerge en una solución de extracción con proteinasa K, luego se retira, se deja secar y vuelve a montarse. Estrategias adicionales incluyen el uso de micro jeringas para retirar pequeñas partes del tórax que constituye un tejido rico en mitocondrias (Cywinska 2006).

De acuerdo con los registros de la plataforma del CBol existen 5913 secuencias registradas para la familia Culicidae (Mosquito Barcoding Initiative) y un gran número de centros e instituciones que en la última reunión de Barcode propusieron la formación de una unidad que involucre todos los organismos implicados en salud, es decir, incluyendo parásitos y vectores.

Lutzomyia Barcoding Initiative LBI

No existe registrada una iniciativa global formal para la implementación del uso de barcode en *Lutzomyia* spp vectores de leishmaniosis. Sin embargo existen proyectos en desarrollo en diversos países y regiones (Azpurua, 2010), y un gran número de estudios relacionados de sistemática molecular que evalúan con diferentes regiones mitocondriales y nucleares las relaciones evolutivas más que la utilidad en la identificación de especies. (Ready 1997; Uribe 1999; Arrivillaga 2002; Lins 2002; Bauzer 2002; Beati 2004, Lins 2008).

Desde el 2009 se realizan en Colombia estudios de asignación de secuencias barcode para *Lutzomyia* registrada en el consorcio como LBI, contándose a la fecha con un total de 200 especímenes tipificados con base en COI, provenientes de diferentes regiones del país y con un estudio sobre la validación del uso del mismo en la especie *Lutzomyia longipalpis* considerada como un complejo de especies. (Bejarano 2001, Hoyos 2009; Vivero 2009; Mosquera 2009).

Dichos estudios reflejan la alta diversidad de *Lutzomyia* en el país y la utilidad de las secuencias para corroborar su identidad o verificar su presencia en regiones geográficas particulares. También para evaluar las relaciones evolutivas entre las especies y la correlación entre los esquemas de clasificación con base en caracteres morfológicos y la variabilidad molecular, aspectos éstos que empiezan a analizarse y divulgarse.

Así mismo recientes estudios en Panamá asignaron haplotipos de la secuencia barcode a 49 individuos de 16 especies de *Lutzomyia* y dos de *Brumptomyia* demostrando la utilidad de la secuencia para asignar los individuos a grupos que corresponden con las especies definidas previamente por los especialistas con base en caracteres morfológicos y separando individuos altamente divergentes que representaban especies morfológicamente similares (Azpurua 2010).

A pesar de los avances que se registran en la tipificación molecular de las especies y del registro de las secuencias, es claro que los análisis concluyentes respecto al uso del “barcoding” en determinados grupos y para responder diversas preguntas apenas empiezan a dilucidarse. También es claro que la tendencia actual implica la inclusión de otros fragmentos de ADN para la evaluación

de un “barcode” multigenes que pueda tener una mejor resolución en casos particulares y que las bondades y debilidades del “barcode” forman parte de un a gran controversia.

Preguntas concretas y problemas entomológicos concretos abordados desde la visión integrada, representan sin duda el mejor abordaje desde ésta moderna y compleja metodología que se encuentra hoy al alcance de todos.

Literatura citada

- ARRIVILLAGA, J. C.; NORRIS, D. E.; FELICIANGELI, M. D.; LANZARO, G. C. 2002. Phylogeography of the neotropical sand fly *Lutzomyia longipalpis* inferred from mitochondrial DNA sequences. *Infection, Genetics and Evolution* 2 (2): 83-95.
- AZARI, Y.; LINTONB, M.; ABAIC, H.; LADONNIC, M.; OSHAGHIC, A.; HANAFI, S.; *et al.* 2010. Mosquito (Diptera: Culicidae) fauna of the Iranian islands in the Persian Gulf. *Journal of Natural History* 44 (15): 913 – 925.
- AZPURUA, J.; DE LA CRUZ, D.; VALDERRAMA, A.; WINDSOR, D. 2010. *Lutzomyia* Sand Fly Diversity and Rates of Infection by *Wolbachia* and an Exotic *Leishmania* Species on Barro Colorado Island, Panama. *Plos Neglected Tropical Diseases* 4 (3): 627 – 635.
- BEATI, L.; CÁCERES, A. G.; LEE, J. A.; MUNSTERMANN, L. E. 2004. Systematic relationships among *Lutzomyia* sand flies (Diptera: Psychodidae) of Perú and Colombia based on the analysis of 12S and 28S ribosomal DNA sequences. *Journal of Parasitology* 34: 225 – 234.
- BEJARANO, E. 2001. Nuevas herramientas para la clasificación taxonómica de los insectos vectores de leishmaniosis: utilidad de los genes mitocondriales. *Biomédica*. 21 (2): 182 – 191.
- BAUZER, L.; SOUZA, N.; WARD, R.; KYRIACOU, C.; PEIXOTO, A. 2002. The period gene and genetic differentiation between three Brazilian populations of *Lutzomyia longipalpis*. *Insect Molecular Biology* 11 (4): 315 – 324.
- CYWINSKA, A.; HUNTER, F.; HEBERT, P. 2006. Identifying Canadian mosquito species through DNA barjanzen 12004codes. *Medical and Veterinary Entomology* 20 (4): 413 – 424.
- DEAN, M.; BALLARD, J. 2001. Factors affecting mitochondrial DNA quality from museum preserved *Drosophila simulans*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 98: 279 – 283.
- FREZAL, L.; LEBLOIS, R. 2008. Four years of DNA barcoding: current advances and prospects. *Infection, Genetics and Evolution* 8 (5): 727 – 736.
- GUTIERREZ, L.; ORREGO, L.; GOMEZ, G.; LOPEZ, A.; LUCKHART, S.; CONN, J.; CORREA, M. 2009. Estatus Filogenético de Especímenes *Anopheles albitarsis* s.l. (Diptera: Culicidae) de la Región Caribe Colombiana. En: Bustillo, A.; Sanchez, Y. (eds.). *Memorias del XXXVI Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología*. Editora Num Publicidad. Medellín. Colombia. 246 p.
- HAJIBABAEIM, M.; JANZEN, D.; BURNS, J.; HALLWACHS, W.; HEBERT, P. 2006. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United states of America 103 (4): 968 – 971.
- HEBERT, P.; CYWINSKA, A.; BALL, S.; DEWAARD, J. 2003. Biological identifications through DNA barcodes. *Proceeding Royal Society of London* 270: 313 – 321.
- HEBERT, P.; PENTON, E.; BURNS, J.; JANZEN, D.; HALLWACHS, W. Ten species in one: DNA barcoding reveals cryptic species in the neotropical skipper butterfly *Astraptes fulgerator*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United states of America* 101 (41): 14812 – 14817.
- HOYOS, R.; LOPEZ, A.; SUAZA, J.; URIBE, S. 2009. Caracterización del Gen Citocromo Oxidasa I (COI) “Codigo de Barras” en *Lutzomyia longipalpis* (Lutz & Neiva, 1912) (Diptera: Psychodidae), Vector de Leishmaniasis Visceral Americana. En: Bustillo, A.; Sanchez, Y. (eds.). *Memorias*

- del XXXVI Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología. Editora Num Publicidad. Medellin. Colombia. 246 p.
- JANZEN, D. Sweep Samples of Tropical Foliage Insects: Effects of Seasons, Vegetation Types, Elevation, Time of Day and Insularity. *Ecology* 1993 54 (3):119 – 130.
- JANZEN, D.; HAJIBABAEI, M.; BURNS, J.; HALLWACHS, W. REMIGIO, E.; HEBERT, P. 2005. Wedding biodiversity inventory of a large and complex Lepidoptera fauna with DNA barcoding. *Philosophical Transactions of Royal Society* 360: 1835 – 1845.
- KUMAR, N.; RAJAVEL, A.; NATARAJAN, R.; JAMBULINGAM, P. 2007. DNA Barcodes Can Distinguish Species of Indian Mosquitoes (Diptera: Culicidae). *Journal of Medical Entomology* 44 (1):1 – 7.
- LINS, R.; OLIVEIRA, S.; SOUZA, N.; QUEIROZ, R.; JUSTINIANO, S.; WARD, R.; KYRIACOU, C.; PEIXOTO, A. 2002. Molecular evolution of the *cacophony* IVS6 region in sandflies. *Insect Molecular Biology* 11: 117 – 122.
- LINS, R.; SOUZA, N.; PEIXOTO, A. 2008. Genetic divergence between two sympatric species of the *Lutzomyia longipalpis* complex in the paralytic gene, a locus associated with insecticide resistance and lovesong production. *Memorias del Instituto Oswaldo Cruz* 103 (7): 736 – 740.
- MOSQUERA, X.; TORRES, C.; VIVERO, R.; MUSKUS, C. 2009. Determinación Molecular Microhabitats Utilizados por *Lutzomyia* (Diptera: Psychodidae) para el Desarrollo de sus Estadíos Inmaduros, en diferentes regiones de Colombia. En: Bustillo, A.; Sanchez, Y. (eds.). *Memorias del XXXVI Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología*. Editora Num Publicidad. Medellin. Colombia. 246 p.
- NIELSEN, R.; MATZ, M. 2006. Statistical Approaches for DNA Barcoding. *Systematic Biology* 55 (1): 162 – 169.
- O' DOR, R.; YARINCIK, K. 2003. The Census of Marine Life: Understanding Marine Biodiversity, Past, Present and Future. *Gayana* 67 (2): 145 – 152.
- READY, P. D.; DAY, J. C.; DE SOUZA, A. A.; RANGEL, E. F.; DAVIES, C. R. 1997. Mitochondrial DNA characterization of populations of *Lutzomyia whitmani* (Diptera Psychodidae) incriminated in the peri-domestic and silvatic transmission of *Leishmania* species in Brazil. *Bulletin of Entomological Research* 87 (2): 187-195.
- SUAZA, J.; URIBE, S.; LOPEZ, A.; PORTER, C. 2009. Estudio Comparativo de *Anopheles neivai* Howard, Dyar & Knab (Diptera: Culicidae) de Guatemala y el Pacífico Colombiano a partir de Secuencias de ADN Mitocondrial. En: Bustillo, A.; Sanchez, Y. (eds.). *Memorias del XXXVI Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología*. Editora Num Publicidad. Medellin. Colombia. 246 p.
- SIMON, C.; FRATI, F.; BECKENBACH, A.; CRESPI, B.; LIU, H.; FLOOK, P. Evolution, Weighting, and Phylogenetic Utility of Mitochondrial Gene Sequences and a Compilation of Conserved Polymerase Chain Reaction Primers. *Annals of the Entomological Society of America* 87 (6): 651 – 701.
- URIBE, S.; LEHMANN, T.; ROWTON, E. D.; VÉLEZ, I. D.; PORTER, C. 2001. Speciation and population structure in the morphospecies *Lutzomyia longipalpis* (Lutz & Neiva) as derived from the mitochondrial ND4 gene. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 18 (1): 456-461. En: Bustillo, A.; Sanchez, Y. (eds.). *Memorias del XXXVI Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología*. Editora Num Publicidad. Medellin. Colombia. 246 p.
- VIVERO, R.; CONTRERAS, M.; BEJARANO, E. 2009. Cambios en el extremo carboxilo terminal de citocromo b como carácter taxonómico en *Lutzomyia* (Diptera: Psychodidae). *Revista Colombiana de Entomología* 35 (1): 83 – 89.

- VIVERO, R.; CONTRERAS, M.; SUAIZA, J.; VELEZ, A.; LOPEZ, A.; URIBE, S. VELEZ, I. 2009. Uso del Dominio Carboxilo Terminal de Citocromo Oxidasa I, como Codigo Genetico en la Determinación Taxonomica de Especies de Lutzomyia (Diptera: Psychodidae), Vectores de Leishmaniosis en Colombia. En: Bustillo, A.; Sanchez, Y. (eds.). Memorias del XXXVI Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología. Editora Num Publicidad. Medellin. Colombia. 246 p.

El control vectorial de la leishmaniasis en Colombia: experiencias y retos para el futuro

Vector control for Leishmaniasis in Colombia: experiences and future challenges

Raúl Hernando Pardo Puente

PhD, Grupo de Entomología y Enfermedades Transmitidas por Vectores, Universidad de La Salle, Bogotá D.C.,
rpardo@unisalle.edu.co

Resumen

En Colombia la leishmaniasis es una enfermedad de importancia en salud pública, siendo la forma cutánea (LC) la más común. En los últimos años el número de casos de LC ha aumentado hasta 14.006 /año. Este documento tiene el fin de revisar el estado del control vectorial de la leishmaniasis en Colombia y el de la investigación relacionada para identificar áreas prioritarias de trabajo. Las operaciones ordinarias de control vectorial en Colombia se hacen bajo condiciones de epidemia y se limitan al rociamiento con insecticida de viviendas (RV) y a la utilización de toldillos sin impregnar o impregnados con insecticida (TI). Estas medidas no son sometidas a evaluación. La investigación sobre control vectorial es escasa, evaluando, en su mayoría, la eficacia y efectividad entomológica a pequeña escala. La revisión de evidencias sugiere que los TI podrían ser útiles para el control de la leishmaniasis en Colombia, mientras que el RV requiere de mayor investigación para definir su utilidad. Se concluye que se deben intensificar los estudios en investigación básica y de control vectorial. Hacia el futuro se propone: a) implementar una estrategia para evaluar las operaciones de control para lo que se plantean algunos elementos a tener en cuenta; b) evaluar de la efectividad de los TI a gran escala, en particular los impregnados con insecticida de larga duración; c) buscar métodos alternativos de control; y d) desarrollar técnicas de muestreo de flebotomos alternativas al atrayente humano

Palabras clave: Rociamiento de viviendas con insecticidas, toldillos impregnados, operaciones de control vectorial, *Lutzomyia*.

Abstract

Leishmaniasis is a disease of importance health in Colombia. The most common forms are cutaneous leishmaniasis (CL). Cases of CL have increased in the last years to 14,006 / year. This paper aims to review the status of the control vector activities and research in vector control for leishmaniasis in Colombia in order to identify future work areas. Operational vector control in Colombia is carried out only under epidemic situations and includes house spraying (HS) and use of untreated or insecticide treated bednets (IN). This control measures are not currently evaluate. Research in vector control is scarce. Most studies deal with entomological efficacy and entomological effectiveness in small scale trials. Some evidences suggest that IN could be useful in the control of leishmaniasis en Colombia. Whereas HS needs more research. It is concluded that basic research and vector control studies should be increase. Challenges for the future are: a) to develop an evaluation strategy for operational vector control. For this some elements to take into account are presented; b) to evaluate the effectiveness in large scale studies of the IN, especially those treated with long lasting insecticide; c) to find alternative control methods; and d) to develop new sampling methods for sandflies as an alternative to human landing catches.

Key words: House spraying, treated bednets, operational vector control, *Lutzomyia*.

Introducción

La leishmaniasis son un grupo de enfermedades causadas por parásitos del género *Leishmania* que son transmitidos a los humanos por la picadura de una hembra infectada del género *Lutzomyia*, en el Nuevo Mundo y del género *Phlebotomus*, en el Viejo Mundo. La enfermedad se presenta en tres formas clínicas: leishmaniasis cutánea (LC); leishmaniasis mucosa (LM) y leishmaniasis visceral (LV) distribuidas en 88 países localizados en su mayoría en el trópico y subtrópico, incluyendo las regiones más pobres del mundo. La población en riesgo de adquirir la enfermedad es de 350 millones de personas y cada año se registran en promedio 2 millones de nuevos casos.

En Colombia se presentan las tres formas de leishmaniasis siendo la LC la que domina ampliamente (95% de los casos) (Padilla *et al.* 1999). Desde 1981 a 2008 se reportaron 138.692 casos de LC con una mediana de 5.983 casos/año (1990 – 2008), excluyendo los casos de las Fuerzas Militares, grupo del que se dispone de registros desde el año 2003 (Figura 1). Los casos en militares con una mediana de 6.895 ca./año (2003 – 2008) corresponden a más de la mitad de los casos en civiles. Si a los últimos seis años con registro de casos en las Fuerzas militares se suman los casos en civiles, la mediana sube a 14.006 ca./año. Según Saravia y Nicholls (2006), este aumento notable en el número de casos de LC se puede atribuir, entre otros factores, al aumento de actividades humanas en los ambientes silvestres con transmisión enzootica (aumento de transmisión selvática) y a los cambios en los entornos de transmisión que ahora incluyen los ambientes domiciliario y peridomiciliario de áreas rurales y algunas zonas periurbanas.

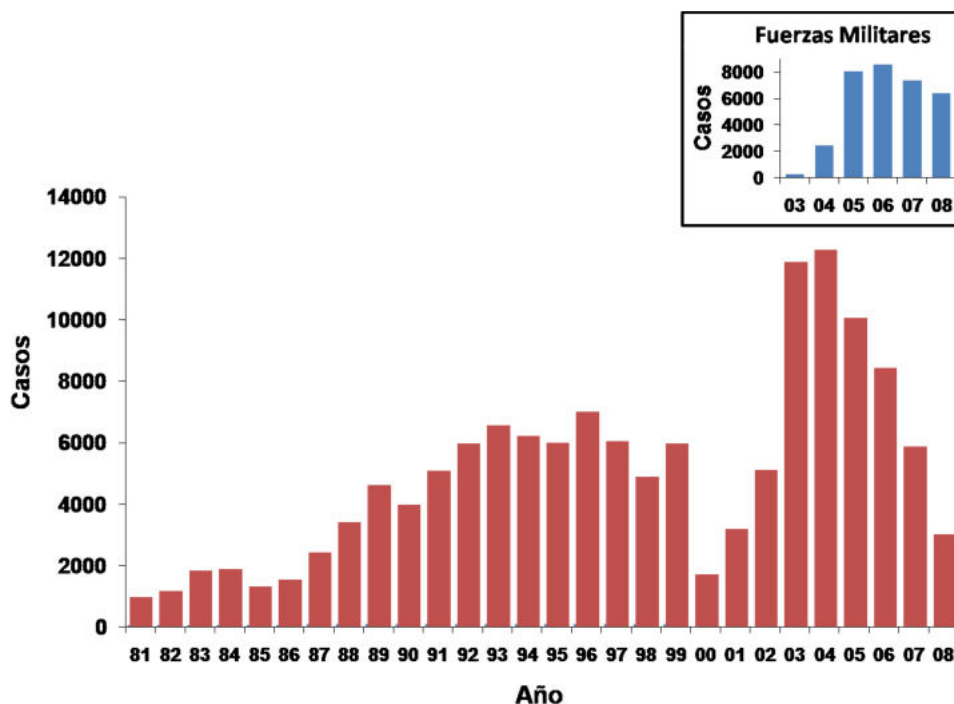


Figura 1. Leishmaniasis cutánea en Colombia en el periodo 1981 - 2008. El recuadro muestra los casos reportados por las Fuerzas Militares en el periodo 2003 – 2008 (Figura construida con base en los registros epidemiológicos del Ministerio de Salud y del Sivigila).

Hasta el momento se reconocen seis especies de *Lutzomyia* como vectores de leishmaniasis en Colombia (Montoya-Lerma y Ferro, 1999). Para LV: *L. longipalpis* y *L. evansi* (transmisores de *Le. infantum*); y para LC: *L. trapidoi* (*Le. panamensis*), *L. spinicrassa* (*Le. braziliensis*), *L. umbratilis* (*Le. guyanensis*) y *L. hartmanni* (*Le. colombiensis*). Además, por lo menos otras siete especies se consideran vectores sospechosos de LC: *L. longifloca*, *L. columbiana*, *L. youngi*, *L. gomezi*, *L. lichyi*, *L. ovallesi*, y *L. antunesi*. Lo anterior sin tener en cuenta otras especies presentes en Colombia que han sido comprometidas como vectores en otros países.

Los estudios en reservorios son relativamente escasos. Además, falta mayor conocimiento de los parámetros con los que se puede determinar el papel epidemiológico de un reservorio huésped (prevalencia de infección en el reservorio, tasa de picadura del vector sobre el reservorio, y capacidad del reservorio infectado para producir infección en el vector) (Davies *et al.* 2000a). Basados principalmente en el hallazgo de infección natural se reconocen como reservorios de LC en Colombia a: *Choloepus hoffmanni*, *Metachirus nudicaudatus*, *Didelphis marsupialis*, *Rattus rattus*, *Akodon sp.*, y *Coendou sp* (Corredor *et al.* 1990). Para LV se reconoce al perro (*Canis familiaris*) como el reservorio más importante.

En el siguiente texto se presenta un resumen del estado del control vectorial de la leishmaniasis en Colombia incluyendo tanto operaciones de control aplicadas por las instituciones encargadas de la prevención y del control, como las investigaciones realizadas sobre el tema. Con base en esto se plantean algunos campos y actividades a desarrollar con base en los cuales se pueda llegar a establecer en un futuro estrategias sólidas de control para, por lo menos, reducir al mínimo la incidencia de la enfermedad.

Operaciones ordinarias de control vectorial

El control de la leishmaniasis en Colombia, como en los otros países de la región andina (Davies *et al.* 2000a), se ha basado tradicionalmente en el diagnóstico de casos y su tratamiento. El control vectorial se hace, en general, solo en respuesta a una situación de epidemia, bajo condiciones que indiquen transmisión intradomiciliar y peridomiciliar. Los métodos aplicados son principalmente el rociamiento de viviendas y el uso de toldillos sin impregnar o, más recientemente, de toldillos impregnados con insecticida. Además, algunas intervenciones son acompañadas con educación a la comunidad mediante la presentación de charlas y la distribución de folletos, afiches y videos que tratan sobre la enfermedad y su control.

Una deficiencia constante en las operaciones del control vectorial de la leishmaniasis, que se extiende a las otras enfermedades transmitidas por vectores (ETV), es la falta de evaluación de su impacto. Varios factores pueden contribuir a esta situación, entre otros: a) Falta de personal y recursos logísticos. En general el personal disponible para responder a las actividades de control vectorial (Coordinadores de ETV, encargados de las Unidades de Entomología y Técnicos de Saneamiento) debe responder a múltiples funciones, una de las cuales es el control de las ETV a las que se atiende de acuerdo a las coyunturas epidemiológicas. Además, los recursos logísticos (e.g. trampas) para hacer las evaluaciones entomológicas son limitados; y b) Falta de un documento guía para orientar las evaluaciones. Aunque se cuenta con una guía integral de manejo de la leishmaniasis (Ministerio de Salud 1995), ésta solo orienta de forma general sobre las medidas de control que se pueden aplicar pero no indica cómo evaluarlas. Los pocos intentos de evaluación presentan resultados discutibles por la falta de grupos control adecuados. Además, solo se registran variables epidemiológicas (e.g. número de casos) ignorando las variables entomológicas (e.g. densidad del vector o tasa de picadura)

La notable dependencia de unas pocas medidas de control, principalmente de tipo químico, de cuyo impacto no se tiene certeza por la falta de evaluación, pone en evidencia la fragilidad del control vectorial de la leishmaniasis y la necesidad de ampliar el espectro de opciones de medidas de control. Es importante anotar que el control vectorial es solo uno de los componentes del control de la enfermedad que debe estar articulado con la vigilancia, el diagnóstico y el tratamiento de la enfermedad, el control de reservorios, el manejo ambiental y la educación en salud, entre otros.

Investigaciones en el control vectorial

Tradicionalmente las evaluaciones de las medidas de control vectorial han sido un desafío para los investigadores y muchos trabajos pierden validez por deficiencias básicamente en el diseño experimental de los estudios. Las fallas más comunes están en a) Ausencia de un control espacial (sitio similar al intervenido en donde no se aplica la medida). El control espacial permite tener un marco de referencia para comparar el efecto de la medida a evaluar. Un control temporal (condiciones antes de la aplicación de la medida en el grupo a intervenir) no es muy deseable porque el efecto del tratamiento puede verse enmascarado por cambios estacionales naturales en la población del vector; b) Ausencia de replicas o repeticiones. Como norma estadística un experimento debe repetirse por lo menos 2 veces; c) Tamaño de muestra pequeño; y d) Diferencias entre tratamientos en las condiciones iniciales de la variable a medir (entomológica o epidemiológica).

En Colombia son pocos los estudios publicados en control vectorial de la leishmaniasis, sobre todo si se tiene en cuenta la importancia de la enfermedad como problema de salud pública y la complejidad de los ciclos epidemiológicos, producto de la variedad tanto de especies de *Lutzomyia* vectores, como de especies de *Leishmania*. La gran mayoría de estudios son evaluaciones entomológicas sobre eficacia (pruebas controladas en laboratorio y campo), el resto son de efectividad (pruebas en campo bajo condiciones normales) a pequeña escala. Ningún estudio ha evaluado simultáneamente variables entomológicas y epidemiológicas.

La complejidad epidemiológica mencionada muestra que es necesario realizar más investigaciones epidemiológicas en los diferentes focos de la enfermedad sobre aspectos importantes para el control en la biología, ecología y comportamiento de las especies vectores. El conocimiento producto de estas investigaciones es indispensable para el desarrollo de nuevas medidas de control.

Rociamiento de viviendas

El rociamiento de viviendas con insecticida residual ha sido la medida de control vectorial más usada contra especies de flebótomos endofílicos. Por ejemplo en Brasil el rociamiento de viviendas con DDT o deltametrina es la herramienta más importante para el control de la LV. Varios estudios a nivel mundial han mostrado el impacto del rociamiento sobre la transmisión de la leishmaniasis. En el nuevo mundo el rociamiento de viviendas ha sido efectivo para controlar especies endofílicas como *L. verrucarum*, *L. peruensis* (Davies *et al.* 2000b) y *L. intermedia* (Falcao *et al.* 1991); mientras en el viejo mundo el rociamiento ha sido efectivo contra *P. papatasi* (Benzerroug *et al.* 1992). Pruebas de campo han mostrado efectos del rociamiento tanto entomológicos, reducción de la abundancia intradomiciliar de flebótomos (Davies *et al.* 2000b, Falcao *et al.* 1991, Le Pont *et al.* 1989) como epidemiológicos, reducción significativa en la incidencia de LC (Davies *et al.* 2000; Reyburn *et al.* 2000).

En Colombia se han publicado dos estudios a pequeña escala sobre el efecto entomológico del rociamiento intradomiciliar en vectores de LC. Ambos estudios fallaron en mostrar un efecto positivo

de la medida. En el Valle del Cauca un estudio que evaluó el efecto de la fumigación con deltametrina mostro, inesperadamente, una mayor abundancia de *L. youngi*, capturadas con trampas adhesivas, en las viviendas fumigadas comparadas con viviendas control (n = 6) (Alexander 1995a). Además capturas con atrayente humano no mostraron diferencias significativas entre tratamientos. En el Huila en donde junto con la evaluación del efecto del rociamiento intradomiciliar con lambdacyhalotrina, se evaluaron toldillos impregnados con el mismo ingrediente activo, se encontró una aparente reducción, aunque no significativa, en la abundancia de *L. longiflocosa* en las viviendas rociadas (n = 16) y una reducción significativa en el número promedio de hembras de *L. longiflocosa* con sangre, llenas de sangre y en el índice de sangre humana (ISH) (Pardo 2006a). Sin embargo, los efectos en las hembras con sangre aparentemente no fueron reales sino producto de fallas en el método de captura, Trampas CDC, cuya eficiencia se vio afectada por el rociamiento. Esto por las siguientes razones: a) capturas hechas con atrayente humano en los mismos sitios mostraron tasas de picadura similares entre las viviendas fumigadas y el control 5,9 vs. 5,8 hembras/persona/2,5h, respectivamente y b) la razón trampas CDC : capturas con atrayente humano, en las viviendas rociadas fue mucho menor, (5,4) comparada con los controles (9,7). Esto indica que las trampas fueron menos efectivas en la captura de flebótomos en las viviendas rociadas con insecticida. En estas viviendas las hembras de *L. longiflocosa* pudieron entrar sin reposar sobre las paredes, picar a las personas y luego reposar en las paredes, por la tendencia natural a reposar después de alimentarse, sitio en donde muchas posiblemente fueron derribadas, reduciéndose así la posibilidad de que fueran atrapadas por la trampa CDC. Esto explica la reducción en las variables asociadas con la ingestión de sangre. Resultados y explicación similares fueron dados al evaluar el rociamiento intradomiciliar para el control de *L. verrucarum* en Perú (Davies *et al.* 1995). Los resultados inesperados obtenidos en la evaluación realizada en el Valle del Cauca también se podrían explicar, como lo sugiere el autor, en que el método de captura, trampas adhesivas, fue afectado por el rociamiento. Se concluye que en evaluaciones de medidas de control se debe tener cuidado con los posibles efectos que el tratamiento a evaluar pueda tener sobre el método de captura. En la evaluación del rociamiento con las trampas CDC estas pueden reducir su eficiencia de captura y por lo tanto conducir a subestimar la densidad de flebótomos, en particular con especies con tendencia exofílica. En las trampas adhesivas, sucede aparentemente lo contrario, la trampa aumenta su eficiencia, y por consiguiente provoca una sobreestimación en la densidad de flebótomos.

Mosquiteros impregnados

Los mosquiteros o toldillos han sido utilizados por la humanidad desde tiempos inmemoriales. Los toldillos pueden proteger a las personas estando o no impregnados con insecticidas. En Nepal el uso de toldillos no impregnados redujo significativamente la tasa de toma de sangre y el ISH de *P. argentipes*, vector de LV (Picado *et al.* 2009). En el mismo país, se encontró que el uso regular de toldillos no impregnados es un factor de protección significativo contra esta enfermedad (Bern *et al.* 2000). Toldillos impregnados con insecticida, TI, y más recientemente con insecticida de larga duración, TILD (efectivos después de tres años de uso o de 20 lavadas), se han introducido como una alternativa de control vectorial al rociamiento. Comparados con el rociamiento los TI tienen las siguientes ventajas: a) Su efectividad es independiente del comportamiento endifílico / exofílico de los vectores, b) Se usa menos insecticida y c) Hay participación de la comunidad en el control. Además, para malaria se ha encontrado que si hay un amplio cubrimiento de la población, los TI pueden llegar a reducción de la densidad de la población del vector y como consecuencia proteger a comunidades enteras, incluyendo personas no usuarias de los toldillos (Curtis *et al.* 2006, Maxwell *et al.* 2002). Este efecto no se ha demostrado para leishmaniasis.

Varios estudios han mostrado la eficacia y efectividad de los TI. En cuanto a la eficacia, en Sudan Elnaiem *et al.* (1999) compararon en campo abierto TI con toldillos no impregnados y no uso de toldillos. Se encontró que los toldillos impregnados con lambdacyhalotrina proporcionaron una protección total (0 picaduras) contra *P. orientalis*. Con relación a la efectividad se ha encontrado que el uso de TI reduce la incidencia de LC. En Afganistan Reyburn *et al.* (2000) mostraron una reducción en la incidencia de LC de 7,2% en el grupo control a 2,4% en las viviendas con toldillos. En Siria (Tayeh *et al.* 1997) la incidencia, tres años después de la intervención, se redujo de 6,1% en el grupo control a 1,2% en el grupo tratado con insecticida.

En Colombia los estudios de eficacia de los TI se reducen a dos, ambos comparando TI con toldillos sin impregnar. En el Valle del Cauca Alexander *et al.* (1995b) encontraron que el número de flebótomos (principalmente *L. youngi*) picando dentro de un TI impregnado con deltametrina, 0,26 /persona/h, fue significativamente más bajo comparado con el número de flebótomos, 0,69/ persona/h, en el interior de toldillos sin impregnar. Un resultado similar fue observado por Pardo (2006a) en el Huila con TI impregnado con lambdacyhalotrina para *L. longiflocosa*. En este último estudio además se encontró una reducción significativa en la tasa total de picadura de *L. longiflocosa* en el TI, 3 hembras/persona/3h comparado con el control, 15 h/p/3h. Este patrón también se observó para la tasa de picadura afuera de los toldillos, con un efecto protector para el TI de 80%, lo que indica que personas durmiendo en la misma habitación, pero afuera del TI, también son protegidas. La comparación del porcentaje de flebótomos dentro de los toldillos no presentó diferencias significativas sugiriendo falta de efecto repelente de la lambdacyhalotrina. El efecto letal del TI fue alto con mortalidades inmediata del 69% y a las 24 h del 99%. Con relación a la efectividad, un estudio a pequeña escala en el Huila (Pardo *et al.* 2006b), en donde también se evaluó el rociamiento como se indicó en la sección anterior, encontró que en viviendas con TI con lambdacyhalotrina se redujo, aunque no significativamente, la abundancia de *L. longiflocosa* (n = 16) y de forma significativa el número promedio de hembras con sangre, hembras llenas de sangre y el ISH. A diferencia de los resultados del rociamiento, los de los TI en este estudio parecen ser reales. Esto se apoya en que la tasa de picadura de *L. longiflocosa* fue menor en las viviendas con TI, 2,0 hembras/persona /2,5 h que en las viviendas control, 5,8 hembras/persona/2,5 h. Además la razón trampas CD : capturas con atrayente humano, fue muy similar en ambos tratamientos. En Boyacá, en otro estudio a pequeña escala, también con lambdacyhalotrina, los TI redujeron significativamente la abundancia intradomiciliar (razón: pos-intervención/pre-intervención) de *L. trapidoi* y *L. gomezi* en una comparación, a nivel de vivienda (n = 23) (Tibaduiza 2005). Solo un estudio ha evaluado el efecto epidemiológico de los TI en Colombia pero sin éxito en demostrar reducción en la variable evaluada (Rojas *et al.*, 2006). En el estudio, realizado en Tumaco (Nariño), se encontró en comunidades intervenidas con TI, además de otras medidas, un aparente menor número de casos de LC, 10 casos, comparado con 23 casos en comunidades del grupo control (n = 10). Sin embargo, las diferencias no fueron significativas. A pesar de que el estudio sugiere la posibilidad de un efecto epidemiológico debido a la intervención, sus resultados no se pueden atribuir al uso de los TI debido a que se aplicó una combinación de medidas.

Los TILD son una alternativa de control muy interesante porque estos toldillos tienen la ventaja de no necesitar reimpregnación como los TI convencionales lo que podría reducir costos operacionales a mediano plazo. Debido a que son un producto introducido en el mercado recientemente y a sus características técnicas que requiere de un periodo de evaluación largo, solo hasta este año se han empezado a publicar los resultados de los primeros estudios con TILD para leishmaniasis. La eficacia de los TILD se evaluó en Kenia en laboratorio y en un invernadero en campo (Kasili 2010). En ambas pruebas *P. duboscqi* fue capaz de atravesar varios tipos de toldillo (Olyset Net, i.a.: permetrina,

tamaño ojo de malla (o.m.): 9 perforaciones / cm²; PermaNet, deltametrina, o.m.: 25 perforaciones / cm²; y un TI, Supanet, deltametrina, o.m.: 25 perforaciones / cm²) y alimentarse en hámster (laboratorio) y en cabra (invernadero). Aunque la mortalidad para los flebótomos que lograron atravesar los TILD fue baja en el laboratorio (máxima para el toldillo Olyset: 48%), en el invernadero esta fue alta (92 - 99%). El autor atribuye los resultados al ojo de malla grande de los TILD, diseñados para vectores de malaria. La efectividad de los TILD se evaluó a nivel de comunidad (n = 6), en India y Nepal en donde se mostró una reducción significativa del 25% en la densidad / vivienda de *P. argentipes* después de un año de uso de los toldillos PermaNet 2.0 (Picado *et al.* 2010). Aun no dispone de publicaciones sobre el efecto epidemiológico de estos toldillos. En Colombia hasta el momento no hay ninguna publicación en el tema.

Cortinas impregnadas

Muy pocas investigaciones se han realizado con cortinas impregnadas con insecticida, el trabajo más relevante fue realizado en la ciudad de Trujillo, Venezuela (Kroeger *et al.* 2002). En este estudio a gran escala (n = 6 sectores urbanos, 569 viviendas y 2913 habitantes) se mostró que cortinas impregnadas con lambdacyhalotrina redujeron significativamente las variables epidemiológicas y entomológicas evaluadas. La incidencia de LC fue 8% en los sectores control contra 0% en los que recibieron el tratamiento. Además, la abundancia de flebótomos (no discriminación por especie) se redujo significativamente de 15 /trampa en el grupo control a 2 /trampa en el tratamiento.

Ropa impregnada con insecticida

Ropa impregnada con insecticida ha sido evaluada en pruebas de eficacia, generalmente para población de militares con resultados no concluyentes. En Colombia Soto *et al.* (1995) evaluaron, en un estudio aleatorio doble ciego, uniformes impregnados con permetrina para reducir los casos de leishmaniasis en soldados (n = 143). Se encontró una reducción significativa en la aparición de casos de LC del 12% (18/143) en los soldados del grupo control hasta el 3% (4/143) en el grupo de soldados que usaron uniformes impregnados. De otra parte, una evaluación en Iran con el mismo insecticida y un diseño experimental similar no mostro diferencias significativas en el porcentaje de soldados que adquirieron la enfermedad en el grupo control, 6,5% (9/138), y en grupo tratamiento, 4,4% (6/134) (Asillian *et al.* 2002).

Repelentes aplicados sobre la piel

Aunque se han hecho varios estudios sobre el uso de repelentes tópicos contra flebótomos, prácticamente no hay publicaciones al respecto en Colombia. Esto, pese a que es una de las pocas medidas con posibilidades para el control de especies de vectores exofágicas que actualmente son las responsables de más de la mitad de los casos (militares) de LC en el país. El único artículo conocido evaluó la eficacia del jabón repelente Nopikex (20% DEET, 0,5% permetrina) (Alexander *et al.* 1995c). En pruebas de laboratorio el jabón Nopikex mantuvo su poder repelente contra *L. longipalpis* por 4 h el cual se redujo al 67% a las 8h. En las pruebas de campo el coeficiente de protección contra *L. youngi* se redujo con relativa rapidez de 100% al comienzo de las pruebas hasta el 44% después de 4 h.

Otras medidas de control

La evaluación de métodos de control vectorial de la leishmaniasis diferentes a los mencionados anteriormente, todos de tipo químico, como por ejemplo el control biológico y el manejo del medio ambiente prácticamente no han sido explorados en Colombia. Con relación al control biológico, la

única experiencia ha sido la evaluación de la eficacia del hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana* contra flebótomos (principalmente *L. youngi*) de la zona cafetera en el Valle del Cauca (Reithinger *et al.* 1997). El examen histopatológico de insectos silvestres sugirió que el hongo es incapaz de infectar los insectos bajo condiciones naturales y aunque bioensayos en laboratorio mostraron que flebótomos expuestos al hongo, aplicado en plantas de café, mostraron una menor sobrevivencia que los controles, esto no se pudo atribuir al ataque del hongo. Nuevas alternativas de control empiezan a abrirse con el uso de signos químicos sintéticos (feromonas, cairomonas y alomonas) los cuales podrían usarse como atrayentes para mejorar la efectividad de insecticidas, en el mejoramiento de capturas en trampas (Bray *et al.*, 2010) y en la producción de repelentes. En este campo apenas se comienza a hacer algunos ensayos puntuales de los cuales aun no hay resultados publicados. De otra parte, la educación en salud, que muchas veces acompaña las operaciones ordinarias de control vectorial para la leishmaniasis en el país, necesita mayor atención ya que su impacto prácticamente no ha sido valorado.

Propuesta para la evaluación de operaciones ordinarias de control vectorial

Teniendo en cuenta las experiencias de las investigaciones en el control vectorial, las limitaciones de personal y logísticas con que cuentan las instituciones encargadas de las actividades de control, y algunos criterios mínimos de diseño experimental, a continuación se presenta una propuesta de los elementos mínimos que deberían estar incluidos en la evaluación de una operación de control vectorial mediante rociamiento o uso de toldillos en el domicilio y su entorno inmediato.

- Variables: Densidad de flebótomos y/o tasa de picadura en humanos protegidos (preferiblemente registrada a través de una medida indirecta), efecto letal residual (mortalidad 24h o 1h). Además, en lo posible, se debería incluir una variable epidemiológica (e.g. incidencia de la enfermedad).
- Unidad de Muestreo: Vereda. Submuestra del 10% de las viviendas, seleccionadas de las viviendas con mayor abundancia de flebótomos (muestreo pre-intervención).
- Tratamientos: Medida a evaluar y controles (se aplica un tratamiento / vereda). Debe procurarse que el número promedio de flebótomos sea similar en todos los tratamientos en la pre-intervención. Para esto se ordenan las veredas de acuerdo a la abundancia de flebótomos pre-intervención y luego se asignan los tratamientos por parejas de veredas de forma aleatoria. Se pueden utilizar dos tipos de controles: a) En condiciones de endemia: controles temporales (muestreos pre-intervención y pos-intervención) y espaciales (muestreos en diferentes sitios); y b) En condiciones de epidemia: solo controles temporales.
- Técnica de muestreo: Trampas CDC y trampas adhesivas. Tener en cuenta que el tratamiento a evaluar (e.g. rociamiento) puede afectar la eficiencia del método de captura (ver sección sobre rociamiento de viviendas).
- Sitio de toma de muestras: Dormitorios y ocasionalmente el peridomicilio (cuando la medida se aplique en este ambiente).
- Tamaño de muestra: Por lo menos dos veredas por cada tratamiento.
- Frecuencia del muestreo: Por lo menos tres: un muestreo pre-intervención y dos pos-intervención (incluir épocas de lluvia y seca).

La realización exitosa de la anterior propuesta requiere, por lo menos, del trabajo coordinado de un grupo de trabajo dirigido por personal de salud del nivel departamental (Entomólogo de la Unidad de Entomología, Coordinador Programa Control de vectores y Zoonosis y del Coordinador de vigilancia en salud pública) con la participación del nivel municipal (Gerente de Institución de Salud Municipal, ESE, y Técnicos de Saneamiento). Hasta donde sea posible se debe buscar la asesoría o

participación directa en la evaluación de los grupos de investigación que en las diferentes regiones del país trabajan en las ETV.

Conclusiones

En Colombia se han realizado muy pocas investigaciones en el control vectorial de la leishmaniasis incluyendo un porcentaje reducido, 38% (5/13), de las especies vectores o vectores sospechosos. Estas investigaciones se limitan, en su gran mayoría, a la evaluación del efecto entomológico en pruebas de eficacia y efectividad a pequeña escala.

Las operaciones ordinarias de control vectorial están limitadas, básicamente, a la aplicación de dos medidas: el rociamiento de viviendas con insecticidas y el uso de toldillos impregnados o no con insecticida. De ninguna de estas medidas se ha evaluado, a nivel operacional, el impacto entomológico ni epidemiológico por lo que no se puede determinar de qué manera están contribuyendo al control de la leishmaniasis. Con relación al rociamiento, las limitadas investigaciones con que se cuenta indican que no hay evidencias de que esta medida sea efectiva, por lo menos, para el control de *L. longiflocosa*. Esto probablemente aplique para otros vectores con hábito exofílico. Son necesarias muchas más investigaciones para poder aclarar el efecto de este tipo de intervención, en particular contra especies con tendencia endofílica como *L. longipalpis*. En cuanto a los toldillos impregnados, aunque los estudios son también limitados, las investigaciones sobre su eficacia y de efectividad a pequeña escala, indican que esta medida de control podría ser útil para el control de la leishmaniasis. Sin embargo, es necesario demostrar la efectividad de la medida en estudios a gran escala.

Retos para el futuro

Teniendo en cuenta la importancia que por más de 20 años ha tenido la leishmaniasis en Colombia, el sensible incremento de su incidencia en los últimos años y la relativamente limitada, aunque importante, investigación desarrollada hasta el momento sobre esta patología, es urgente que se destine un gran esfuerzo económico, de recurso humano y logístico para su control. Se deben intensificar estudios tanto en investigación básica relevante para el control, como en control vectorial, ampliando el rango de especies de *Lutzomyia* estudiadas.

Se debe implementar a la mayor brevedad una estrategia para la evaluación de las operaciones ordinarias de control. Para esto se debe generar un protocolo guía para la evaluación de las operaciones de control. El documento debe ser el producto del trabajo concertado entre los investigadores con experiencia en el área y los representantes de las instituciones del estado encargadas de dirigir y realizar esta actividad.

Teniendo en cuenta la limitada evidencia científica relacionada con utilidad de las dos medidas (rociamiento y uso de toldillos) utilizadas de rutina en Colombia para las operaciones de control vectorial de la leishmaniasis, es necesario adelantar investigaciones que permitan definir el impacto de las medidas. Para el rociamiento es necesario realizar investigaciones de eficacia y efectividad. Con relación a los TI, se debe evaluar su efectividad entomológica y epidemiológica a gran escala.

Los TILD presentan un desafío para su evaluación en Colombia, teniendo en cuenta el estado de las investigaciones sobre control y la “tradición” de no evaluar las operaciones de control vectorial. La evaluación de los TILD requiere de una mayor inversión de tiempo y por consiguiente de recursos económicos que la evaluación de los TI. Una forma de superar este inconveniente es el afianzamiento o creación de alianzas para realizar las evaluaciones de forma colaborativa entre las

instituciones de salud responsables del control vectorial (Ministerio de la Protección Social, Secretarías de Salud departamentales y municipales) y grupos de investigación. Las instituciones de salud aportarían recurso humano y los insumos y equipos necesarios para aplicar las medidas y los grupos de investigación parte del recurso humano y equipo requeridos para hacer las evaluaciones. Esto permitiría, si las evaluaciones se realizan bajo condiciones de endemia, en donde se pueden incluir controles más adecuados (controles espaciales), hacer evaluaciones de efectividad a gran escala sin la necesidad de depender de la consecución de fondos, relativamente grandes, que se requieren normalmente para adelantar estas investigaciones.

De otra parte, se deben buscar métodos alternativos de control, en especial dentro del campo del control biológico y manejo del medio ambiente. En especial es prioritario dedicar mayores esfuerzos en la búsqueda de nuevos métodos para el control de especies de vectores exofágicas. Un área de investigación interesante son los repelentes naturales que si se obtienen de plantas locales, con baja tecnología y a bajo costo, podrían constituirse en un método sostenible. Otra área que necesita empezar a desarrollarse en el país es el estudio de los signos químicos. La identificación de sustancias atrayentes puede ser aplicada para mejorar la efectividad de insecticidas y de trampas de monitoreo y control. Sustancias identificadas como repelentes pueden usarse en la producción de nuevos repelentes.

Teniendo en cuenta el limitado número de métodos de captura (captura con atrayente humano, trampas de luz CDC y trampas adhesivas) utilizado en las evaluaciones de control vectorial, la inconveniencia ética de utilizar la capturas con atrayente humano y los inconvenientes que algunos de estos métodos (e.g. rociamiento) pueden tener por la posible interferencia de la medida a evaluar, es necesario desarrollar técnicas de muestreo alternativas a las capturas con atrayente humano, las cuales deben ser validadas.

Finalmente, aunque no menos importante, es la necesidad de que el control de la leishmaniasis se desarrolle dentro del marco de un control integral, en donde se articulen diferentes métodos de control para lograr al mayor impacto sobre los vectores y una sostenibilidad a largo plazo.

Literatura citada

- ALEXANDER B.; JARAMILLO C.; CADENA H.; USMA M.C; ROA W. 1995a. An attempt to control phlebotomine sandflies (Diptera: Psychodidae) by residual spraying with deltamethrin in a Colombian village. *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz* 90: 421-424.
- ALEXANDER B.; USMA M.C.; CADENA H.; QUEZADA B.L.; SOLARTE Y.; ROA W.; TRAVI BL. 1995b. Evaluation of deltamethrin impregnated bednets and curtains against phlebotomine sandflies in Valle del Cauca, Colombia. *Medical and Veterinary Entomology* 9: 279-283.
- ALEXANDER B.; CADENA H.; USMA M.C.; ROJAS C.A. 1995c. Evaluation Of a repellent soap containing deet and permethrin against phlebotomine sandflies (Diptera: Psychodidae) in Valle del Cauca, Colombia. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 52: 169-173.
- ASILLAIN A.; SADEGHNIA A.; SHARIATI F.; IMAN J.M.; GHODDUSI A. 2002. Efficacy of permethrin impregnated uniforms in the protection of cutaneous leishmaniasis in Iranian soldiers. *Iranian Journal of Medical Sciences* 27(4): 172-175.
- BENZERROUG E.H.; BENHABYLLES N.; IZRI M.A., BELAHCENE E.K.; 1992. Les pulverizations intra et peri-domiciliaires de DDT dans la lute contre la leishmaniose cutanee zoonotique en Algerie. *Annales de la Societe Belge de Medicine Tropicale* 72: 5-12.

- BERN C.; JOSHI A.B.; JHA S.N.; DAS M.L.; HIGHTOWER A.; THAKUR G.D.; BISTA M.B. 2000. Factors associated with visceral leishmaniasis in Nepal: bed-net use is strongly protective. *The American Journal of tropical Medicine and Hygiene* 63(3): 184-188.
- CORREDOR A.; KREUTZER R.; TESH R.B.; BOSHELL J.; PALAU M.T.; CASERES E.; DUQUE S.; PELAEZ D.; RODRIGUEZ G.; NICHOLLS RS.; HERNANDEZ C.A.; MORALES A.; YOUNG D.G.; FERRO C. 1990. Distribution and etiology of leishmaniasis in Colombia. *The American Journal of tropical Medicine and Hygiene* 42(3): 206-214.
- CURTIS C.F.; MAXWELL C.A.; MAGESA S.M.; RWEGOSHORA R.T.; WILKES T.J. 2006. Insecticide-treated bednets for malaria mosquito control. *Journal of the American Mosquito Control Association* 22: 501-506.
- DAVIES C.R.; REITHINGER R.; CAMPBELL-LENDRUM D.; FELICIANGELI D.; BORGES R.; RODRIGUEZ N. 2000a. The epidemiology and control of leishmaniasis in Andean countries. *Cadernos de Saúde Pública* 16(4): 925-950.
- DAVIES C.; LLANOS-CUENTAS A.; CAMPOS P.; MONJE J.; LEON E.; CANALES J. 2000b. Spraying houses in the Peruvian Andes with lambda-cyhalothrin protects residents against cutaneous leishmaniasis. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene* 94: 631-636.
- DAVIES C.R.; LANE R.R.; VILLESICA P.; PYKE S.; CAMPOS P.; LLANOS-CUENTAS A. 1995. The relationship between CDC light-traps and human-bait catches of endofagous sandflies (Diptera: Psychodidae) in the Peruvian Andes. *Medical and Veterinary Entomology* 9: 241-248.
- ELNAIEM D.A.; ELNAHAS A.M.; ABOUD M.A. 1999. Protective efficacy of lambda-cyhalothrin-impregnated bednets against *Phlebotomus orientalis*, the vector of visceral leishmaniasis in Sudan. *Medical and Veterinary Entomology* 13: 310-314.
- FALCAO A.L.; FALCAO A.R.; PINTO C.T.; GONTIJO C.M. FALQUETO A. 1991. Effect of deltamethrin spraying on the sandfly population in focus of American cutaneous leishmaniasis. *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz* 86(4): 399-404.
- KASILI S.; KUTIMA H.; MWANDAWIRO C.; NGUMBI P.M.; ANJALI C.O. 2010. Laboratory and semi-field evaluation of long-lasting insecticidal nets against leishmaniasis vector, *Phlebotomus* (*Phlebotomus*) *duboscqi* in Kenya. *Journal of Vector Borne Diseases* 47: 1-10.
- KROEGER A.; VILLEGAS A. E.; MORISON L. Insecticide impregnated curtains to control domestic transmission of cutaneous leishmaniasis in Venezuela: cluster randomized trial. *British Medical Journal* 325: 810 – 813.
- LE PONT F.; PADILA J.M.; DESJEUX P.; RICHARD A.; MOUCHET J. 1989. Impact de pulvérisations de deltaméthrine dans un foyer de leishmaniose de Bolivie. *Annales de la Société Belge de Médecine Tropicale* 69: 223-232.
- MAXWELL C.A.; MSUYA E.; SUDI M.; NJUNWA K.J.; CARNEIRO I.A.; CURTIS C.F. 2002. Effect of community wide use of insecticide-treated nets for 3-4 years for malarial morbidity in Tanzania. *Tropical medicine and International Health* 7: 1003-1008.
- MINISTERIO DE SALUD. 1995. Leishmaniasis, Guía Integral de Manejo. Santa Fé de Bogotá, D.C. 81 pg.
- MONTOYA-LERMA J.; FERRO C. 1999. Flebótomos (Diptera: Psychodidae) de Colombia. En: AMAT G.; ANDRADE M.G.; FERNANDEZ F. (eds). *Insectos de Colombia*, Vol: II. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Colección Jorge Álvarez Lleras No. 13. 211-245.
- PADILLA RODRIGUEZ C.J.; GUHL NANNETTI F.; SOTO MANCIPE J.; ALVAREZ URIBE G. 1999. Diagnóstico y Terapéutica de las Enfermedades Transmitidas por Vectores en Colombia. Bogotá: Sociedad Colombiana de Parasitología y Medicina Tropical. 128 pg.

- PARDO R. H. 2006a. The ecology and control of cutaneous leishmaniasis in the sub-Andean region of south-west Colombia. Tesis de PhD, London School of Hygiene and Tropical Medicine, University of London. 311 pg.
- PARDO PUENTES R. 2006b. Efectividad de toldillos impregnados con insecticida y la fumigación intradomiciliar para el control de la leishmaniasis cutánea en la región subandina del departamento del Huila, Colombia. En: YADON Z.E., ZICKER F., SALOMON O.D. (eds). Programa de Pequeños Subsidios en Enfermedades Tropicales (Informes Finales 1995-2004). Organización Panamericana de la Salud (OPS) y Special Programme for Research & Training in Tropical Diseases (TDR). 215-224.
- PICADO A.; KUMAR V.; DAS M.; BURNISTON I.; ROY L.; SUMAN R.; DINESH D.; COOSEMANS M.; SUNDAR S.; SHREEKANT K.; BOELAERT M.; DAVIES C.; CAMERON M. 2009. Effect of untreated bed nets on blood-fed *Phlebotomus argentipes* in kala-azar endemic foci in Nepal and India. Memorias do Instituto Oswaldo Cruz 104(8): 1183-1186.
- PICADO A.; DAS M.L.; KUMAR D.; KESARI S.; DINESH D.S.; ROY L.; RIJAL S.; DAS P.; ROWLAND M.; SUNDAR S.; COOSEMANS M.; BOELAERT M.; DAVIES C.R. 2010. Effect of village- wide use of long-lasting insecticidal nets on visceral leishmaniasis vectors in India and Nepal: A cluster randomized trial. PLOS Neglected Tropical Diseases 4(1): 1-9.
- REYBURN H.; ASHFORD R.; MOHSEN M.; HEWITT S.; ROWLAND M. 2000. A randomized controlled trial of insecticide-treated bednets and chaddars or top sheets, and residual spraying of interior rooms for the prevention of cutaneous leishmaniasis in Kabul, Afganistan. Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene 94(4): 361-366.
- ROJAS C.A.; WEIGLE K.A.; TOVAR R.; MORALES A.L.; ALEXANDER B. 2006. A multifaceted intervention to prevent american cutaneous leishmaniasis in Colombia: results of a group-randomized trial. Biomedica 26(supl. 1): 152-66.
- REITHINGER R.; DAVIES C.R.; CADENA H.; ALEXANDER B. 1997. Evaluation of the fungus *Beauveria bassiana* as a potential biological control agent against phlebotomine sandflies in Colombian coffee plantations. Journal of Invertebrate Pathology 70: 131-135.
- SARAVIA N.G.; NICHOLLS R.S. 2006. Leishmaniasis: un reto para la salud pública que exige concentración de voluntades y esfuerzos. Biomedica 26 (supl. 1): 7-9.
- SOTO J.; MEDINA F.; DEMBER N.; BERMAN J. 1995. Efficacy of permethrin-impregnated uniforms in the prevention of malaria and leishmaniasis in Colombian soldiers. Clinical Infectious Diseases 21: 599-602.
- TIBADUIZA T.E. 2005. Evaluación del uso de toldillos impregnados con piretroide como medida para reducir la abundancia intradomiciliar de especies del género *Lutzomyia*, implicadas en la transmisión de leishmaniasis cutánea, en el municipio de Pauna, Boyacá. Tesis de MSc, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de medicina, Bogotá. 72 pg.
- TAYEH A.; JALOUK L.; MADINI A-KA. 1997. A cutaneous leishmaniasis control trial using pyrethroid-impregnated bednets in villages near Aleppo, Syria. WHO/LEISH/97.41. 41P.

Mosquitos asociados a guadua en algunas zonas rurales de Colombia

Mosquitoes associated with bamboo in certain rural regions of Colombia

Carolina Torres Gutiérrez, MSc.

Profesor, Investigador - Unidad de Entomología Médica, Programa de Estudio y Control de Enfermedades Tropicales – PECET, Facultad de Medicina, Universidad de Antioquia.

Introducción

“La guadua es un bambú espinoso del grupo de las gramíneas que se encuentra únicamente en América y reúne aproximadamente 36 especies distribuidas desde México hasta Argentina y desde el nivel del mar hasta los 2.200 m. La especie *Guadua angustifolia* se caracteriza por su gran tamaño, alcanzando los 30 m de altura y hasta 23 cm de diámetro”. Esta definición es divulgada en la exposición permanente sobre *Guadua* en el Museo Quimbaya, en Armenia, Quindío. En esta misma exposición, se reúnen características generales e importantes de esta planta ampliamente distribuida en Colombia:

De acuerdo a lo relatado por Londoño (1998; 2001) y Pérez (2006), los científicos Humboldt y Bonpland la clasificaron en 1801 a su paso por el Quindío, como *Bambusa guadua* o *Nastus guadua*. Kunth, la clasificó en 1822 como *Guadua angustifolia*.

“En Colombia, la *guadua angustifolia* está presente en las tres cordilleras, desde el norte de Santander hasta Nariño. Se estiman 51.000 hectáreas cubiertas por guaduales, con mayor concentración en la región del Eje Cafetero. Los rangos de temperatura ideales para su crecimiento son entre 20 y 26 °C y régimen de lluvias de 1.800 a 2.500 mm por año” (Museo Quimbaya, sala de exhibición temática sobre *Guadua*). De acuerdo al catálogo nacional de biodiversidad (Instituto A.von Humboldt), del terreno total de *guadua* en el país, el 95% son guaduales naturales y el 5% son cultivados. Este catálogo menciona a los departamentos de Antioquia, Cauca, Caldas, Cundinamarca, Huila, Quindío, Risaralda, Tolima y Valle del Cauca como los puntos donde se concentra la existencia de estos pastos gigantes, con mejor documentación sobre su distribución. La especie *G. angustifolia* crece naturalmente en Colombia, Ecuador y Venezuela.

Como se relaciona la *Guadua* con los mosquitos?

Para responder esta pregunta, debemos recordar el ciclo de vida de los mosquitos, insectos que pertenecen a la familia Culicidae del orden Diptera. Los estadios inmaduros de los mosquitos usualmente ocurren en ambiente acuáticos diversos, incluyendo algunas estructuras vegetales que por su forma y desarrollo permiten la acumulación de agua.

Los pequeños cuerpos de agua que se originan al interior o sobre diferentes estructuras de las plantas (axilas, brácteas, troncos, hojas, frutos, flores, etc), son denominadas como fitotelmata (Machado-Allison *et al.*, 1986; Louton *et al.*, 1996; Greeney, 2001). El término fitotelmata fue establecido por Varga (1928) y abarca a muchos tipos de plantas, tales como bromelias, bambúes y platanillos, entre otros (Derraik, 2005). Al ser estos pequeños cuerpos de agua permanentes o semi permanentes, permiten el desarrollo de diversos organismos, entre éstos dípteros, odonatos, coleópteros, protozoos, rotíferos, nemátodos, bacterias, hongos y algunas algas, entre otros

(Maguire, 1971; Mogui y Suzuki, 1983). Algunos autores han señalado que las especies de dípteros predominan en las comunidades que habitan en los cuerpos de agua contenidos en los entrenudos y “tocones” o tallos cortados de la guadua y entre éstos, las especies de Culicidae muestran mayor diversidad (Louton *et al.*, 1996; Maguire, 1971; Mogi y Suzuki, 1983). Sin embargo, otras familias de Diptera mencionadas por Louton *et al.* (1996) habitando estos mismos microhábitats formados por orificios en tallos de bambú, corresponden con Ceratopogonidae, Psychodidae, Syrpidae y Tipulidae.

Algunos factores que influyen la incidencia y abundancia de las comunidades de invertebrados que habitan los “huecos de árboles” y entrenudos de bambú, corresponden con la intensidad de la precipitación, la temperatura del agua, las propiedades químicas del agua, el tamaño del orificio en bambú o en troncos de árboles, cantidad de materia orgánica disponible, tasa de desecación y nivel de agua al interior del orificio o perforación (Paradise, 2004). Estos factores pueden variar según la época del año y las características propias de cada región geográfica, sin embargo, se ha resaltado que el tamaño del orificio es el factor que determina la entrada de varias especies al interior de los troncos de árboles o tallos de bambú. Por otro lado, el nivel de agua contenido al interior de dichos microhábitats influye en gran medida la riqueza de especies que aprovechan estos fitotelmata, así como el tiempo durante el cual ocurren en dichos microhábitats (un mayor nivel de agua permanecerá más tiempo). De acuerdo con el estudio de Paradise (2004), un nivel de agua alto y relativamente constante, sostendrá mayor riqueza de especies, no sólo de insectos, sino de varios microorganismos.

Sobre el origen de los orificios en los tallos de bambú, Louton *et al.* (1996) aportaron gran cantidad de información, reunida a partir de estudios en zonas boscosas del Perú (Reserva de Manu, Pakitza). En sus registros, señalan al tetigónido *Leiobliastes laevis*, como un insecto capaz de perforar los tallos jóvenes de bambú y ovipositar en su interior. Este orificio inicial causado por un saltamontes, ocurre sobre los tallos jóvenes de bambú, cuando el tejido aún es blando. Posterior a la abertura del orificio, siguen algunos pasos hipotéticos propuestos por Louton *et al.* (1996), tales como: posterior desgaste de las cicatrices de oviposición dejadas por los saltamontes que iniciaron la perforación de un tallo joven, provocando que el tejido vegetal sobre el cual se desarrolló dicha postura, se deteriore más fácilmente, hasta descubrir aberturas muy pequeñas que se van uniendo por el paso y efecto de otros insectos que intentan también ingerir la pared del bambú, o entrar y salir del orificio creado por el tetigónido (perforación secundaria de tallos).

Una vez que se forman algunos orificios sobre tallos jóvenes del bambú, una gran variedad de insectos iniciarán oviposición al interior de un entrenudo perforado. El metabolismo del bambú permite que este tipo de planta acumule agua en su interior, siendo posible que el tallo (o culmo) joven, una vez perforado, pueda inmediatamente ofrecer un microhábitat conveniente para diversidad de artrópodos previamente mencionados (Louton *et al.* 1996). Como se destacó anteriormente, entre los insectos que explotan los fitotelmata contenidos en plantas de bambú, los mosquitos (Culicidae) son especialmente frecuentes, gracias a sus diversas estrategias de oviposición. Bentley y Day (1989) identificaron cuatro estrategias principales en que los mosquitos ovipositan, estas son: 1) Algunas especies depositan huevos sobre la superficie del agua durante el vuelo, en cuyo caso los huevecillos son dirigidos con gran precisión al lugar elegido de postura (Ejemplo: géneros *Toxorhynchites*, *Sabethes*, algunos *Anopheles* y *Wyeomyia*); 2) Postura de los huevos en grupos a manera de “balsas” sobre la superficie del agua (Géneros *Culex* y *Trichoprosopon*); 3) Postura de huevos individuales sobre la superficie del agua o arriba del nivel de la misma (*Aedes*, *Anopheles*, *Limatus*, *Wyeomyia* entre otros); y 4) Oviposición de grupos de huevos sobre sustratos vegetales, usualmente por debajo de la superficie del agua (*Mansonia*).

De manera general, los géneros y especies de mosquitos más frecuentes en entrenudos y tocones de bambú, son un numeroso grupo que incluye: *Aedes albopictus*, *Aedes aegypti*, y especies de los géneros *Sabethes*, *Wyeomyia*, *Trichoprosopon*, *Limatus*, *Anopheles*, *Toxorhynchites*, *Culex* (*Carrollia*) y *Orthopodomyia*, entre otros varios. De este conjunto, se resalta que los inmaduros de especies del género *Toxorhynchites* son de hábito predador y consumen otras larvas de culícidos como fuente alimenticia.

El papel de los tocones de bambú, como potenciales criaderos de mosquitos Culicidae, depende directamente de la forma en que éste es cortado, cuando tiene el tiempo suficiente de desarrollo, y es extraído para varios fines (cercas, artesanías, estructuras de construcción, uso doméstico, etc); si el tallo es cortado por encima o por debajo de sus nudos, el fragmento de tallo (culmo) hueco, que queda en el suelo, acumulará agua y así se convertirá en un criadero de mosquitos y otros insectos. Por el contrario, cuando el corte se hace justamente a la altura del nudo, sin dejar superficie cilíndrica hueca, que acumule agua, se controlará la formación de criaderos. Sin embargo, esta relación mosquitos-tocones de bambú no es debidamente conocida por quienes manejan las plantaciones (“guadueros”) y hacen los cortes de estas plantas. Por esta razón, el corte adecuado de la guadua, debe ser difundido entre las comunidades rurales, señalando su importancia en salud pública.

Antecedentes sobre mosquitos de Guadua en Colombia

Existe gran cantidad de información sobre especies de mosquitos Culicidae de importancia médica, asociadas a criaderos de bambú, principalmente para países como Venezuela, Brasil y Japón, entre otros. Esta literatura señala la ocurrencia de *Aedes albopictus*, *Aedes aegypti*, especies de los géneros *Culex*, *Trichoprosopon*, *Wyeomyia*, *Limatus*, *Haemagogus* y *Toxorhynchites*, asociadas a criaderos en bambú (Mogui & Suzuki, 1983; Machado-Allison *et al.*, 1986; Kitching, 1987; Louton *et al.*, 1996; Navarro, 1998; Zequi & Lopes, 2001; Silva *et al.*, 2004; Zequi *et al.*, 2005; Yanoviak *et al.*, 2006).

Para Colombia existen registros muy puntuales, de años anteriores, documentando la presencia de algunas especies de importancia médica (*Aedes albopictus*, *Trichoprosopon digitatum*, *Wyeomyia melanocephala*, *Haemagogus anastasionis*, *Haemagogus janthinomys*, *H. equinus*, *H. celeste*) en criaderos de bambú. Los criaderos documentados corresponden con entrenudos y tallos cortados de bambú (tocones) (Roca-García, 1944; Arnell, 1973; Heinemann y Belkin, 1978; Vélez *et al.*, 1998; Hastriter *et al.*, 1998). Aún cuando el tema sí cuenta con registros de mosquitos, es necesario profundizar en la relación mosquitos-guadua (e incluso mosquitos-fitotelmata), ya que tanto los culícidos como la guadua presentan gran abundancia y diversidad en nuestro país.

Investigación Actual en Colombia

Proyectos vigentes:

En el contexto expuesto anteriormente, es relevante dirigir iniciativas de investigación que estudien la relación entre la guadua y la ocurrencia y riqueza de mosquitos Culicidae.

Las iniciativas actuales de investigación reúnen varios proyectos que involucran diferentes entidades como: Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, específicamente el Grupo de Sistemática Molecular; la Universidad de Antioquia, específicamente el Grupo PECET, y el Grupo de Entomología Médica, y el Centro para el Control y Prevención de Enfermedades de Atlanta (Centers for Disease Control and Prevention - CDC).

El trabajo colaborativo establecido entre estas instituciones desarrolla actualmente dos proyectos de investigación nacionales y un proyecto internacional que cuentan con la financiación de Colciencias, de la Fundación para la Promoción de la Investigación y la Tecnología del Banco de la República y el Centers for Disease Control and Prevention (CDC) de Atlanta, respectivamente.

Zonas de estudio y muestreo:

En el marco de este trabajo conjunto se han dirigido actividades en algunas zonas rurales colombianas en los departamentos de Antioquia, Caldas y Quindío principalmente. En estas regiones se han realizado muestreos en zonas de mayor abundancia de guaduales en áreas rurales y ocasionalmente en áreas periurbanas, en donde se ha recolectado muestras provenientes de tallos de guadua perforada, de tocones o tallos cortados, y de tallos de guadua caídos, en proceso de descomposición. Estos tres tipos de estructuras se han evaluado para determinar su papel como criaderos de mosquitos Culicidae. La especie de guadua objeto del estudio es la *Guadua angustifolia*, especie muy común y ampliamente distribuida en Colombia. El tiempo de estudio de las iniciativas de investigación mencionadas, completa hasta la fecha, dos años de trabajo.

Los municipios incluidos hasta la fecha, en las jornadas de muestreo en campo, corresponden con: Jardín e Hispania, en Antioquia; Anserma, Chinchiná y Manizales en Caldas; y Salento en Quindío. En estos municipios se han localizado las áreas de mayor densidad de guaduales en zonas rurales y ocasionalmente, en zonas periurbanas. Para la localización de los guaduales se entró en contacto con las oficinas de ordenamiento territorial en cada departamento.

Esquemas metodológicos:

En los guaduales seleccionados para el muestreo de mosquitos, se realizaron transectos de extensión variable, que dependieron del tamaño de los guaduales, y únicamente se muestreó aquellas estructuras de la guadua (tronco, tocones) en tallos vivos o en descomposición (guadua caída), que tuvieran agua acumulada. El muestreo tiene como objetivo recolectar todos los inmaduros de mosquitos presentes (larvas y pupas) en las diferentes estructuras de la guadua. El agua de cada punto de muestreo fue recolectada con pipetas (elementos de succión) grandes y depositada en bolsas plásticas de cierre hermético, debidamente marcadas. Las bolsas de cada criadero se transportaron hasta una estación de campo, donde el material fue separado, registrado y codificado en formularios para posteriormente transportarlo al laboratorio para su cría e identificación.

Debido a que la extensión de los guaduales es variable, se estableció una relación constante tiempo/hombre para ejecutar los muestreos y así, en cada localidad (de cada municipio), un investigador realizó colectas en un tiempo máximo de cinco horas por día. El número de investigadores en campo varió entre dos y tres personas por cada guadual.

El material biológico colectado en campo fue criado en condiciones de laboratorio. Esta cría de los mosquitos inmaduros, en laboratorio, implicó seguir una serie de procedimientos ya estandarizados (datos no publicados) que permiten garantizar el desarrollo de larvas y pupas hasta adultos, además de conservar diferentes estadios de desarrollo (larva, exuvias y adultos) para realizar estudios taxonómicos confiables (Gafiggan y Pecor, 1997).

El material colectado en campo y criado en laboratorio, fue objeto de estudios taxonómicos a partir de la observación de caracteres morfológicos (larvas, exuvias, pupas, hembras y genitalia de machos) y recientemente, también se han iniciado estudios con un marcador molecular mitocondrial: citocromo oxidasa I (COI).

La identificación taxonómica se realizó siguiendo las claves taxonómicas, descripciones y revisiones elaboradas por varios autores: Dyar (1928), Lane (1953; 1965), Lane y Cerqueira (1942), Forattini (1962; 1965; 1996; 2002), Berlin y Belkin (1980), Zavortink (1968; 1981), Valencia (1973), Cova-García *et al.* (1966), González y Carrejo (2007), González y Darsie (1996). Fernández *et al* (2006), Harbach y Kitching (1998), Harbach (1994; 2007), Judd (1996).

Adicionalmente, especialistas en la identificación de diversos grupos de Culicidae, tales como Charles H. Porter (Centers for Disease Control and Prevention, CDC-Atlanta -USA), Thomas Zavortink (Universidad de California Davies -USA) y Monique Motta (Fundação Oswaldo Cruz – Fiocruz - Rio de Janeiro (Brasil)), confirmaron algunas especies mediante envío de muestras y material fotográfico.

Especies encontradas:

Los resultados obtenidos son de gran interés para el país porque aportan evidencia suficiente para señalar la guadua como criadero de mosquitos de la familia Culicidae.

I. La lista de especies encontradas en diferentes estructuras de la guadua (troncos vivos y caídos y tocones) corresponde con nueve especies y otras varias en proceso de identificación y descripción:

Culex (Carrollia) antunesi Lane & Whitman

Culex (Carrollia) secundus Bonee-Wepster & Bonne

Culex (Carrollia) bihaicolus Dyar & Nunez Tovar

Trichoprosopon compressum Lutz

Trichoprosopon digitatum (Rondani)

*Orthopodomyia albicosta** Lutz

*Wyeomyia oblita** Lutz

Sabethes (Peytonulus) undosus Coquillett

Limatus durhamii Theobald

Anopheles (Anopheles) eiseni Coquillett

* De esta lista de especies, *O. albicosta* y *W. oblita* son registros nuevos para Colombia.

II. Algunas especies aun no identificadas, debido a dificultades taxonómicas (complejos de especies, insuficiente información) o posibles nuevas especies, son:

Toxorhynchites spp.

Sabethes (Peytonulus) sp.

Trichoprosopon spp. –complejo Pallidiventer- Zavortink (1979, 1981)

Wyeomyia sp.

Para la identificación de éstas especies hay estudios en proceso, que mediante elementos de taxonomía clásica y técnicas moleculares recientes, serán abordadas hasta llegar al nivel específico o cuando así se requiera, a la descripción de especies nuevas. Adicionalmente, existe todavía una gran cantidad de material que está siendo criado y procesado, por lo que se espera complementar esta lista inicial en un futuro próximo.

Características de las especies encontradas en *Guadua angustifolia*:

Género *Culex* Linnaeus, 1758

subgénero *Carrollia* Lutz :

De acuerdo con Valencia (1973), las especies del subgénero *Carrollia* son mosquitos silvestres, restringidos a áreas tropicales y subtropicales, de bosques húmedos y bosques de niebla. Los adultos tienen hábitos diurnos pero han sido rara vez colectados en estadios adultos (mediante uso de trampas con cebo). Sobre los estadios inmaduros se puede decir que las especies de éste subgénero se desarrollan en criaderos diversos que incluyen brácteas de plantas como Heliconias, axilas de hojas y bromelias. Algunas hojas y frutos caídos con agua acumulada también pueden ser explotados como sitios de cría; al igual que tocones de bambú (frecuentemente) e incluso huecos en árboles.

Algunas especies con gran capacidad de dispersión pueden aprovechar incluso criaderos artificiales de varias clases (madera, metal, vidrio, plástico e incluso cemento). Las trampas elaboradas con fragmentos de bambú se consideran exitosas para colectar inmaduros de este subgénero. Es común encontrar algunas especies en simpatria, utilizando el mismo hábitat. La información disponible señala que las especies de *Carrollia* comparten hábitat con otras especies de mosquitos, incluidas en los géneros *Aedes*, *Culex*, *Trichoprosopon*, *Wyeomyia*, *Toxorhynchites*, *Limatus*, etc.

Las especies encontradas en el presente estudio, *Cx. (Car.) antunesi* y *Cx. (Car.) secundus*, son típicas de criaderos en guadua de zonas silvestres y hasta la fecha no tienen relación conocida con transmisión de agentes patógenos para humanos o animales (Valencia, 1973). La especie *Cx. secundus* fue muy abundante en los muestreos realizados en los diferentes municipios de este estudio. Los individuos de esta especie se colectaron en los diferentes tipos de criaderos evaluados (tocones, entrenudos y guadas caídas).

Género *Limatus* Theobald, 1901:

Son mosquitos con cuerpo de tonalidades metálicas, brillantes, generalmente amarillo y dorados o incluso rojizos. El género comprende 9 especies, distribuidas extensamente por la región neotropical. La explotación de criaderos para los mosquitos de éste género es muy variable, han sido relatados tanto en criaderos naturales (entrenudos de bambú, huecos de árboles, hojas y frutos caídos, bromelias y axilas de plantas), como en recipientes artificiales, siendo frecuente encontrarlos en ambientes antrópicos.

Se ha observado que las larvas son predadoras facultativas. Las hembras son hematófagas diurnas, no muy agresivas para picar a humanos. Según la información existente, la búsqueda de fuentes sanguíneas ocurre principalmente en lugares cerca del suelo, pero no hay información sobre el comportamiento alimenticio de las especies del género. Se han encontrado algunos individuos silvestres infectados con virus (Forattini, 2002).

***Limatus durhami* (Theobald, 1901):**

Especie conocida por su alta tolerancia ecológica, capaz de colonizar diferentes tipos de ecótopos y criaderos. En áreas intervenidas, son de las primeras especies en colonizar, incluso ambientes con alto grado de materia orgánica (Silva *et al.*, 2004). En Colombia, esta especie es ampliamente distribuida y muy común tanto en ambientes rurales como en áreas urbanas, con registros antiguos y recientes (Antunes, 1937; Barreto-Reyes, 1955; Carvajal *et al.* 2009).

La importancia médica de *L. durhamii* fue pobremente señalada en estudios muy antiguos, que no tuvieron el seguimiento adecuado para dilucidar el papel que esta especie cumple en la posible transmisión de virus silvestres (Forattini, 1965). Es de resaltar que Hastriter *et al.* (1998) señalaron a *L. durhamii* vector del virus Caraparu en Brasil y Panamá.

Género *Sabethes* Robineau-Desvoidy, 1827:

El género tiene aproximadamente 20-30 especies distribuídas en la región neotropical, desde Centroamérica hasta Argentina. El desarrollo de sus inmaduros ocurre generalmente en criaderos naturales, como entrenudos de bambú, huecos en árboles, axilas de plantas, troncos cortados y bromelias. Se ha observado con frecuencia que las larvas pueden ser predadoras facultativas de otras especies e incluso puede ocurrir entre individuos de la misma especie.

Los adultos, en general, habitan ecosistemas boscosos, y prefieren el dosel de árboles. Las hembras se han registrado picando a humanos y animales aun cuando no presentan comportamiento agresivo. Las hembras de éste género depositan huevos individualmente sin entrar en contacto con el agua o substrato (Bentley y Day 1989). Galindo (1957) describió un comportamiento especializado de oviposición para la especie *Sabethes (Sabethoides) chloropterus* Humboldt, cuyas larvas habitan huecos de árboles con cuerpos de agua permanentes y aberturas grandes o pequeñas. En una colonia de laboratorio, el autor observó que las hembras disparaban uno o dos huevos simultáneamente, desde el aire, y los dirigían por entre aberturas pequeñas de un contenedor artificial construído de bambú (Louton *et al.*, 1996).

Las especies del género que se consideran de importancia médica, son *S. chloropterus* y *S. belisarioi*, por ser susceptibles a la infección con el virus de la fiebre amarilla (Forattini, 1965).

Sobre la especie *Sabethes undosus* (Coquillett, 1906) en Colombia, ya existía el relato de Heinemann y Belkin (1978), quienes relatan el hallazgo de la misma en cortes de bambú en Puerto López (Meta). Adicionalmente, Valencia (1973) señaló que inmaduros de ésta especie comparten hábitats con individuos de *Culex (Carrollia)*, también en entrenudos de bambú; lo cual fue evidenciado en el estudio actual.

Existe escasa información sobre las especies de éste género en Colombia.

Género *Trichoprosopon* Theobald, 1901:

Este grupo cuenta con aproximadamente 13 especies descritas únicamente. Zavortink (1979, 1979a, 1981) señala la existencia de cuatro complejos de especies: Complejo *digitatum*, *lampropus*, *compressum* y *pallidiventer*.

Los inmaduros del género se desarrollan en criaderos naturales, generalmente asociados a plantas, muy frecuentemente en axilas de plantas, bromélias, brácteas, entrenudos de bambú, huecos de árboles y frutos caídos, entre otros. Presentan distribución tropical desde México hasta Suramérica en donde alcanzan hasta el norte de Argentina (Forattini, 2002).

Los registros sobre la importancia médica de algunas de las especies incluyen estudios de infección natural de especímenes capturados en campo. Se han aislado diferentes tipos de virus: Pixuna, Wyeomyia, Bussuquara, Ilhéus y se sospecha que pueden también infectarse con el virus de la encefalitis de San Luis. De las especies estudiadas, *Tr. digitatum* se ha encontrado picando cebo humano, durante el día, y cerca de asentamientos humanos (Forattini, 2002).

Trichoprosopon (Trichoprosopon) digitatum (Rondani, 1848):

Trabajos como los de Lane (1953), Barreto-Reyes, (1955), Knight y Stone (1977) y Zavortink y Roberts (1983) ya habían documentado la ocurrencia de esta especie en Colombia. Otros estudios documentaron la presencia de la especie en sitios de cría asociados con guadua y otros criaderos naturales, en zonas cercanas a asentamientos humanos, en regiones tropicales (Lane y Cerqueira, 1942; Heinemann y Belkin, 1978; Valencia, 1973; Navarro y Machado-Allison, 1995; Navarro, 1998; Yanoviak, 2001; Yanoviak *et al.*, 2006).

La importancia médica de esta especie en Colombia, considerando los estudios de Roca-García (1944) y Hastriter *et al.* (1998), se basa en dos registros muy puntuales sobre el aislamiento, hace varios años, de los virus Bussuquara y Wyeomyia a partir de especímenes silvestres. Sin embargo, no hay información reciente al respecto. Justamente por lo anterior, resulta de gran interés dirigir nuevos estudios sobre esta especie, considerando su alta abundancia en criaderos de guadua en los diferentes municipios muestreados. Los individuos de esta especie fueron colectados en entrenudos y tocones de guadua, en todos los municipios visitados.

Género *Wyeomyia* Theobald, 1901:

Son mosquitos muy bien distribuidos en la región neotropical y con muy pocas especies en la región Neártica. El género consiste de aproximadamente 91 especies conocidas. Son mosquitos poco estudiados, y de lo que se conoce, los criaderos son silvestres, incluyendo huecos de árboles, cocos partidos, frutos con agua acumulada y estructuras de plantas como aráceas, bromeliáceas, bambú y heliconias con acumulación de agua (fitotelmatas). Las hembras son diurnas y hematófagas, pero no tienen comportamiento agresivo. Su comportamiento es de vuelo lento, rodeando repetidamente a una fuente sanguínea antes de decidirse a picar. Se conoce muy poco sobre preferencias alimenticias de las especies del género, sin embargo, se han colectado individuos mediante cebo humano en zonas silvestres boscosas; aún cuando también se ha registrado que ciertas especies pican animales de sangre fría como lagartos y serpientes (Dyar, 1928; Galindo *et al.*, 1951). Las experiencias de colecta de especies del género en campo señalan que habitan tanto los niveles altos como bajos del bosque. La ocurrencia en ambientes antrópicos es escasa u ocasional.

La importancia médica del género se reconoce porque en estudios anteriores han divulgado el aislamiento de agentes virales de algunas especies silvestres. Hacia los años 40, se aisló un agente viral denominado posteriormente virus Wyeomyia, a partir de especímenes de *W. melanocephala* colectados en bosques de la región oriental de Colombia (Roca-García, 1944). Posteriormente, en Trinidad, se aislaron dos agentes virales, Kairi y Tacaribe, de especímenes de campo (Aitken, 1960; Downs *et al.*, 1963). En Panamá, se encontró el agente viral de la encefalitis de San Luis, también en un lote silvestre de mosquitos de este género (Galindo *et al.*, 1964). A pesar de esta información, el papel de las especies de *Wyeomyia* en la transmisión de virus tropicales es aún incierto (Forattini, 2002).

Sobre la especie *Wyeomyia oblita* (Lutz, 1905), Forattini (1965) indica que tiene preferencia por criaderos en bambú y huecos de árboles, lo cual fue corroborado por nuestro estudio. Corresponde, como anteriormente se señaló, con un nuevo registro para Colombia, encontrado en el departamento de Antioquia.

Las especies del género representan gran interés por los antecedentes como vectores potenciales y abundancia en nuestros registros de colectas en ambientes tanto silvestres como peri-urbanos. Los individuos del género fueron principalmente encontrados en entrenudos de bambú.

Género *Orthopodomyia* Theobald, 1904

De acuerdo con Zavortink (1968), la distribución del género es únicamente tropical, en América y en el suroeste de Asia. Se conocen solo ocho especies. Se considera que los criaderos predilectos de los inmaduros son los huecos de árboles, donde el volumen de agua sea permanente. Las pupas tienden a tener un período mayor de desarrollo (5-8 días). La mayoría de registros de campo sobre el comportamiento de individuos adultos, hacen referencia a mosquitos colectados en reposo, al interior de los huecos de árboles. Algunas observaciones hechas en condiciones de laboratorio indican que los adultos son activos en la noche o en la madrugada y exhiben hábito ornitófilico. Las hembras ovipositan durante la noche y los huevos son depositados sueltos o en grupos.

No se han documentado registros de las especies del género picando humanos, por lo que no se consideran de importancia médica. Sin embargo, su hábito ornitófilico y los registros puntuales de aislamiento de virus de la encefalitis equina del oeste y del este, los sitúa en una posición de gran interés porque probablemente tengan un papel en la transmisión de agentes virales silvestres a especies de aves en áreas boscosas (Zavortink, 1968).

***Orthopodomyia albicosta* (Lutz, 1904):**

Davis (1944) menciona que las larvas de *Orthopodomyia albicosta* son frecuentemente encontradas en entrenudos de guadua, en pequeñas o largas aberturas, como también en algunas axilas de hojas de bromelias. Después de este registro, la especie no había sido hallada nuevamente en criaderos asociados a guadua. Tal y como se señaló anteriormente, esta especie corresponde con un nuevo registro para Colombia.

La frecuencia de esta especie en nuestros registros de campo es irregular, con individuos colectados en los tres tipos de criaderos evaluados en nuestro estudio.

***Anopheles (Anopheles) eiseni* Coquillett, 1902:**

Esta especie cuenta con pocos registros en el país, y la gran mayoría de los mismos corresponden a estudios ya antiguos (Rey *et al.*, 1945; Levi, 1949; Barreto-Reyes, 1955; Quiñones *et al.*, 1987). Según lo descrito por Levi (1949), la especie es común en “la selva, en sitios oscuros”; sus inmaduros se desarrollan en criaderos que son pequeños cuerpos de agua en zonas boscosas, como huecos de árboles, aunque también ocurren en criaderos artificiales.

Los registros existentes de su presencia y distribución en el país, no son muy concretos sobre los tipos de criaderos en donde se colectó esta especie. Quiñones *et al.* (1987) relataron la presencia de esta especie en la costa pacífica colombiana, en criaderos de tipo permanente, estancado y de menos de 100 m². Por su parte, Zetek (1920) relata que las larvas de esta especie se crían usualmente en remansos de arroyos y en huecos de árboles. Según Dyar (1928) la especie se distribuye en América tropical, incluyendo México hasta Panamá, Brasil y Trinidad. En la investigación actual se encontraron algunos especímenes en guadua caída en ambientes intervenidos (cercanos a construcciones urbanas).

Sobre la importancia médica de la especie, Simmons (1937) documentó el hallazgo de un individuo de *An. eiseni* infectado con *Plasmodium vivax* en la región del canal de Panamá.

Literatura citada

- AITKEN, T. H. 1960. A survey of trinidadian arthropods for natural virus infection. *Mosquito News* 20:1-10.
- ANTUNES, P.C.A. 1937. Informe sobre una investigación entomológica realizada en Colombia. *Revista de la Facultad de Medicina*. Vol. VI. N° 2.
- ARNELL, H. 1973. A revision of the genus *Haemagogus*. *Contributions of the American Entomological Institute*. Vol. 10(2). 174pp.
- BARRETO-REYES, P. 1955. Lista de mosquitos de Colombia. *Anales de la Sociedad de Biología*. 7 (2): 94.
- BENTLEY, M.D. Y DAY, J.F. 1989. Chemical ecology and behavioral aspects of mosquito oviposition. *Annual Review of Entomology*, 34: 401-421.
- BERLIN, O.; BELKIN, J. 1980. Mosquito studies (Diptera, Culicidae). XXXVI. Subgenera *Aedinus*, *Tinolestes* and *Anoediopora* of *Culex*. *Contribution of the American Entomological Institute*. 17.
- CARVAJAL, J.C.; MONCADA, L.I.; RODRIGUEZ, M.H.; PEREZ, L.P.; OLANO, V.A. 2009. Caracterización preliminar de los sitios de cría de *Aedes* (*Stegomyia*) *albopictus* (Skuse, 1894) (Diptera: Culicidae) en el municipio de Leticia, Amazonas, Colombia. *Biomédica*, Vol. 29: 413-423.
- COVA-GARCIA, P; SUTIL, E.; RAUSSEO, J. 1966. Mosquitos de Venezuela, Tomo 1 y 2. Publicaciones del ministerio de sanidad y asistencia social de Caracas.
- DAVIS, D. 1944. Larval habitats of some Brazilian mosquitoes. *Revista de Entomologia*, Rio de Janeiro. 55: 221-235.
- DERRAIK, J.G.B. 2005. Mosquitoes breeding in phytotelmata in native forests in the Wellington region, New Zealand. *New Zealand Journal of Ecology*, 29(2): 185-191.
- DOWNS, W. G.; ANDERSON, C. R.; SPENCE, L.; AITKEN, T. H. O. and GREENHALL, A. H. 1963. Tacaribe virus, a new agent isolated from *Artibeus* bats and mosquitoes in Trinidad, West Indies. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. 2: 640-646.
- DYAR, H. 1928. The Mosquitoes of the Americas. The Carnegie Institution of Washington. 4 (159).
- FERNÁNDEZ, L.; HERNÁNDEZ, C.; PÉREZ, R.; QUIROGA, V. 2006. Contribución al estudio de la familia Culicidae de Guatemala: relación y distribución geográfica de las principales especies de la región norte. *Revista Cubana de Medicina Tropical*. 58 (1): 30-35.
- FORATTINI, O. 1962. *Entomologia Médica. Parte general, Diptera, Anophelini*. Facultad de Higiene e saúde pública. Departamento de Parasitologia. 1 (1).
- FORATTINI, O. 1965. *Entomologia Médica. Culex, Aedes e Psorophora*. Editôra da Universidad de São Paulo. 2 (1).
- FORATTINI, O. 1965. *Entomologia Médica. Culicini: Haemagogus, Mansonia, Culiseta. Sabethini. Toxorhynchitini. Arboviroses*. Editôra da Universidad de São Paulo. 3 (1).
- FORATTINI, O. 2002. *Culicidología Médica*. Sao Paulo- Brasil. Editora de la Universidad de São Paulo - EDUSP- .
- GALINDO, P.; CARPENTER, S. J. and TRAPIDO, H. 1951. Ecological observations on forest mosquitoes of an endemic yellow fever area in Panama. *Amer. J. Trop. Med.* 3:98-137.
- GAFFIGAN, T. Y PECOR, J. 1997. Collecting, rearing, mounting and shipping mosquitoes. The Walter Reed Biosystematics Unit, Division of Entomology, Walter Reed Army Institute of Research. Disponible en: http://wrbu.si.edu/docs/mq_crms.pdf (Consultado en abril / 2010).
- GALINDO, P. 1957. A note on oviposition behavior of *Sabethes* (*Sabethoides*) *chloropterus* Humbolt. *Proceedings of the Entomological Society of Washington*. 59: 287-288.
- GALINDO, P.; PERALTA, P. H.; MACKENZIE, R. B. and BEYE, H. K. 1964. St. Louis encephalitis in Panama: a review and a progress report. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. 73:455, 1964.

- GONZÁLEZ, R.; DARSIE, R. 1996. Clave ilustrada para la determinación genérica de larvas de Culicidae de Colombia y el nuevo mundo. Boletín del Museo Entomológico de la Universidad del Valle. 4 (1): 21-37.
- GONZÁLEZ, R.; CARREJO, N. 2007. Introducción al estudio taxonómico de *Anopheles* de Colombia. Clave y notas de distribución. Santiago de Cali.
- GREENEY, H.F. 2001. The insects of plant-held waters: a review and bibliography. Journal of Tropical Ecology 17: 241-260.
- HARBACH, R. 1994. The subgenus *Sabethinus* of *Sabethes* (Diptera: Culicidae). Systematic Entomology. 19 (1): 207-234.
- HARBACH, R.; KITCHING, I. 1998. Phylogeny and classification of the Culicidae (Diptera). Systematic Entomology. 23: 327-370.
- HARBACH, R. 2007. The Culicidae (Diptera): a review of taxonomy, classification and phylogeny. Zootaxa. 1668 (1): 591-538.
- HASTRITER, M.; LAWYER P.; et al. 1998. Disease vector profile Colombia. Defense Pest Management Information Analysis Center. Washington, D.C., Armed Forces Pest Management Board. Disponible en: www.afpmb.org.
- HEINEMANN, S.; BELKIN, J. 1978. Collection records of the project "Mosquitoes of Middle America". 12. Colombia (COA, COB, COL, COM). Mosquito Systematics. 10 (4): 493-539.
- JUDD, D. 1996. Review of the systematics and phylogenetic relationships of the Sabethini (Diptera: Culicidae). Systematic Entomology. 21 (1): 129-150.
- KITCHING, R.L. 1987. A preliminary account of the metazoan food webs in phytotelmata from Sulawesi. Malayan Nature Journal, Vol. 41: 1- 12.
- KNIGHT, K. Y STONE, A. 1977. A catalog of the mosquitoes of the world (Diptera: Culicidae). En: Entomological Society of America, vol. VI no. (1). 621pp.
- LANE, J. 1965. Neotropical Culicidae. Dixinae, Chaoborinae and Culicinae, tribes Anophelini, Toxorhynchitini and Culicini (Genus *Culex* only). Published by the University of Sao Paula, Brazil. 1.
- LANE, J. 1953. Neotropical Culicidae. Tribe Culicini, *Deinocerites*, *Uranotaenia*, *Mansonia*, *Orthopodomyia*, *Aedomyia*, *Aedes*, *Psorophora*, *Haemagogus*, Tribe Sabethini, *Trichoprosopon*, *Wyeomyia*, *Phoniomyia*, *Limatus*, *Sabethes*. Contribution of the American Entomological Institute. 2.
- LANE, J.; CERQUEIRA, N. 1942. Os Sabetíneos da América (Diptera: Culicidae). Arquivos de Zoologia, 3 (6).
- LEVI, R. 1949. Atlas de los Anofelinos Sudamericanos. Tip. de la Sociedad Filantrópica del Guayas. Guayaquil, Ecuador. 206 pp.
- LOUTON, J.; GELHAUS J.y BOUCHARD R. 1996. The Aquatic macrofauna of water-filled bamboo (Poaceae: Bambusoideae: Guadua) internodes in a Peruvian Lowland Tropical Forest. Biotropica 28(2): 228-242.
- MAGUIRE, B. 1971. Phytotelmata: Biota and Community structure determination in Plant-held waters. Annual Review of Ecology and Systematics, vol. 2: 439-464.
- MACHADO-ALLISON, C. E.; BARRERA, R.; DELGADO, L.; GÓMEZ-COVA, C.; NAVARRO, J. C. 1986. Mosquitos (Diptera: Culicidae) de los fitotelmata de Panaquire, Venezuela. Acta Biológica Venezolana 2 (12): 1-12.
- MOGUI, M. y SUZUKI, H. 1983. The Biotic community in the water-filled internode of Bamboos in Nagasaki, Japan, with special reference to mosquito ecology. Japanese Journal of Ecology, 33: 271-279.

- NAVARRO, J. 1998. Fauna de mosquitos (Diptera: Culicidae) del Parque Nacional Cerro El Copey y nuevos registros para La Isla de Margarita, Venezuela. *Boletín Entomológico de Venezuela*. 13 (2): 187-194.
- NAVARRO, J.; MACHADO-ALLISON, C. 1995. Aspectos Ecológicos de *Sabethes chloropterus* Humbold (Diptera: Culicidae) en un bosque húmedo del Edo. Miranda Venezuela. *Boletín Entomológico de Venezuela*. 10 (1): 91-104.
- PARADISE, C. J. 2004. Relationship of water and leaf litter variability to insects inhabiting treeholes. *Journal of the North American Benthological Society*, 23(4): 793-805.
- PÉREZ, A. M. 2006. *Guadua angustifolia* Kunth, 1822. <http://www.siac.net.co/sib/catalogoespecies/especie.do?idBuscar=280&method=displayAAT> (Fichas del catálogo de la diversidad colombiana, Instituto de Investigaciones Biológicas Alexander von Humboldt) (Consultado marzo 2010).
- REY, H.; SOTO, H. & HUFFAKER, C.B. 1945. *Anopheles punctimacula* D. & K. as the vector of malaria in Medellín, Colombia, South America. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. 51 – 25(6): 501- 505.
- ROCA-GARCIA, M. 1944. Isolation of three neurotropic viruses from forest Mosquitoes in eastern Colombia. *Journal of Infectious Diseases*. 75:160-169, 1944.
- SILVA, A.M. DA; NUNES, V. & LOPES, J. 2004. Culicídeos associados a entrenós de bambu e bromélias, com ênfase em *Aedes* (*Stegomyia*) *albopictus* (Diptera, Culicidae) na Mata Atlântica, Paraná, Brasil. *Iheringia, Sér. Zool.*, Porto Alegre, 94 (1): 63-66.
- SIMMONS, J.S. 1937. Observations on the Importance of *Anopheles punctimacula* as a malaria vector in Panamá, and report of experimental infections in *A. neomaculipalpus*, *A. apicimacula* and *A. eiseni*. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. 51-17 (2): 191 – 212.
- VALENCIA, J. 1973. Mosquito studies (Diptera: Culicidae). XXXI. A revision of the subgenus *Carrollia* de *Culex*. *Contributions of the American Entomological Institute*. 9 (4).
- VARGA, L. 1928. Ein interessanter biotoop der Bioconöse von Wasserorganismen. *Biologisches Zentralblatt* 48: 143-162.
- VELEZ, I.D.; QUIÑONES, M.L.; SUAREZ, M.; OLANO V.A.; MURCIA, L.M.; CORREA, E.; AREVALO, C.; PEREZ, L.; BROCHERO, H.; MORALES, A. 1998. Presencia de *Aedes albopictus* en Leticia, Amazonas, Colombia. *Biomédica*. 18(3):192-8.
- YANOVIK, S. 2001. The Macrofauna of Water-filled Tree Holes on Barro Colorado Island, Panama. *Biotropica*. 33 (1): 110-120.
- YANOVIK, S.; LOUNIBOS, L.; WEAVER, S. 2006. Land use affects macroinvertebrate community composition in phytotelmata in the peruvian amazon. *Entomology Society of America. Conservation Biology and Biodiversity*. 99 (6): 1172-1181.
- ZAVORTINK, T. 1968. Mosquito studies (Diptera: Culicidae). VIII. A prodrome of the genus *Orthopodomyia*. *Contribution of the American Entomological Institute*. 3 (2): 1-221.
- ZAVORTINK, T. 1979. Mosquito Studies (Diptera, Culicidae). XXXV. The new sabethine genus *Johnbelkinia* and a preliminary reclassification of the composite genus *Trichoprosopon*. *En: Contrib. Amer. Ent. Inst.*, vol. 17 no. (1), p. 1-61.
- ZAVORTINK, T. 1979a. A reclassification of the Sabethine Genus *Trichoprosopon*. *Mosquito systematics*. *En: American Entomologist Institute Contribution*, vol. 11 no. (4), p. 255-257.
- ZAVORTINK, T. 1981. Species Complexes in the genus *Thichoprosopon*. *Mosquito Systematics*. 13 (1): 82-85.
- ZAVORTINK, T.; ROBERTS, D. 1983. *Trichoprosopon digitatum* - morphology, biology and potential medical Importance. *Mosquito Systematics*. 15 (2): 141-149.

- ZEQUI, J.A.C. & LOPES, J. 2001. Culicideofauna (Diptera) encontrada em entrenós de taquara de uma mata residual na área urbana de Londrina, Paraná, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*. Vol. 18(29): 429-438.
- ZEQUI, J.A.C.; LOPES, J. & MEDRI, I.M. 2005. Imaturos de Culicidae (Diptera) encontrados em recipientes instalados em mata residual no município de Londrina, Paraná, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*. Vol. 22(3):656-661.
- ZETEK, J. 1920. The Panama Canal Species of the Genus *Anopheles*. The Panamá Canal Press. Mount Hope. 27 pp.

Simposio Protección de Cultivos, MIP

Coordinador:

**Daniel Vergara, Ph.D.
Syngenta, Bogotá, D.C.**

CuidAgroSM y Campo LimpioSM aliados para el Manejo Integrado de Cultivos

CuidAgroSM and Campo LimpioSM allies for Integrated Pest Management

María Helena Latorre Castañeda

Directora Ejecutiva, Cámara Procultivos (ANDI)

La industria de la ciencia de los cultivos de la mano de CropLife Latin America y en asocio con la Cámara Procultivos (ANDI), en su compromiso con la sostenibilidad y productividad de los campos colombianos y de Latinoamérica ha dirigido sus esfuerzos a la consolidación de los programas CuidAgroSM y Campo LimpioSM para fortalecer su alianza con los agricultores y garantizar el crecimiento responsable de la actividad agrícola.

Así pues, el programa para el uso responsable de agroquímicos, nace en Colombia hace 19 años como el compromiso de la industria con la productividad agrícola nacional. Durante este tiempo se han capacitado más de 43.000 mil agricultores.

En el 2009, dicho programa adoptó el nombre de CuidAgroSM, consolidándose como el programa de la Cámara Procultivos (ANDI), que nos permite disfrutar de lo mejor de nuestros campos en las ciudades y, lo mejor de Colombia en el exterior, ya que promueve el uso responsable de los productos para la protección de cultivos en alianza con autoridades, distribuidores, comerciantes, transportistas, almacenadores y agricultores.

Por esta razón centra sus esfuerzos en la provisión de soluciones a los agricultores, representadas en:

- Cursos teórico prácticos en generalidades de plaguicidas, manejo Integrado de Plagas, conceptos de toxicología, evaluación de la aplicación de plaguicidas, aplicación responsable de plaguicidas, formas de aplicación, calibración y mantenimiento de bomba de espalda, transporte de plaguicidas, elementos de protección, almacenamiento de plaguicidas y marco regulatorio.
- Diplomados en protección de plantas en alianza con universidades locales, con expertos Ph.D. en cada tema, una duración de 120 horas entre teoría y práctica.
- Formación de formadores: con metodologías de educación para adultos, enseñamos a enseñar, usando técnicas de comunicaciones efectivas para transmitir mensajes
- Evaluación para lograr certificaciones en competencias laborales dirigida a trabajadores y empresas del agro.

En 2009 se capacitaron a 5.089 personas, entre agricultores, profesionales agrícolas y de salud (Ver Figura 1), quienes trabajan en 24 departamentos del país y en 13 diferentes variedades de cultivos. De 32 departamentos que tiene el país, CuidAgroSM trabajó en 24 (75%) durante el 2009 y reforzó sus vínculos con más de 20 socios estratégicos en Colombia, entre gremios, entidades administrativas y organizaciones no gubernamentales.

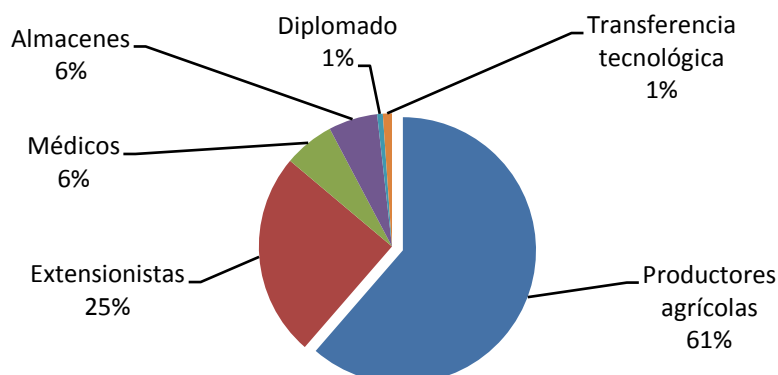


Figura 1. Acciones de capacitación (% personas capacitadas por acción).

A estos esfuerzos se suma Campo LimpioSM como el programa de manejo de envases vacíos de plaguicidas, que desarrolla el Plan post-consumo para sus 17 empresas afiliadas. Para el año 2009, consolidó muchas de las actividades que se iniciaron en años anteriores. Se observó un mayor conocimiento de las obligaciones y participación de los agricultores y cadena de comercialización, mostrando la responsabilidad en cadena como la vía para el manejo de este tipo de iniciativas.

Durante el año 2009 se manejaron 683 toneladas, correspondientes al 26,1% del volumen de envases y empaques puestos en el mercado (Ver Figura 2). El plan post-consumo se llevó a cabo en 315 municipios de 22 departamentos del país (Ver Figura 3). La estrategia de crecimiento estuvo basada en cuatro pilares fundamentales. El primero de ellos para lograr el crecimiento del 104% del volumen frente al año anterior, fue la capacitación que en este año 2009 fue a 7.832 personas en normatividad, manejo post-consumo y triple lavado (Ver Figura 4).

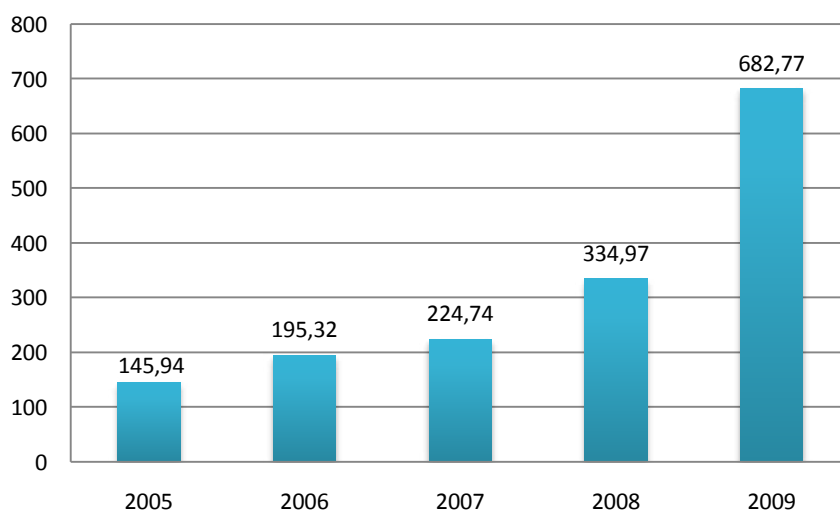


Figura 2. Evolución toneladas recolectadas por año (desde 2005).

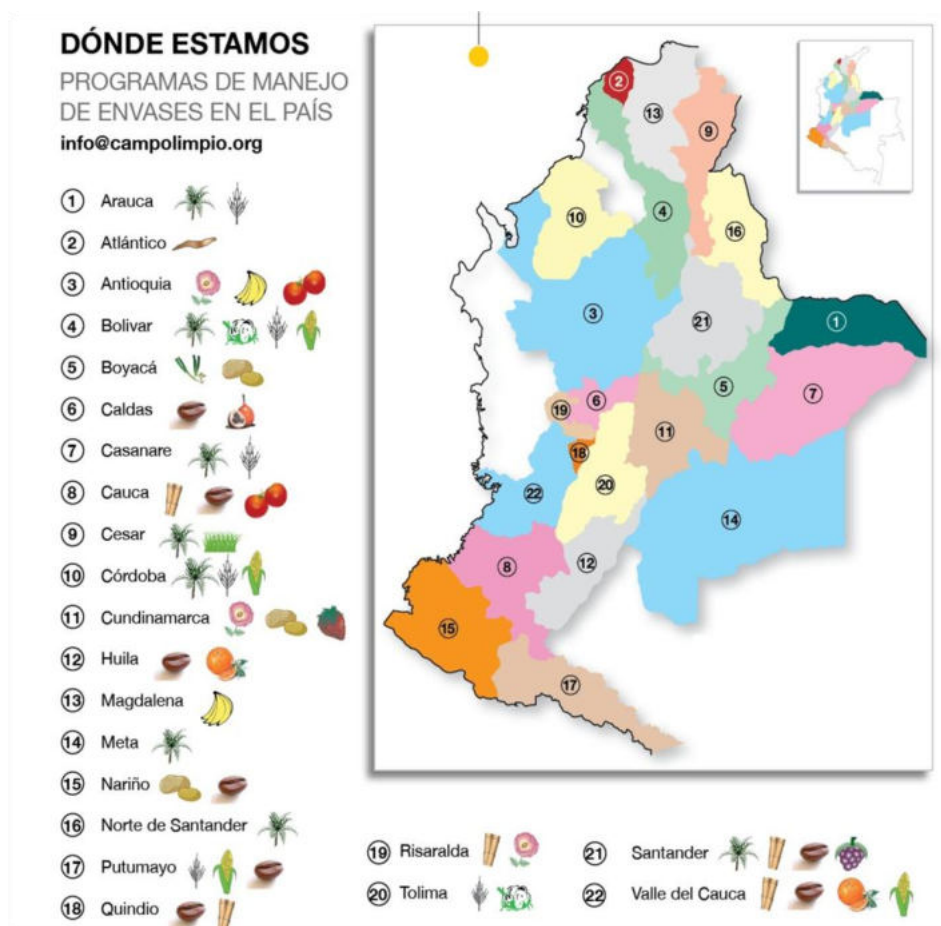


Figura 3. Resultados en cobertura.

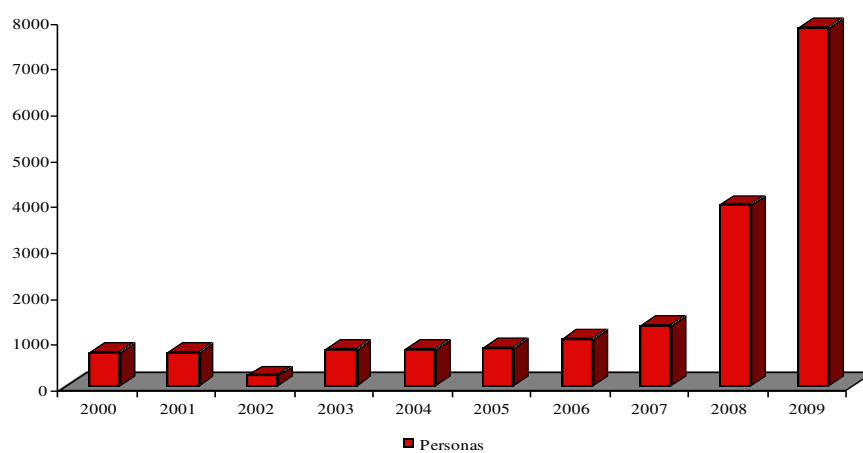


Figura 4. Evolución en capacitaciones.

Un segundo pilar de la estrategia para el incremento del volumen manejado fue la construcción y ampliación de la infraestructura de recolección, que hoy cuenta con más de 54 centros de acopio, de los cuales 20 son activos aportados por Campo LimpioSM y los demás se instalaron en asocio con aliados agricultores y gremios agrícolas.

El tercer pilar son las estrategias de comunicación permanente y dirigida a los agricultores en campo con mensajes claros y objetivos de cómo deben participar de un plan post-consumo.

Como último pilar de la estrategia, para lograr el compromiso permanente de los agricultores es el apoyo a su cumplimiento de las Buenas Prácticas Agrícolas a través de capacitaciones y certificaciones de entrega que evidencian el cumplimiento del correcto manejo de residuos peligrosos. Para el año 2009 se certificaron más de 601 toneladas, es decir el 88% del volumen entregado a Campo LimpioSM se conoce el nombre del generador.

Las alternativas químicas recientes para el manejo de ácaros en cultivos de flores para exportación

Recent chemical alternatives for control of mites in flowers destined for export

Alberto Murillo López*

I.A, M.Sc, Gerente técnico Dpto Agroquímicos, Sumitomo Corporation Colombia S.A .Correo electrónico
alberto.murillo@sumitomocorp.com

Introducción

Los acaricidas que han entrado al mercado en los últimos diez años pertenecen a varios mecanismos de acción incluyendo bloqueadores de procesos que impiden el crecimiento de estados inmaduros, anti – alimentarios, neurotóxicos y disruptores de procesos energéticos. Esto ha contribuido a los programas de rotación para el manejo de especies dañinas en floricultura para exportación. Los acaricidas modernos además de ofrecer alta eficacia, perfil toxicológico favorable y bajo impacto en el medio ambiente de acuerdo a los parámetros internacionales deberán presentar un perfil práctico favorable de selectividad a los agentes de control biológico compatibles con los esquemas de manejo integrado MIP.

A nivel mundial una de las mayores dificultades es el manejo del fenómeno de la resistencia debido al manejo inapropiado de los recursos por el alto número de aplicaciones con un solo producto o mismo mecanismo de acción en varios productos.

Con el fin de orientar a los agricultores para un uso efectivo y sostenible de los insecticidas y acaricidas la organización IRAC provee una guía sobre la clasificación de los modos de acción y guías tendientes a manejar estrategias anti-resistencia, (IRAC, 2005).

La disponibilidad de nuevas moléculas sin embargo, por si solas no permiten asegurar el detenimiento de la tendencia creciente de poblaciones recurrentes con los manejos tradicionales. Por consiguiente con el fin de asegurar la vida útil de las nuevas moléculas se hace necesario re-enfocar su uso dentro de las estrategias de manejo integrado. Esto debido a que la entrega de nuevos insecticidas y acaricidas al mercado es cada vez más difícil por los altos costos de los estudios requeridos para el desarrollo del producto final y la complejidad de los mismos.

Desarrollo de compuestos recientes

Uno de los grandes retos de la industria es el desarrollo de nuevos ingredientes activos que permitan un uso eficaz sobre poblaciones que han estado sometidas a presiones de selección intensa con determinados compuestos.

Como ocurre con la gran mayoría de los agroquímicos los nuevos acariciadas son el resultado al azar en los procesos de síntesis química en el laboratorio sin existir un plan predeterminado para la obtención de un producto específico.

Reguladores de crecimiento IGR'S

Los acaricidas de reciente tecnología denominados como IGR'S o reguladores de crecimiento, constituyen un novedoso grupo con características muy particulares, que permiten mayor versatilidad para ser incorporados dentro de los programas de manejo integrado de ácaros y/o insectos plagas.

Los acaricidas IGR's incluyen los Inhibidores de quitina y compuestos que interfieren los procesos de crecimiento en los estados inmaduros y afectan la ovoposición en las hembras como lo hacen los típicos mímicos de hormona juvenil.

El Etoxazole es un acaricida el cual presenta actividad sobre *Tetranychus* spp, *Eotetranychus* spp y *Panonychus* sp y varios Tarsonemide . Actúa como ovicida, disruptor de la muda en todos los estados inmaduros y la alteración de la ovogénesis tal como ocurre con los juvenoides, sin embargo, aun no se ha clarificado el mecanismo de acción. Para N,Ralf y S. Guy 2006 el Etoxazole induce defectos en la formación de la quitina, sin embargo, al parecer el proceso es diferente a como lo hacen las típicas benzoilúreas.

Varios IGR'S además de ejercer un control relativamente inmediato de los estados inmaduros presentan una acción extendida al actuar como disruptores de la reproducción. Con este efecto se obtiene reducción poblacional en la generación siguiente a la población tratada.

Etoxazole presenta actividad por contacto, ingestión y de actividad translaminar en el vegetal tratado. Controla huevos, larvas, ninfas y ejerce un efecto de reducción de ovoposición transovárica en hembras tratadas.

Sobre los artrópodos benéficos y útiles presenta buen perfil de selectividad.

Figura 1.

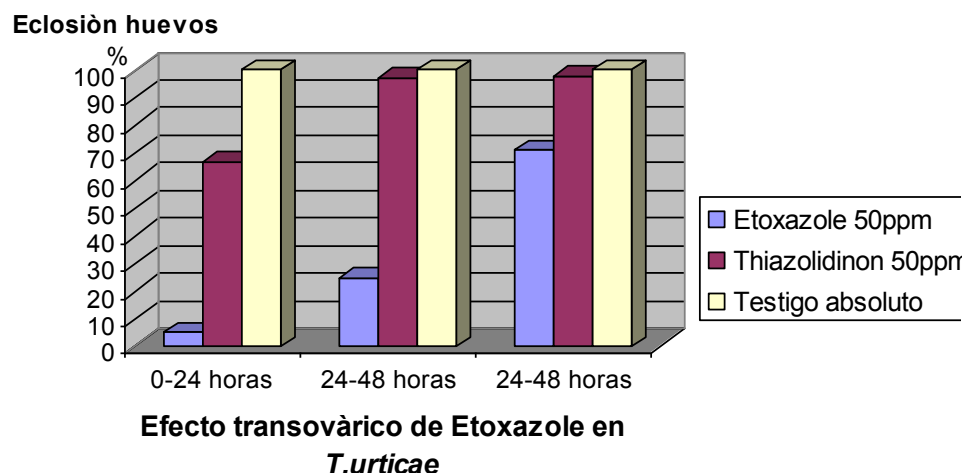
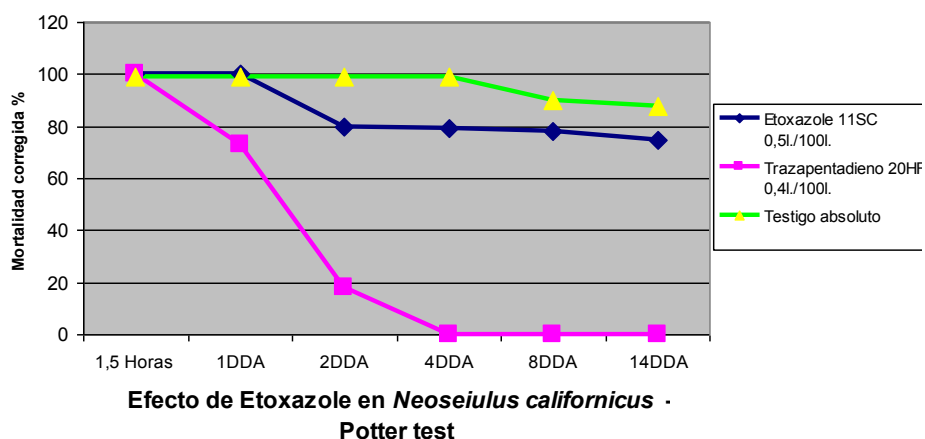


Figura 2.



Compuestos neuronales

En los últimos años se han desarrollado compuestos que actúan en sitios diferentes del sistema nervioso con relación a muchos insecticidas y acaricidas utilizados hace más de 15 años.

Así mismo, estos productos corresponden a nuevos grupos químicos con lo cual es de esperar una expectativa de mejor respuesta ante ataque de tipo metabólico por selección de poblaciones tolerantes o resistentes a compuestos aplicados anteriormente.

El Bifenazate del grupo químico carbazate es un acaricida presente en el mercado desde 2002. El mecanismo de acción se ubica en la pos-sinapsis como bloqueador del neurotransmisor GABA. Como resultado los impulsos nerviosos se bloquean y posteriormente los individuos mueren.

Este compuesto actúa por contacto en huevos y por contacto e ingestión en ninfas y adultos.

Derivados Microbiales

Los derivados naturales como entomotoxinas, obtenidos de microorganismos del suelo entre ellos los Actinomicetos han sido objeto de especial estudio por el potencial para la elaboración de insecticidas que permiten un control eficiente de ácaros e insectos dañinos.

El Milbemectin derivado biológico de *Streptomyces higroscopicu* var. *Aureolacrimosus* aparece en el mercado en 2001. El mecanismo de acción consiste en la modificación de la actividad del Ácido Gama Aminobutírico GABA. En este caso Milbemectin aumenta la actividad del neurotransmisor inhibitorio y por lo tanto la actividad de los impulsos nerviosos. Los ácaros e insectos afectados presentan por lo tanto hiperactividad y la muerte en poco tiempo después del tratamiento. Milbemectin controla huevos, larvas, ninfas y adultos. Adicionalmente al control de todos los estados, ejerce un efecto de supresión de ovoposición en hembras expuestas a subdosis, lo cual contribuye a disminuir el crecimiento poblacional.

El Milbemectin actúa por contacto, ingestión y presenta actividad translaminar. Controla huevos, larvas ninfas y adultos. Milbemectin así mismo, tiene un efecto de supresión de ovoposición en hembras que están expuestas a dosis subletales.

Presenta eficacia sobre un amplio grupo de ácaros fitófagos de las familias Tetranychidae, Eriophyidae y Tarsonemidae. Sobre especies de artrópodos benéficos y de control biológico presenta selectividad favorable, útil en los esquemas de manejo integrado MIP.

Tabla 1

EFFECTO DE Milbemectin EC sobre la supresion de oviposicion en <i>T. urticae</i>				
TRATAMIENTO	MORTALIDAD HEMBRAS 0D	MORTALIDAD HEMBRAS 10DDA	SOBREVIVENCIA HUEVOS POR HEMBRA 0D	SOBREVIVENCIA HUEVOS POR HEMBRA 10DDA
Milbemectin 10ppm	100	7,9	.-	0,4
T. comercial 267 ppm	100	56,8	.-	4,35
Testigo absoluto	0	0	.-	7,53

Tabla 2

EFFECTO DE Milbemectin EC sobre el parasitoide <i>Aphidius rhopalosiphi</i>				
TRATAMIENTO	g.i.a /ha	MORTALIDAD % 48 horas DDA	MORTALIDAD % Corregida por Abbott	PROMEDIO DE FECUNDIDAD (15 hembras)
Milbemectin 1% EC	9,3	7	4	21
Milbemectin 1% EC	27,9	13	10	14
T. comercial	85,2	100	100	.-
T. absoluto		3	.-	16

Acaricidas inhibidores de lípidos

Los acaricidas de este grupo son derivados del ácido retronica como Spiromesifen, Este producto fue introducido al mercado entre 2006-2007 presenta actividad por contacto e ingestión y actúa deteniendo el crecimiento de estados inmaduros. Tiene un perfil de selectividad favorable a artrópodos benéficos en varios cultivos, (Bayer folleto técnico).

Acaricidas de Actividad en mitocondria

En las etapas para la obtención de energía en la mitocondria varios compuestos interfieren o bloquean diferentes procesos y este grupo incluye los más recientes productos con importante aporte en el control de ácaros en los cultivos de flores.

Aquinocyl correspondiente al grupo Naphtoquinona entró al mercado en 2007. Actúa por contacto principalmente y también por ingestión sobre estados inmaduros móviles y adultos. El bloqueo de transferencia de electrones se presenta en el complejo II en la mitocondria en inhibiendo la formación del ATP. (WARE, 2006)

El más reciente acaricida entregado al mercado en 2009 es el Cyflumetofen.

Por tratarse del acaricida más reciente detallaré algunas de sus características y ventajas más importantes. El Cyflumetofen (**Danisaraba 20SC**) pertenece a un nuevo grupo químico: Benzoilacetoneitrilo. Este acaricida fue descubierto por Otsuka Company, Japan.

Cyflumetofen presenta actividad de control amplia sobre todos los estados de desarrollo de los ácaros dañinos incluyendo huevos, larvas, ninfas, estados quiescentes y adultos.

Sobre huevos hay efecto directo de control, como efecto ovicida, pero también se presenta el efecto ovo-larvicida, en cuyo caso por alguna razón los huevos alcanzan a eclosionar pero la larva muere inmediatamente después de la eclosión.

En estados quiescentes se ha encontrado que Cyflumetofen actúa causando mortalidad presentando mayor susceptibilidad protocrisálidas y deutocrisálidas.

Los adultos tratados con este acaricida exhiben comportamientos muy definidos después de la aplicación. Alrededor de 4 horas pos-aplicación los ácaros presentan cierta hiperactividad; entre 4 y 8 horas presentan irritabilidad y a las doce horas postración.

Los adultos moribundos e inclusive cuando ya han muerto aparecen como si estuvieran vivos inclusive después de 12 horas. Este efecto es muy importante de considerar para la evaluación de control pos aplicación.

Se ha estudiado el efecto de las subdosis en hembras adultas encontrándose un efecto de inhibición de ovoposición, lo cual contribuye a la reducción poblacional después de los tratamientos, (Otsuka Co., 2008)

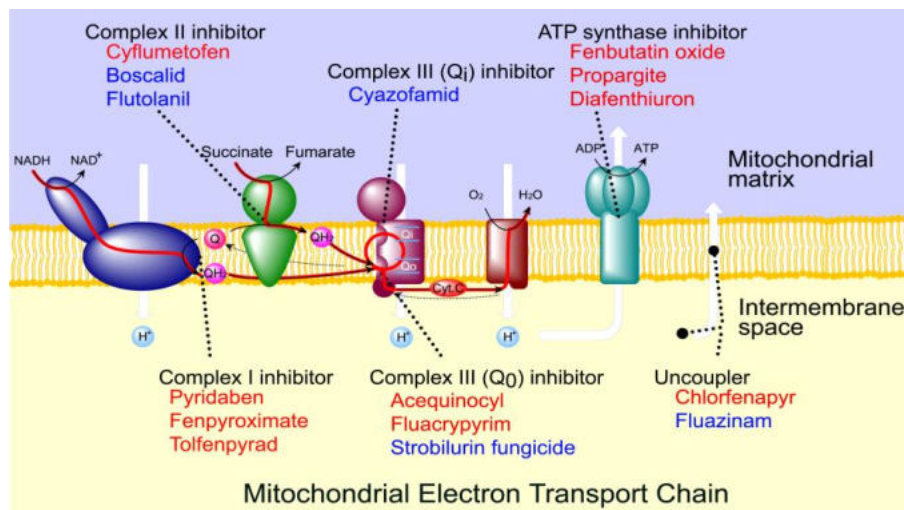


Figura 3 Otsuka Company, Japan 2208

Danisaraba ha mostrado buen perfil de selectividad con los enemigos naturales y especies de control biológico. Algunas de estos benéficos se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3.

EFECTO DE DANISARABA® SOBRE ESPECIES DE ENEMIGOS NATURALES

ESPECIE	ESTADO	PRODUCTO	METODO DE EVALUACION	MORTALIDAD
<i>Phytoseiulus persimilis</i>	Adulto	Ingrediente activo grado tecnico 20SC	Disco de hoja asperjada (200ppm)	A
	Ninfa			A
<i>Ambliseius womersleyi</i>	Ninfa 1er instar			A
<i>Ambliseius cucumeris</i>	Ninfa 1er instar			A
<i>Scolothrips takahashii</i>	Larva 1er- 2 instar			A
<i>Orius strigicollis</i>	Larva 3er instar		Película seca (200ppm)	A
<i>Nineta vittata</i>	Larva 1er- 2° instar		Aspersión directa (200ppm)	A
<i>Oligota Kashmirica benefica</i>	Larva 1er- instar			A
<i>Sthetorus japonicus</i>	Larva 2° instar		Película seca (34,5 g/L)	A
<i>Thyphlodromus pyri</i>	Ninfa			A

A : Mortalidad < 30%

(Otsuka Co, Ltd, 2008)

Tabla 4.

EFECTO DE Cyflumetofen SOBRE LA DESCENDENCIA DE <i>T.urticae</i>				
Porcentaje % de Mortalidad de huevos y larvas recién eclosionadas*				
LOCALIDAD 1			LOCALIDAD 2	
Dilución ppm	Hembras adultas	Siguiente generación	Hembras adultas	Siguiente generación
200	100	100	100	100
66,7	100	100	94	100
20	97	100	93	100
10	64	100	65	100

Mortalidad de Huevos y larvas recién eclosionadas, 10 días después del tratamiento de las hembras madres

Otsuka Company, Japan 2008

Tabla 5.

MECANISMOS Y MODOS DE ACCION DE ACARICIDAS UTILIZADOS EN FLORES DE EXPORTACION						
PRODUCTO	INGREDIENTE ACTIVO	GRUPO QUIMICO	MECANISMO DE ACCION	GRUPOS SUBGRUPOS (IRAC)*	MODOS DE ACCION	ESPECTRO DE ACCION-ESTADOS**
Acequinocyl SC	Acequinocyl	Naphtoquinona	Inhibición complejo II transporte electrones en mitocondria	20 B	C, I	H, N, A
Amitraz EC	Amitraz	Triazapentadieno	Agonista de octopamina	19	C, TR	H, N, L, A
Avamectina EC	Avamectina	Lactona marociclica	Agonista de GABA (activador Canal Cl)	6	C, I, TR	L, N, A
Acrinathrin EW	Acrinathrin	Piretroide	Modulador del canal de NA	3	C, I	A
Bifenazate WP	Bifenazate	Carbazate	Antagonista GABA	25	C, I,	A, H, L, N
Clofentezine SC	Clofentezine	Tetrazine	IGR-Malformacion de estructuras respiratorias en el embrion	10A	C, I, TR	H, L, N
Chlorfenapyr SL	Chlorfenapyr	Pirrol	Desacoplador de fosforilacion oxidativa-disrupción grad.proton.	13	C, I, TR	L, N, A
Danisaraba SC	Cyflumetofen	Benzoil acetoniitrilo	Inhibición complejo transporte electrones en mitocondria (complex II sub-group 20 C)	***	C, I	H, L, N, A
Diafenthuron SC	Diafenthuron	Thiourea	Inhibición de fosforilación oxidativa, Inhibidor ATP synthase	12A	C, TR	L, N, A
Etiozazole SC	Etiozazole	Derivado de Difenil oxazolina	IGR- Inhibicion de procesos de muda	10B	C, I, TR	H, L, N
Fenpyroximate SC	Fenpyroximate	Fenoxi-pyrazol	Inhibición transporte electrones complejo I en mitocondria	21	C, I	L, N
Flufenoxuron EC	Flufenoxuron	Benzoilurea	Inhibidor de biosinsintesis de quitina	15	I, C	L, N
Fluvalinate SC	Fluvalinate	Piretroide	Modulador del canal de NA	3	C, I	A
Hexythiazox EC	Hexythiazox	Thiazolidinon	IGR - Mite grow inhibitor	10A	I, C, TR	L, N
Milbemectin EC	Milbemectin	Lactona Macroiclica	Agonista de GABA (activador Canal Cl)	6	C, I, TR	H, L, N, A
Spiromesifen SC	Spiromesifen	Derivados de ácido tetrónico	Inhibidor síntesis de lípidos	23	C	H, L, N
Pyrimidifen SC	Pyrimidifen	Fenoxyetilamina	Inhibición complejo I transporte electrones en mitocondria	21	C, I	H, L, N, A
Pyridaben EC	Pyridaben	Pyridazinona	Inhibición complejo I transporte electrones en mitocondria	21	C, I	H, L, N, A
Propargite EC	Propargite	Organo sulfuroso	Inhibición de fosforilación oxidativa, Inhibidor ATP synthase	12C	C, I	H
Tetradifon EC	Tetradifon	Organo sulfuroso	Inhibición de fosforilación oxidativa, Inhibidor ATP synthase	12C	C	H

*IRAC Mode of Action Classification, July 2007

** C:contacto; I:ingestion; Tr: translaminar; S:sistémico V:vapor fase; H:huevos; L:larvas; N:ninfas; A:adultos

***Pendiente de inclusión en lista IRAC

En la tabla 5 se ha recopilado información básica sobre el modo de acción y mecanismo de acción de los acaricidas más frecuentes utilizados en el país para el control de ácaros en flores de exportación obtenida de varias fuentes. En la columna de Grupos y Subgrupos se ha incluido la clasificación del grupo químico de acuerdo a la clasificación de IRAC (2007).

El conocimiento de la clasificación por grupos de acaricidas e insecticidas de acuerdo a su mecanismo de acción es muy útil para la elaboración de estrategias de uso alternado o rotacional cuando se requieren aplicaciones consecutivas como es el caso de *T. urticae* en rosas, crisantemos, gerberas y *T.cinnabarinus* en clavel.

Adicionalmente al conocimiento de los mecanismos de acción específicos de cada compuesto acaricida es muy útil información adicional relacionada a los mecanismos de resistencia diferente a los sitios específicos.

De acuerdo a IRAC (2005) ha sido completamente reconocido que la resistencia de insectos y ácaros también resulta frecuentemente por el metabolismo incrementado por enzimas en esas poblaciones resistentes. Esos mecanismos metabólicos no están ligados a ningún sitio de acción definido y por consiguiente ellos pueden conferir resistencia a insecticidas o acaricidas en más de un mecanismo de acción como los clasificados por IRAC. Esto puede considerarse como resistencia cruzada porque la actividad metabólica confiere la resistencia a varios acaricidas de diferentes grupos.

En tal caso la alternación y plan rotacional debe tener en cuenta esta situación y no solamente los mecanismos de acción principales.

Las nuevas alternativas químicas con mecanismos de acción o mecanismos de decodificación diferentes a los existentes son una ayuda muy importante sin embargo, para asegurar una producción sostenible es necesario incorporarlas dentro de un sistema de manejo integrado MIP.

Literatura citada

- BORNEO, ETOXAZOLE, 2002. Plant Protection Division, Sumitomo Chemical Co. Ltd., Tokyo, Japan, 12p.
- BRON, A., E., 2006. Mode of action of Insecticides and Related Pest control Chemicals for Production Agriculture, Ornamentals and Turf, Pesticide Information, Maryland Cooperative extension, University of Maryland, leaflet No43. USA
- MONDRAGON, J., A., www.organicafe-sc.net/firms.com
- FARM CHEMICAL HANDBOOK, 2007, Meister Publishing Co., (93) Ohio, USA.
- IRAC, 2007. Mode of Action Classification. www.ira-online.org
- IRAC, 2009. Mode of Action Classification, Poster version 6.3., www.ira-online.org
- MILBEMECTIN, 2002. Technical Information, Sankyo Agro Co., 17p.
- RALF N.; GUY S., 2006. Mode of action of Etoxazole, Laboratory of Agrozoology, Pest vol. 62 (5): 379-382 Management science.
- WARE, W., WITAWA D., 2004. Introducción a los Insecticidas, Pesticide Book, Universidad de Minnesota. [lpm.world.umn.edu/cancelado.w&insect sp htm](http://lpm.world.umn.edu/cancelado.w&insect%20sp.htm).

Bioactivator action of thiametoxan

Acción bioactivadora del thiametoxan

Paulo Roberto de Camargo e Castro

Department of Biological Sciences, Faculty of Agriculture "Luiz de Queiroz" (ESALQ), University of São Paulo (USP), Piracicaba, SP, Brazil. prcastro@esalq.usp.br

Bioactivators are complex organic substances that modify plant morphology and physiology, with capacity of act on transcription factors of the plant and in the genes expression, in membrane proteins modifying the ionic transport, and over metabolic enzymes with capacity of affect the secondary metabolism, in a way to modify the mineral nutrition, producing precursors of plant hormones, leading to the hormone synthesis and to answers of plant to nutrients and hormones (Figure 1). Thiametoxan (Cruiser), 3-(2-chloro-tyazol-5-ilmethyl)-5-methyl-[1,3,5] oxadyazinan-4-ilyden-N-nitroamine, is a systemic insecticide from the neonicotinoid group, of nitroguanidin family, that acts in the nicotinic receiver acetyl choline of the insects membrane, wounding the nervous systems and leading to the death. It is used with success against the initial pests of several crops. Great number of field observations describing visible vigor effects, development and soybean productivity, even under insects absence were related in Brasil, leading to the consideration that thiametoxan has a stimulant effect on the crop. It was verified physiological effects of thiametoxan applied in seeds treatment of 'Monsoy' soybean. It was realized germination test, analysis of root growth in minirhizotrons and determination of development of soybean plant. It was verified that thiametoxan increased leaf area and roots volum. It was established also that the bioactivator increased roots and shoots dry matter at concentration of 100 ml/100 kg seeds. This concentration finally increased roots development 30 days after emergence. It was concluded that increases on root growth increase water and mineral salts absortion, increasing leaf area, the vigor and production of soybean plants. Due these results it was tried to evaluate thiametoxan molecule as if it is a bioregulator (plant growth regulator, PGR). For that it was realized biotests with thiametoxan in concentration of 0.1 to 1000 μ M, relating to check (water). The bioactivator was applied in 'Micro-Tom' tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) seed (sensitive to gibberellin), dgt (mutant sensitive to auxin) and brt (mutant sensitive to cytokinin). Thiametoxan did not effect hypocotyl or root growth of test plants. It was concluded that the molecule did not belong to none of growth promoters (bioregulators) groups. The increase of cytokinin level in treated plants was an indirect effect due to the formation of greater number of root tips (points of cytokinin synthesis). Other researches with thiametoxan showed that the bioactivator is related with increases in germination, stand and vigor of soybean plants, enzymatic activity, increases in the level of mineral salts (nutrients), higher plants, greater stem diameter, roots growth, increases in dry matter, number of pods, seeds and crop production, showing mean increases of 10% in productivity (Figure 2). Thiametoxan seems to increase absorption of water (across hydroporins) and to promote stomatal resistance, improving water status in the plant. This facts could lead the plant to endure better water and salt stress.

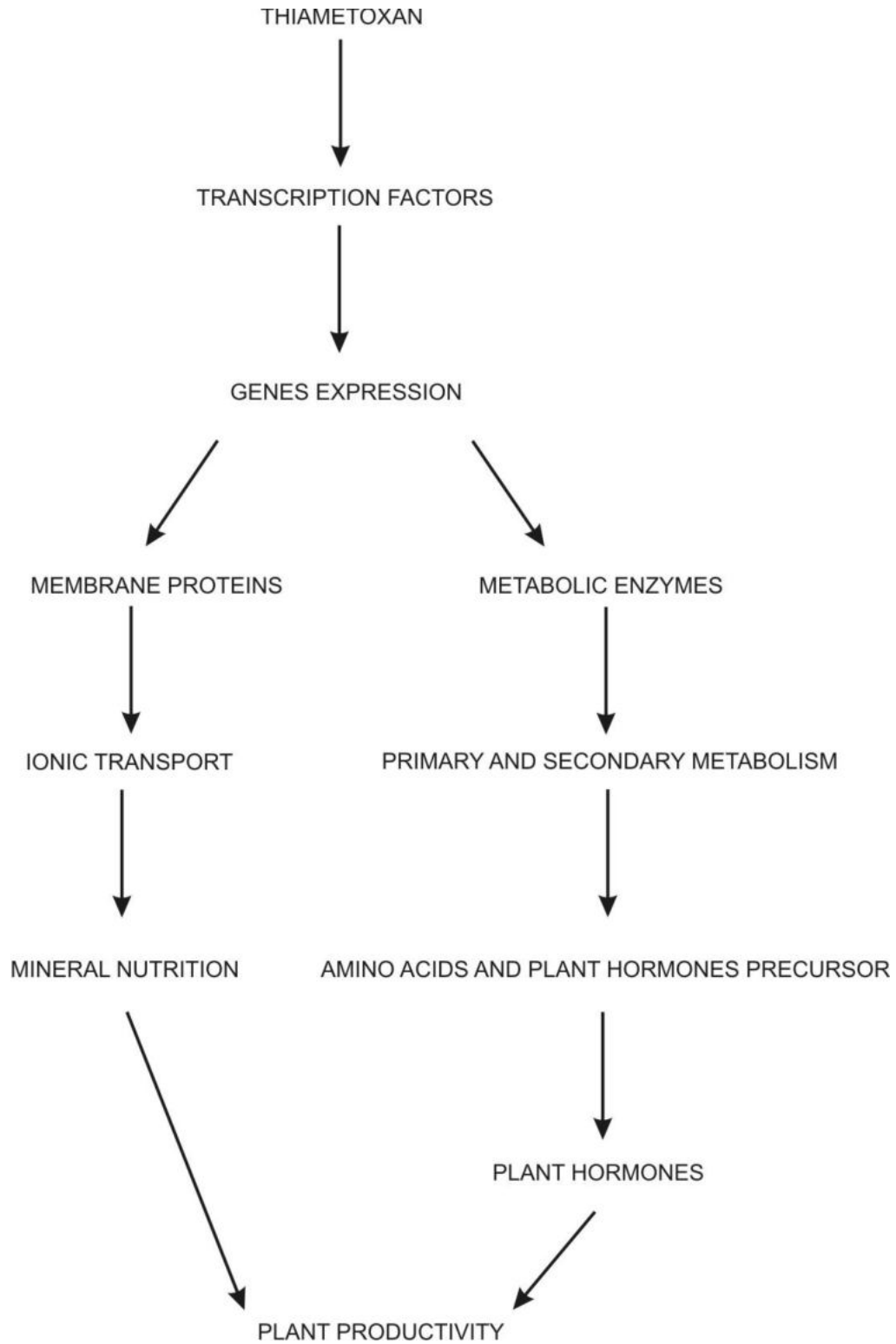


Figure 1. Representation of action of thiametoxan applied in plants.

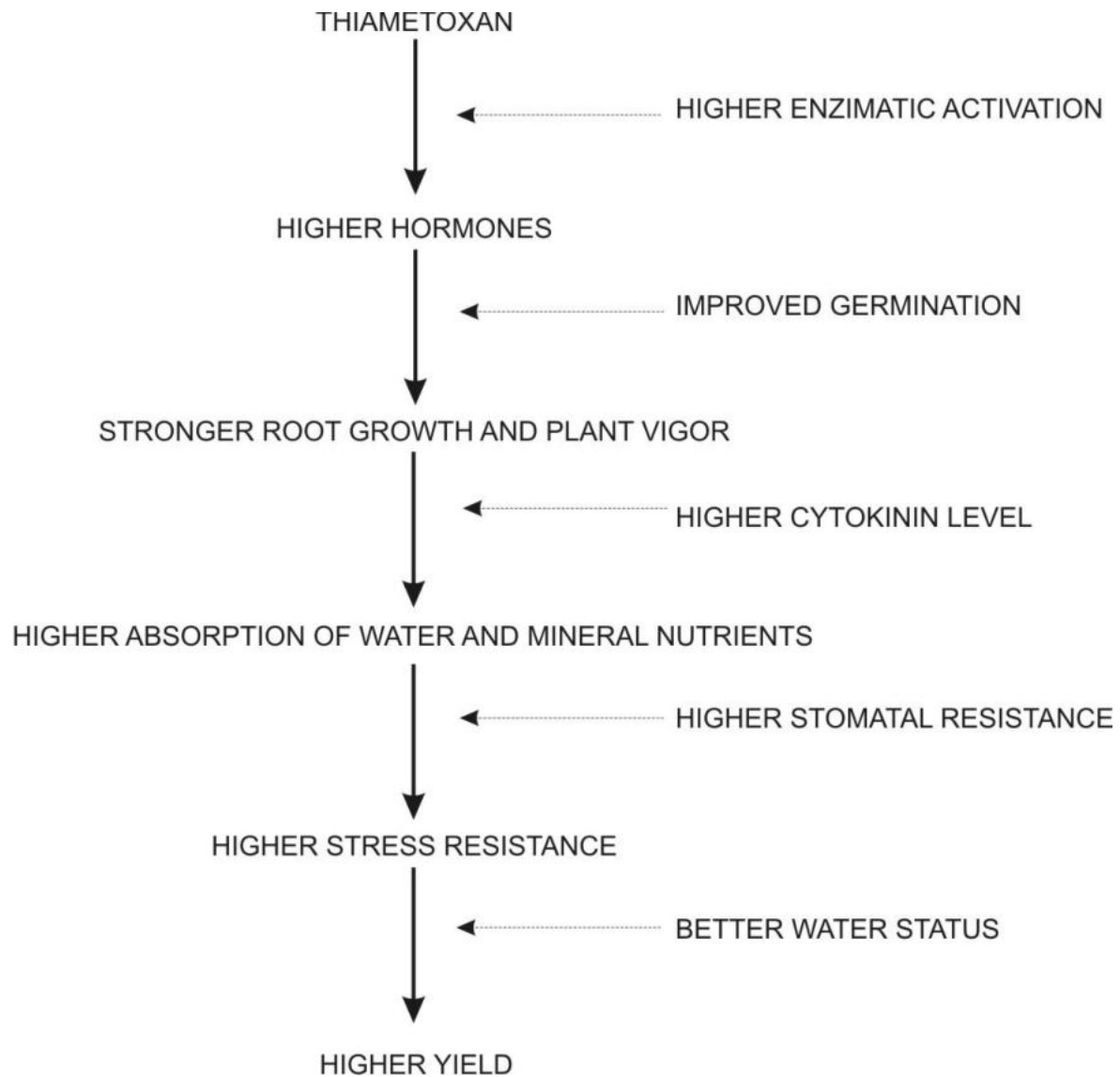


Figure 2. Effects of thiametoxan observed through experiments.

Acción bioactivadora del thiametoxan

Paulo Roberto de Camargo y Castro

Departamento de Ciências Biológicas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), Universidade de São Paulo (USP), Piracicaba, SP, Brasil. *prcastro@esalq.usp.br*

Se sabe que bioregulator es un compuesto orgánico, no nutriente, aplicado en la planta, que a bajas concentraciones, promueve, inhibe o modifica procesos morfológicos y fisiológicos del vegetal, por ejemplo una auxina como el ácido naftalenacético. Bioestimulante es una mezcla de biorreguladores o mezcla de uno o más biorreguladores con otros compuestos de naturaleza química diferente, como sales minerales, por ejemplo el Stimulate constituido de una combinación de giberelina, ácido indolbutírico y cinetina. Bioactivador es una sustancia orgánica compleja, no biorregulador, modificador del crecimiento, capaz de actuar en factores de transcripción de la planta y en la expresión genética, en proteínas de la membrana alterando el transporte iónico y en enzimas metabólicas capaces de afectar el metabolismo secundario, de modo a modificar la nutrición mineral, inducir la producción de precursores de hormonas vegetales, llevando a la síntesis hormonal y a la respuesta de la planta a nutrientes y hormonas (Figura 1). Como ejemplo tenemos el thiametoxan, un insecticida sistémico (Figura 2). En la evaluación del efecto fisiológico del producto se verificó que la aplicación de Cruiser 35 FS en las dosis de 50 a 127 mL para 100kg de semillas aumentó la masa seca de la parte aérea y del sistema radicular de soya ‘Monsoy’ . También incrementó el área foliar y radicular, aumentando la altura de las plantas. Bioensayos realizados con tomate ‘Micro-Tom’ y con los mutantes DGT y BRT demostraron que thiametoxan no presentó acción de giberelina, auxina o de citocinina, caracterizándose como bioactivador. Un bioactivador se diferencia de un agroquímico de efecto fitotónico capaz de reducir la pérdida de agua por las plantas (cúpricos y carbohidratos), aumentar la síntesis de clorofila y la retención foliar además de atrasar la síntesis de etileno (triazoles y cúpricos), promover tolerancia a estrés (fosfitos y amino ácidos); siendo que esos efectos pueden llevar a aumentos o reducciones en la producción en función de las condiciones del agro ecosistema.

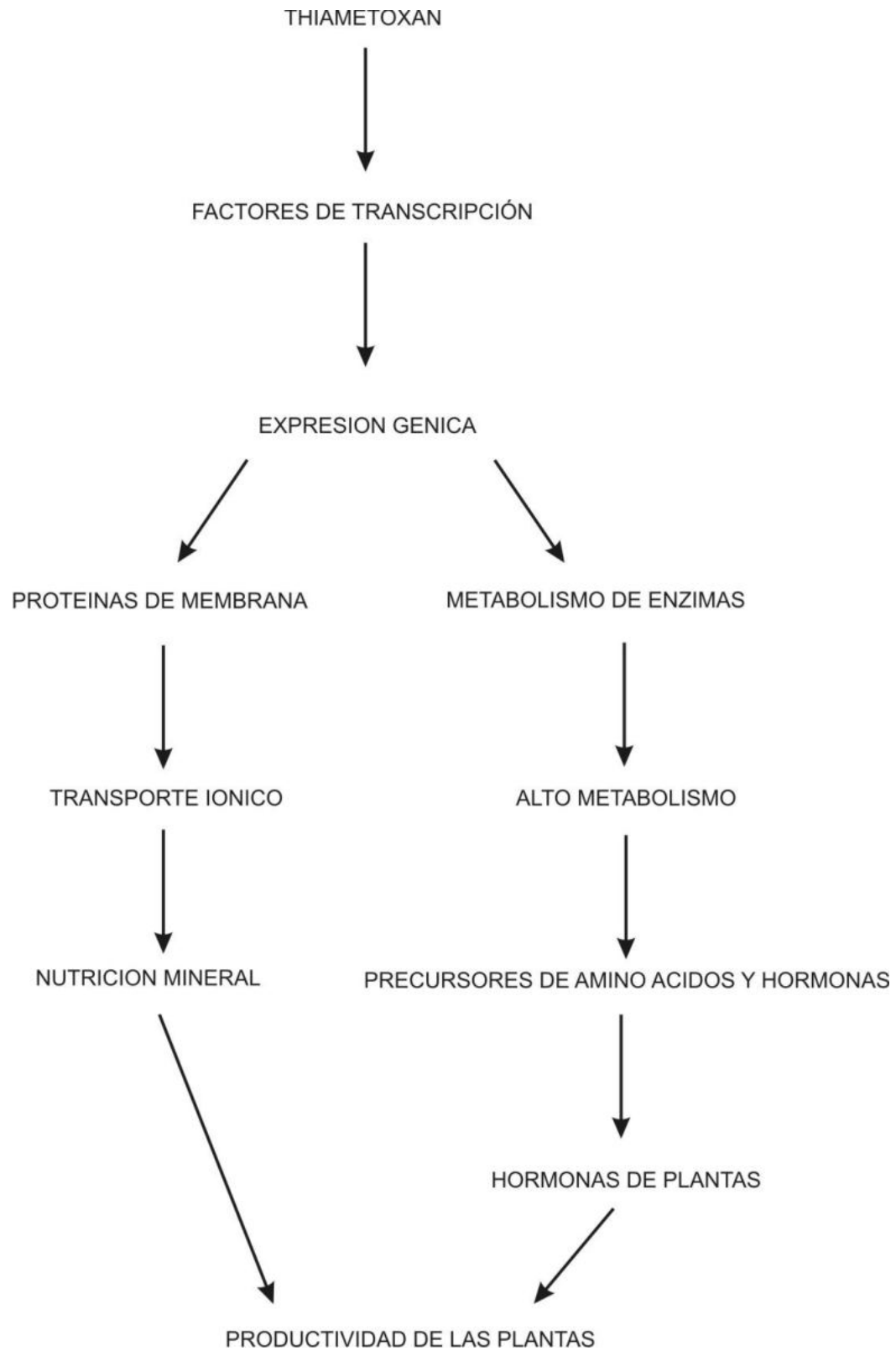


Figura 1. Manifestaciones de la expresion genica por efecto de tiametoxam.

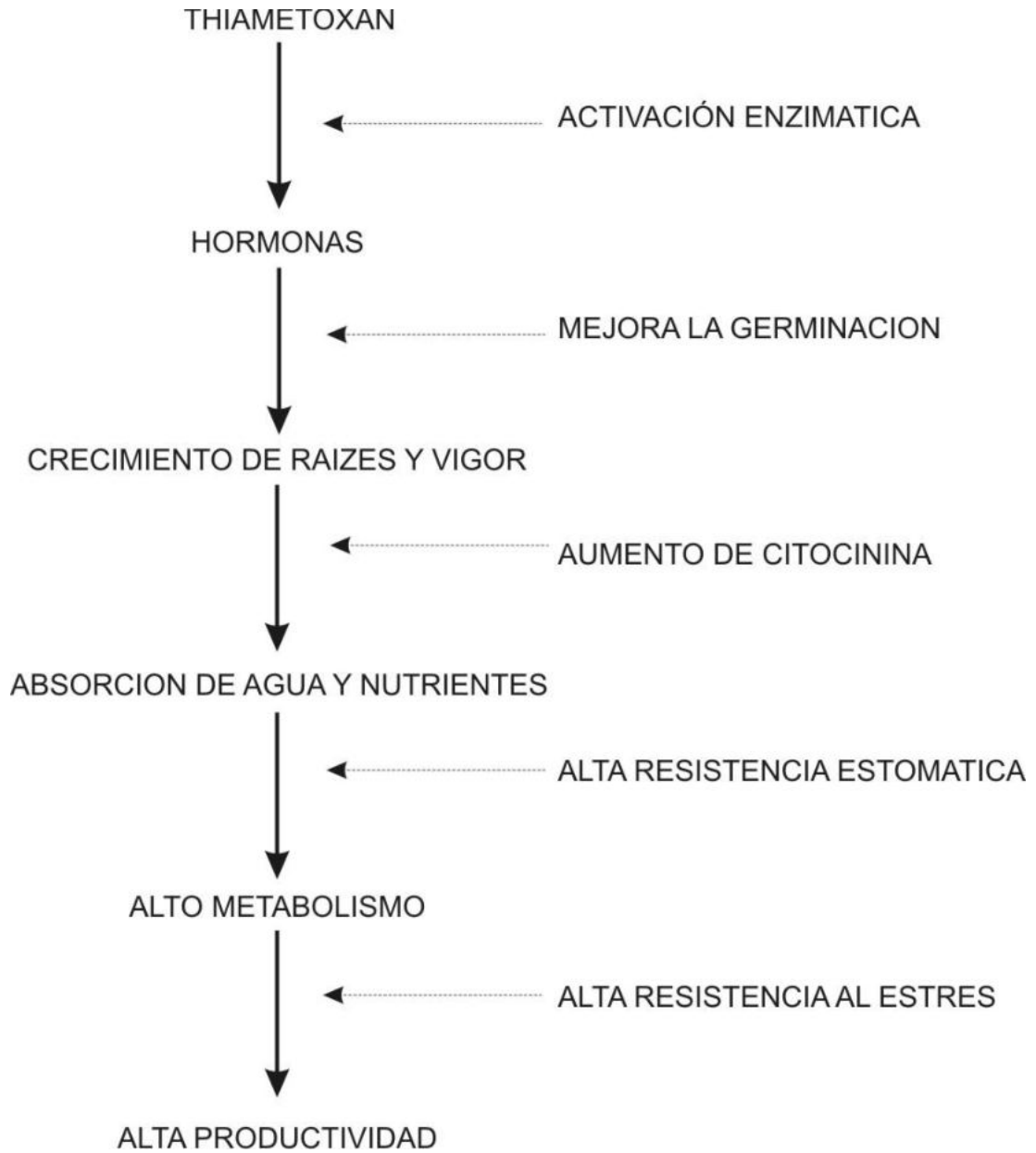


Figura 2. Procesos involucrados en el mecanismo de acción de tiametoxam.

Simposio Entomología Forense

Coordinadora:

**Ginna Paola Camacho Cortés, Esp. Cand. Doctorado en Ciencias Forenses.
Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses, Bogotá, D. C.**

Insectos (Diptera, Coleoptera, Hymenoptera) presentes en cadáveres en el Neotrópico: aspectos ecológicos y taxonómicos

Insects (Diptera, Coleoptera, Hymenoptera) on cadavers in the Neotropical region: ecological and taxonomical aspects.

Eliana Buenaventura R.¹ y Elena Cifuentes²

¹ M.Sc., Laboratorio de Entomología Forense, Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses, Bogotá. Laboratorio de Sistemática y Biología Comparada de Insectos, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. *elianabuenaventura@gmail.com*. ² Bióloga, Laboratorio de Entomología Forense, Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses, Bogotá. *elenacifuentes86@gmail.com*.

Resumen

Los órdenes Diptera, Coleoptera e Hymenoptera constituyen grupos megadiversos. Diversas especies de estos órdenes pueden colonizar cadáveres y comportarse como necrófagos, depredadores, parásitos-parasitoides u omnívoros, siendo potencialmente útiles en estudios forenses. A pesar de su valor en el campo médico-legal, no existe suficiente claridad sobre los aspectos ecológicos y taxonómicos de estos grupos y se requiere establecer cuáles son las especies que aportan información para la solución de crímenes en el contexto Neotropical. De acuerdo con esto, se utilizaron 38 estudios de entomología forense del Neotrópico para establecer cuáles son las familias de Diptera, Coleoptera e Hymenoptera más frecuentemente recolectadas y determinar las necesidades de estudios taxonómicos y ecológicos en cada caso. Se encontró que las familias con mayor frecuencia de recolección del orden Diptera son Calliphoridae, Muscidae, Sarcophagidae, Phoridae, Fanniidae y Piophilidae; del Coleoptera son Histeridae, Staphylinidae, Dermestidae, Cleridae, Scarabaeidae, Silphidae, Nitidulidae y Carabidae y del Hymenoptera son Formicidae, Vespidae, Apidae, Braconidae e Ichneumonidae. Existe poca claridad en cuanto a los criterios para incluir ciertos grupos dentro de aquellos útiles en investigaciones médico-legales, encontrándose familias cuya asignación a una categoría ecológica es problemática como resultado del desconocimiento de la ecología, biología e identidad taxonómica de sus especies. Por esto se plantea la necesidad de afrontar la taxonomía de los insectos de importancia forense y abordar estudios que centren sus metodologías en caracterizar objetivamente el rol que cada uno de estos grupos problema desempeñan a lo largo de la descomposición cadavérica.

Palabras clave: Diptera. Coleoptera. Hymenoptera. Entomología Forense. Neotrópico.

Abstract

The orders Diptera, Coleoptera and Hymenoptera are highly diverse groups. Several species of these orders can colonize carcasses and behave as necrophagous, predators, parasites-parasitoids or omnivorous, being potentially useful in forensic studies. Despite its value in the forensic field, there is insufficient clarity about the ecology and taxonomy of these groups, and is necessary to establish which species provide information to solve crimes in the Neotropical context. Accordingly, we used 38 studies of forensic entomology in the Neotropical region to establish what families of Diptera, Coleoptera and Hymenoptera are the most frequently collected and determine the needs of taxonomic and ecological studies in each case. Families with higher frequency of collection of Diptera are Calliphoridae, Muscidae, Sarcophagidae, Phoridae, Fanniidae, and Piophilidae, from Coleoptera are Histeridae, Staphylinidae, Dermestidae, Cleridae, Scarabaeidae, Silphidae, Nitidulidae, and from Hymenoptera are Carabidae and Formicidae, Vespidae, Apidae, Braconidae

and Ichneumonidae. There is little clarity about the criteria to include certain groups within those useful in medical-legal research. As an outcome of poor knowledge of the ecology, biology and taxonomic identity of some species, the assignment of some families to an ecological role is problematic. There is a need to address the taxonomy of insects of forensic importance, and undertake studies to focus their methodologies to characterize objectively the role of each group along the cadaverous decomposition.

Key words: Diptera. Coleoptera. Hymenoptera. Forensic Entomology. Neotropical region.

Introducción

Los insectos son uno de los grupos más diversos (Grimaldi y Engel 2005): son abundantes tanto en número de individuos como en especies, se presentan en variedad de hábitats y tienen diversas formas de vida pudiendo ser predadores, parásitos, coprófagos ó necrófagos. Para estos últimos, los cadáveres representan una rica fuente de energía. Conforme la descomposición cadavérica avanza en el tiempo las condiciones de consistencia del tejido y sustancias alimenticias disponibles cambian, atrayendo grupos de insectos diferentes, por ejemplo dípteros, coleópteros e himenópteros que utilizan este sustrato para su alimentación y reproducción, cumpliendo un importante papel como descomponedores.

El interés en el hábito descomponedor de estos grupos de insectos y su relación con los humanos toma fuerza en la entomología forense, que ha contribuido con estudios sucesionales y ciclos de vida, dado que esta información puede ser útil en las investigaciones criminales.

A pesar de la importancia de estos insectos en el campo médico-legal, la entomología forense aun es una aplicación joven en el Neotrópico, contando con pocos especialistas y literatura publicada. Una de las principales necesidades que enfrentan los entomólogos forenses es reconocer la entomofauna de importancia forense en diferentes pisos bioclimáticos, lo que está directamente relacionado con el conocimiento taxonómico de ciertos grupos. Por lo anterior se propuso establecer, de acuerdo con la literatura disponible, cuáles son las familias de Diptera, Coleoptera e Hymenoptera más frecuentemente recolectadas en estudios de entomología forense en el Neotrópico, discutir su rol dentro de la descomposición cadavérica y las necesidades de estudios taxonómicos.

Materiales y Métodos

Se revisaron los siguientes 38 trabajos de tesis y artículos publicados, extrayendo los registros de familias de importancia forense (Tablas 1, 2 y 3): (1). Mavárez-Cardozo *et al.* 2005, (2) Liria 2006, (3) Jirón y Cartín 1981, (4) Jirón *et al.* 1983, (5) Calderón-Arguedas *et al.* 2005, (6) Garcés *et al.* 2004, (7) Oliva 1997, (8) Oliva 2001, (9) Oliva 2002a, (10) Oliva 2002b, (11) Centeno *et al.* 2002, (12) Oliva 2007, (13) Aballay *et al.* 2008, (14) Moura *et al.* 1997, (15) Carvalho *et al.* 2000, (16) Carvalho *et al.* 2000, (17) Oliveira-Costa y Lopes 2000, (18) Carvalho *et al.* 2002, (19) Gomes y Von-Zuben 2006, (20) Cruz *et al.* 2006, (21) Mise 2006, (22) Carvalho y Mello-Patiu 2008, (23) Rosa *et al.* 2009, (24) Iannaccone 2003, (25) Guarín 2005, (26) Wolff *et al.* 2001, (27) Barreto *et al.* 2002, (28) Jimenez y Latorre 2003, (29) Camacho 2005, (30) Pérez *et al.* 2005, (31) Vasquez y Serna 2005, (32) Ospina 2006, (33) Mendoza 2006, (34) Martínez *et al.* 2006, (35) Ordoñez *et al.* 2008, (36) Salazar-Ortega 2008, (37) Segura *et al.* 2009 y (38) Cifuentes *et al.* 2009. Cada registro consignado en la matriz corresponde al número de estudios en se recolectó la familia. Los trabajos se desarrollaron en Argentina, Brasil, Colombia, Costa Rica, Panamá, Perú, Puerto Rico y Venezuela.

Las temáticas tratadas en los documentos consultados son muy variadas, incluyendo listas de chequeo de insectos de importancia forense, claves taxonómicas para insectos de importancia forense y estudios de la sucesión entomológica en cadáveres vestidos y desnudos de humanos, cerdos y ratas en condiciones diferenciales de luminosidad, de influencia antrópica y en ecosistemas de páramo, bosque tropical y sabana.

Resultados y Discusión

Aspectos ecológicos e importancia forense

A través de los documentos se encontraron registros para 48 familias del orden Diptera (Tabla 2), 37 del Coleoptera (Tabla 1) y 13 del Hymenoptera (Tabla 3). El número de veces que cada familia apareció en los trabajos fue variable, con valores desde un registro hasta 34.

La mayoría de los estudios sobre entomología forense se han desarrollado en áreas urbanas o rurales, debido a que allí se presentan mayor cantidad de situaciones criminales y convirtiéndose en los lugares donde esta ciencia forense encuentra su aplicación. Estas condiciones definen una comunidad de insectos diferente a la que se encontraría en ambientes con menor grado de influencia antrópica y más conservados, que son elegidos con menor frecuencia para este tipo de estudios. En este sentido, un bajo número de registros para cierta familia puede deberse principalmente a dos aspectos: a que es un grupo incidental que utiliza el cadáver como una extensión de su hábitat natural aunque no necesariamente juegue un papel relevante en la descomposición o a que es un grupo indicador encontrándose solo en ambientes con características muy particulares.

Coleoptera. Las familias más frecuentemente recolectadas son Histeridae, Staphylinidae, Dermestidae, Cleridae, Scarabaeidae, Silphidae, Nitidulidae y Carabidae (Fig. 1), que son comúnmente consideradas de importancia forense (Jirón y Cartín 1981; Centeno *et al.* 2002; Mavárez-Cardozo *et al.* 2005; Gomes y Von-Zuben 2006; Oliva 2007; Cifuentes *et al.* 2009). Todas ellas presentan especies que exhiben una preferencia por diferentes fuentes de alimento que se hayan disponibles en un cadáver y se han ubicado principalmente en tres categorías ecológicas: las necrófagas como Dermestidae (Byrd y Castner 2001; Arnett y Thomas 2002), las que asumen un rol tanto necrófago como depredador como Silphidae (Smith 1986; Byrd y Castner 2001; Arnett y Thomas 2002), o aquellas que se comportan como depredadoras como Staphylinidae (Payne y King 1970; Oliva 1997; Byrd y Castner 2001).

Existen otras familias que se han recolectado con cierta frecuencia, sin embargo la comprensión de su plasticidad comportamental dentro del proceso de descomposición no ha sido estudiada suficientemente. Tal es el caso de las familias Nitidulidae, Cerambycidae, Curculionidae, Trogidae y Tenebrionidae, entre otras. Aunque algunas de las especies de éstas dos últimas, se han reportado como necrófagas (Alballay *et al.* 2008)

Diptera. Las familias con mayor número de registros son Calliphoridae, Muscidae, Sarcophagidae, Phoridae, Fanniidae y Piophilidae (Fig. 2).

En el campo forense es ampliamente conocido que Calliphoridae, Muscidae y Sarcophagidae incluyen especies de gran importancia no solo por ser primeras colonizadoras, sino porque las particularidades del ciclo de vida permiten establecer estimaciones del intervalo *postmortem* (Goff 1993; Wolff *et al.* 2001; Guimarães *et al.* 2004). Debido a esto, la información a nivel taxonómico,

biológico e incluso ecológico concerniente a estas familias esta mucho más consolidada que la que se tiene para otras familias de dípteros.

La presencia en la descomposición cadavérica de las familias Phoridae, Fanniidae y Piophilidae se sustenta en las preferencias de hábitat, específicamente para el caso de sus formas larvales quienes se crían en materia orgánica en descomposición (Peterson 1953; Byrd y Castner 2001).

Si bien es cierto que otras familias de Diptera han sido frecuentemente recolectadas e incluso consideradas de importancia forense, existen pocas evidencias sobre el rol asumido por estas en la descomposición. Debido a esto hay poca claridad sobre si pueden ser consideradas indicadoras forenses o si su relevancia se sustenta solo en el hecho de presentarse en un proceso de descomposición. Es el caso de familias Drosophilidae, Sepsidae, Ulidiidae, Stratiomyidae, Sphaeroceridae, Anthomyiidae (Fig. 2), entre otras, que se ubican en una o varias etapas de la descomposición. Aunque su frecuencia de recolección no sea muy alta, estas familias tienen en común que no se les ha estudiado con detalle en el contexto forense, de manera que se logre una definición más clara sobre su papel en la descomposición cadavérica.

Hymenoptera. Las familias Formicidae, Vespidae, Apidae, Braconidae e Ichneumonidae son las más frecuentemente recolectadas en estudios sobre entomología forense (Fig. 3) y en estas se concentra la información existente de este orden en el ámbito forense.

Individuos pertenecientes a las familias Formicidae, Vespidae y Apidae se han encontrado desempeñándose como necrófagos y depredadores (Payne y Mason 1971; Early y Goff 1986; Iannaccone 2003; Pérez *et al.* 2005; Aballay *et al.* 2008; Cifuentes *et al.* 2009).

Las familias Braconidae e Ichneumonidae muestran una relación ecológica como parasitoides de larvas y pupas de Diptera, entre otros organismos (Ugalde 2002; Tripplehorn y Johnson 2005). Estas familias tradicionalmente se han ubicado dentro de la categoría parásitos-depredadores, de acuerdo con la propuesta de Smith (1986). Sin embargo, esta es una categoría que no representa con fidelidad los hábitos de los grupos que allí se asignan. De acuerdo con esto, Cifuentes *et al.* (2009) proponen la categoría parásitos-parasitoides en la que ubican los himenópteros de estas dos familias.

Encyrtidae se considera parasitoide de dípteros (Ugalde 2002; Triplehorn y Johnson 2005) califóridos, sarcófagidos (Oliva 1997) y múscidos (Turchetto y Vanin 2004). A pesar de ser parasitoide de las tres familias de mayor importancia forense del orden Diptera, aún no se reconoce claramente su impacto forense, debido a la baja frecuencia de recolección (Oliva 1997; Martínez *et al.* 2006; Cifuentes *et al.* 2009).

En los estudios forenses (Moura 1997; Olaya 2001; Martínez *et al.* 2006; Segura *et al.* 2009), la ecología de los insectos se ha concebido desde las propuestas de Smith (1986), Leclercq (1978) y Braak (1987), agrupando los organismos de acuerdo con la actividad que realizan una vez establecidos en un cuerpo en descomposición. Sin embargo, Cifuentes *et al.* (2009) proponen una redefinición de estas categorías intentando mostrar que en la particularidad del caso existen unos organismos que se mantienen constantes en una categoría, a diferencia de otros que exhiben cierto grado de plasticidad comportamental y pueden moverse de una categoría a otra.

Existen familias cuya asignación a una categoría ecológica es problemática como consecuencia del desconocimiento de su ecología, biología, así como de su identidad taxonómica. Por esto se plantea la necesidad de afrontar la taxonomía de los insectos de importancia forense y abordar estudios que

centren sus metodologías en caracterizar objetivamente el rol que cada uno de estos grupos problema desempeñan a lo largo de la descomposición cadavérica.

Necesidades de estudios taxonómicos

La familia Calliphoridae incluye 126 especies (Amorim *et al.* 2002) y es la familia más documentada en el campo forense. Debido a su importancia, se han desarrollado revisiones taxonómicas (Mello 1968; Dear 1985; Lopes y Albuquerque 1982; Baumgartner y Greenberg 1984), claves (Mariluis 1981; Peris 1992; Carvalho y Ribeiro 2000; Mariluis y Schnack 2001; Mello 2003; Amat *et al.* 2008) y catálogos (James 1970).

La familia Muscidae se ha estudiado ampliamente, encontrando los mayores avances en cuanto a su taxonomía en la última década, en la que se han generado descripciones de nuevas especies, inventarios locales (Couri y Carvalho 2005), revisiones de algunos géneros (Schuehli *et al.* 2004; Pérez *et al.* en prensa), así como un catálogo para el Neotrópico (Carvalho *et al.* 2005). No obstante, a nivel de esta región hay pocos especialistas y debido a que las contribuciones a la taxonomía de este grupo han sido recientes, el conocimiento de las especies de importancia forense de este grupo es escaso (Pérez 2007), en especial de las formas inmaduras.

Los sarcófagos neotropicales son un grupo de reconocida importancia forense debido a que son principalmente necrófagos (Barros *et al.* 2008), pueden comportarse como primeros colonizadores de cadáveres y a que algunas especies pueden llegar a ser indicadoras de ciertas etapas de la descomposición (Jirón *et al.* 1983; Byrd y Castner 2001; Pérez *et al.* 2005; Martínez *et al.* 2006). En el Neotrópico el conocimiento taxonómico de este grupo es aun escaso, especialmente en cuanto a las formas inmaduras; se cuenta con pocos especialistas, aunque los estudios taxonómicos (Dodge 1965) como revisiones de géneros (Lopes 1950; Mello-Patiu 2002; Mariluis 2004; Buenaventura y Pape en prensa), producción de claves (Carvalho y Mello-Patiu 2008; Buenaventura *et al.* 2009; Pape y Dahlem en prensa) y catálogos (Pape 1996) se han incrementado.

El proceso de producción de conocimiento taxonómico de los Fanniidae es similar al de Muscidae, presentándose los mayores avances en la última década con contribuciones de trabajos taxonómicos (Domínguez 2007; Wendt y Carvalho 2009; Grisales *et al.* en prensa) y un catálogo para el Neotrópico (Carvalho *et al.* 2003), así como de distribución geográfica (Couri y Carvalho 2005).

La fauna Neotropical de Phoridae es pobremente conocida (Brown y Kung 2004), contando con unos pocos trabajos de revisión de géneros que no se han encontrado en contextos forenses. Se sabe que por lo menos una especie de esta familia (Reibe y Madea 2009), así como de Piophilidae (Ozerov y Norrbom 2009) es de importancia forense y que su abundancia en cadáveres es alta, por lo que en ciertas situaciones criminales el conocimiento de su taxonomía, entre otros aspectos, puede ser crucial.

Una o dos especies por cada familia del orden Coleoptera se consideran de importancia médico-legal, cuya taxonómica es bien conocida. No es el caso de la familia Staphylinidae, que incluye bastantes registros a nivel de especie en trabajos de entomología forense. Las especies de esta familia resaltan por su importante rol ecológico como depredadoras, por lo que se han desarrollado trabajos taxonómicos (Navarrete-Heredia *et al.* 2002), listas de chequeo por países (Asenjo 2004; Newton *et al.* 2005) y trabajos sobre la distribución en el Neotrópico (Fierros-López 2006).

Mientras en otras regiones biogeográficas se han determinado las especies de importancia forense del orden Hymenoptera (Castillo 2001; Martínez *et al.* 2002), los trabajos en este ámbito en la región neotropical son escasos (Gomes *et al.* 2007; Oliva 2008). En un gran número de estudios de entomología forense los individuos de Hymenoptera no han sido identificados hasta el nivel de especie, debido a la carencia de especialistas y claves taxonómicas. Aunque estos grupos no

presentan alta abundancia, su rol como depredadores o parásitos-parasitoides puede afectar las tasas de descomposición cadavérica.

Literatura citada

- ABALLAY, F. H.; MURÚA, A. F.; ACOSTA, J. C.; CENTENO, N. 2008. Primer registro de artropodofauna cadavérica en sustratos humanos y animales en San Juan, Argentina. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina* 67 (3-4): 157-163.
- AMAT, E.; VÉLEZ, M. C.; WOLFF, M. 2008. Clave para la identificación de los géneros y las especies de califóridos (Diptera: Calliphoridae) de Colombia. *Caldasia* 30 (1): 231-244.
- AMORIM, D. S.; SILVA, C.; BALBI, M. I. 2002. Estado do conhecimento dos diptera neotropicais. Pags. 29-36 En: Costa, C.; Vanin, S. A.; Lobo, J. M.; Melic, A. (Eds.). *Monografías tercer milenio*, Vol 2. Sociedad Entomológica Aragonesa, Zaragoza.
- ASENJO, A. 2004. Lista preliminar de las especies de Staphylinidae (Coleoptera) registradas para Perú. *Revista Peruana de Entomología* 44: 55-64.
- BARROS, R.; MELLO-PATIU, C.; PUJOL-LUZ, J. 2008. Sarcophagidae (Insecta, Diptera) associados à decomposição de carcaças de *Sus scrofa* Linnaeus (Suidae) em área de Cerrado do Distrito Federal, Brasil. *Revista Brasileira de Entomologia* 52 (4): 606-609.
- BARRETO, M.; BURBANO, M.; BARRETO, P. 2002. Flies (Calliphoridae, Muscidae) and Beetles (Silphidae) from human cadavers in Cali, Colombia. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz* 97 (1): 137-138.
- BAUMGARTNER, D.; GREENBERG, B. 1984. The genus *Chrysomya* (Diptera: Calliphoridae) in the New World. *Journal of Medical Entomology* 21: 105-113.
- BRAACK, L. 1987. Community dynamics of carrion-attendant arthropods in tropical African woodland. *Oecologia* 72: 402-409.
- BROWN, B. V.; KUNG, G. 2004. Two new genera of Phoridae (Insecta: Diptera) from the Neotropical Region. *Zootaxa* 554: 1-7.
- BUENAVENTURA, E.; CAMACHO, G.; GARCÍA, A.; WOLFF, M. 2009. Sarcophagidae (Diptera) de importancia forense en Colombia: claves taxonómicas, notas sobre su biología y distribución. *Revista Colombiana de Entomología* 35 (2): 189-196.
- BUENAVENTURA, E.; PAPE, T. En prensa. Revision of the genus *Peckia* Robineau-Desvoidy (Diptera: Sarcophagidae).
- BYRD, J. H.; CASTNER, J. L. 2001. Forensic Entomology. The utility of arthropods in legal investigation. CRC. Washington D. C, 418 p.
- CALDERÓN-ARGUEDAS, O.; TROYO, A.; SOLANO, M. E. 2005. Sucesión de larvas de muscoideos durante la degradación cadavérica en un bosque premontano húmedo tropical. *Revista Biomédica* 16: 79-85.
- CAMACHO, G. 2005. Sucesión de la entomofauna cadavérica y ciclo vital de *Calliphora vicina* (Diptera: Calliphoridae) como primera especie colonizadora, utilizando cerdo blanco (*Sus scrofa*) en Bogotá. *Revista Colombiana de Entomología* 31 (2): 189-197.
- CARVALHO, C. J. B.; COURI, M. S.; PONT, A. C.; PAMPLONA, D.; LOPES, S. M. 2005. A Catalogue of the Muscidae (Diptera) of the Neotropical Region. *Zootaxa* 860: 1-282.
- CARVALHO, C. J. B.; MELLO-PATIU, C. A. 2008. Key to the adults of the most common forensic species of Diptera in South America. *Revista Brasileira de Entomologia* 52 (3): 390-406.
- CARVALHO, C. J.; RIBEIRO, P. B. 2000. Chave de identificação das espécies de Calliphoridae (Diptera) do sul do Brasil. *Revista Brasileira de Parasitologia y Veterinaria* 9:169-173.

- CARVALHO, L. M. L.; THYSSEN, P. J.; LINHARES, A. X.; PALHARES, F. A. B. 2000. A checklist of arthropods associated with pig carrion and human corpses in southeastern Brazil. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz* 95 (1): 135-138.
- CASTILLO, M. 2001. Principales especies del orden Hymenoptera presentes en carroña de cerdos en la comarca de La Litera (Huesca). *Zapateri Revista aragonesa de entomología* 9: 89-92.
- CENTENO, N.; MALDONADO, M.; OLIVA, A. 2002. Seasonal patterns of arthropods occurring on sheltered and unsheltered pig carcasses in Buenos Aires province (Argentina). *Forensic Science International* 126: 63-70.
- CIFUENTES, E.; HOLGUÍN, A. M.; CAMACHO, G. P.; SEGURA, A. 2009. Categorías ecológicas de la entomofauna asociada a tejido de cerdo (*Sus scrofa*) en descomposición, en dos zonas urbanas de la ciudad de Manizales, Colombia. *Colombia Forense* 1 (2): 9-22.
- COURI, M. S.; CARVALHO, C. J. B. 2005. Diptera Muscidae do Estado do Rio de Janeiro (Brasil). *Biota Neotropica* 5 (2): BN01505022005.
- COURI, M. S.; CARVALHO, C. J. B. 2005b. Diptera Fanniidae do Estado do Rio de Janeiro (Brasil). *Biota Neotropica* 5 (2): BN01605022005.
- CRUZ, T. M.; VASCONCELOS, S. D. 2006. Entomofauna de solo associada a decomposição de carcaça de suíno em um fragmento de Mata Atlântica de Pernambuco, Brasil. *Biociências* 14: 193-201.
- DEAR, J. 1985. A revision of the new world Chrysomyini (Diptera: Calliphoridae). *Revista Brasileira de Zoologia* 3: 109-169.
- DODGE, H. 1965. The Sarcophagidae (Diptera) of the West Indies. II. Jamaica. *Annals of The Entomological Society of America* 58 (4): 497-517.
- DOMINGUEZ, M. C. 2007. A taxonomic revision of the Southern South American species of the genus *Fannia* Robineau-Desvoidy (Diptera: Fanniidae). *Pap Avul Zoo* 47 (24):289-347.
- EARLY, M.; GOFF, M. 1986. Arthropod succession patterns in exposed carrion on the island of O'ahu, Hawaiian Islands, U.S.A. *Journal of Medical Entomology* 23 (5): 520-531.
- FIERROS-LÓPEZ, H. E. 2006. Datos nuevos de distribución de algunas especies de Scaphidiinae Neotropicales (Coleoptera: Staphylinidae). *Dugesiana* 13 (1): 39-43.
- GARCÉS, P. A.; BERMUDEZ, S.; QUINTERO, G. 2004. Determinación de la entomofauna asociada a carcasas de cerdos domésticos vestidos (*Sus scrofa*), en el Puerto de Vacamonte, Prov. de Panamá. *Tecnociencia* 66 (22): 59-74.
- GOFF, M. L. 1993. Festín de Pruebas Insectos al Servicio Forense. Informe científico patología forense. No. 4. INML y CF. Memorias del Taller de la Academia de Ciencias Forenses, Reunión Anual de la AAFS. Boston, Massachussets. 28-34 pp.
- GOMES, L.; VON ZUBEN, C. J. 2006. Forensic Entomology and Main Challenges in Brazil. *Neotropical Entomology* 35 (1):001-011.
- GOMES, L.; GOMES, G.; OLIVEIRA, H. G.; MORLIN, J. M.; DESUO, I. C.; QUEIROZ, M. M. C.; GIANNOTTI, E.; VON ZUBEN, C. J. 2007. Occurrence of Hymenoptera on *Sus scrofa* carcasses during summer and winter seasons in southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Entomologia* 51 (3): 394-396.
- GRIMALDI, D.; ENGEL, M. S. 2005. Evolution of insects. Cambridge University Press. 772 p.
- GRISALES, D.; WOLFF, M.; CARVALHO, C. J. B. En prensa. Taxonomía de Fanniidae (Diptera) de Colombia.
- GUARÍN, E. G. 2005. Insectos de importancia forense asociados a la descomposición cadavérica del cerdo *Sus domesticus*, expuesto a sol, sombra total y sombra parcial, en Mayagüez, Puerto Rico. Tesis grado de Maestro en Ciencias, Universidad de Puerto Rico. 136 p.

- GUIMARÃES, R.; BORJA, G.; PILE E.; GUIMARÃES, R.; SAMPAIO, F. 2004. Constance coefficient of blowflies (Diptera: Calliphoridae) Nova Iguaçu, Rio de Janeiro, Brasil. Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa1 (35): 251–255.
- IANNACONE, J. 2003. Artropofauna de importancia forense en un cadáver de cerdo en el Callao, Peru. Revista Brasileira de Zoologia 20 (1): 85-90.
- JAMES, M. T. 1970. Family Calliphoridae. En: A Catalogue of the America South of The United States, Sao Paulo, Museu de Zoologia da USP, Sao Paulo. Fas. 102: 88 pp.
- JIMÉNEZ, S. S.; LATORRE, L. 2003. Determinación de la incidencia del sol y la sombra en la sucesión de la entomofauna cadavérica en dos cerdos (*Sus scrofa*) ubicados en la Estación -XXVI-de Carabineros Coronel José A. Ramos del Parque Nacional Bogotá. Tesis Licenciado en Biología, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. 158 p.
- JIRÓN, L. F.; CARTÍN, V. M. 1981. Insect succession in the decomposition of a mammal in Costa Rica. New York Entomological Society 89 (3): 158-165.
- JIRÓN, L. F.; VARGAS, L. J.; VARGAS-ALVARADO, E. 1983. Tour muscoid flies (Sarcophagidae and Muscidae) associated with human cadavers in Costa Rica. Brenesia 21: 3-5.
- LECLERCQ, M. 1978. Entomologie et Médecine Légale. Datation de la mort. Ed. Masson. París. 100 pp.
- LIRIA, J. 2006. Insectos de importancia forense en cadáveres de ratas, Carabobo – Venezuela. Rev Peru Med Exp Salud Publica 23 (1): 33-38.
- LOPES, H. 1950. On the genera *Boettcheria* Parker, 1914 and *Boettcherimima* n. gen. (Diptera Sarcophagidae). Memórias do Instituto Oswaldo Cruz 48: 711-732.
- LOPES, H. S.; ALBUQUERQUE, D. O. 1982. Notes on Neotropical Calliphoridae (Diptera). Revista Brasileira de Biologia 42: 63-69.
- MARILUIS, J. C. 1981. Clave para la identificación de los Calliphoridae de la republica Argentina (Diptera). Revista de la Sociedad Entomológica Argentina 40: 27-30.
- MARILUIS, J. C.; SCHNACK, J. A. 2001. Calliphoridae de la Argentina Sistemática, Ecología e Importancia Sanitaria (Diptera, Insecta) p. 23-37. En: Salomon, O. (Ed.). Actualizaciones en Artropodología sanitaria Argentina, Monográfica N 2 Fundación Mundo Sano.
- MARILUIS, J. 2004. *Microcerella* (Diptera: Sarcophagidae) from Argentinean Patagonia: New records and new species. Revista de la Sociedad Entomológica Argentina 63 (1-2): 41-44.
- MARTINEZ, E.; DUQUE, P.; WOLFF, M. 2006. Succession pattern of carrion-feeding insects in Paramo, Colombia. Forensic Science International 166 (2007) 182–189.
- MARTÍNEZ, M. D.; ARNALDOS, M. I.; ROMERA, E.; GARCÍA, M. D. 2002. Los Formicidae (Hymenoptera) de una comunidad sarcosaprófaga en un ecosistema mediterráneo. Anales de Biología 24: 33-44.
- MAVÁREZ-CARDOZO, M. G.; ESPINA DE FERREIRA, A. I.; BARRIOS-FERRER, F. A.; FERREIRA-PAZ, J. L. 2005. La entomología forense y el Neotrópico. Cuad Med Forense 11 (39):23-33.
- MELLO, R. P. 1968. Contribução ao estudo do gênero "*Paralucilia*" Brauer & Bergenstamm, 1891 (Diptera, Calliphoridae). Revista Brasileira de Biologia 28: 177-192.
- MELLO, R. P. 2003. Chave para la identificação das formas adultas das especies da familia Calliphoridae (Diptera, Brachycera, Cyclorrhapha) encontradas no Brasil. Entomologia y Vectores 10 (2):255-268.
- MELLO-PATIU, C. 2002. Revision of some *Dexosarcophaga* species described by R. Dodge (Diptera: Sarcophagidae). Zootaxa 122: 1-16.
- MENDOZA, J. C. 2006. Sucesión de la entomofauna cadavérica en un cerdo blanco (*Sus scrofa*) en una cueva del municipio de Quipile vereda El Retiro Cundinamarca. Tesis de grado, Licenciado en Biología, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. 169 p.

- MISE, K. M. 2006. Estudio da fauna de Coleoptera (Insecta) que habita a carcaça de *Sus scrofa* Linnaeus, 1758, em Curitiba, Paraná. Tese de mestrado, Departamento de Zoologia, Universidade Federal do Paraná. 80 p.
- MOURA, M. O.; CARVALHO, C. J. B.; MONTEIRO-FILHO, E. L. A. 1997. A preliminary analysis of insects of medico-legal importance in Curitiba, state of Paraná. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz* 92 (2): 269-274.
- NAVARRETE-HEREDIA, J. L.; NEWTON, F. A.; THAYER, K. M.; ASHE, J. S.; CHANDLER, D. S. 2002. Guía ilustrada para los géneros de Staphylinidae (Coleoptera) de México. Universidad de Guadalajara y CONABIO, México. 401p.
- NEWTON, A. F.; GUTIÉRREZ, C.; CHANDLER, D. S. 2005. Checklist of the Staphylinidae (Coleoptera) of Colombia. *Biota Colombiana* 6 (1): 1-72.
- OLAYA, L. 2001. Entomofauna sucesional en el cadáver de un cánido en condiciones de campo en la universidad del valle (Cali-Colombia). *Cuadernos de Medicina Forense*. 23: 5-14.
- OLIVA, A. 1997. Insectos de interés forense de Buenos Aires (Argentina). Primera lista ilustrada y datos binómicos. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales "Bernardo Rivadavia" e Instituto Nacional de Investigaciones de la Ciencia*. Buenos Aires Vol. 7. No. 2. Pág 13-59.
- OLIVA, A. 2001. Insects of forensic significance in Argentina. *Forensic Science International* 120: 145-154.
- OLIVA, A. 2002. Díptera (Insecta) de interés forense o causante de miasis. Claves artificiales para estadíos preimaginales. 51-60. En: Salomón, O. (Ed.). 2002. Actualizaciones en artropodología sanitaria argentina. Serie enfermedades transmisibles. Publicación monográfica 2. Mundo Sano. Buenos Aires, Argentina. 302 p.
- OLIVA, A. 2002. Entomología forense en la Argentina. 39-43. En: Salomón, O. (Ed.). 2002. Actualizaciones en artropodología sanitaria argentina. Serie enfermedades transmisibles. Publicación monográfica 2. Mundo Sano. Buenos Aires, Argentina. 302 p.
- OLIVA, A. 2007. Frecuencia y distribución temporal de moscas cadavéricas (Diptera) en la ciudad de Buenos Aires. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales* 9 (1): 5-14.
- OLIVA, A. 2008. Parasitoid wasps (Hymenoptera) from puparia of sarcosaprophagous flies (Diptera: Calliphoridae; Sarcophagidae) in Buenos Aires, Argentina. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina* 67 (3-4): 139-141.
- OLIVEIRA-COSTA, J.; LOPES, S. M. 2000. A relevância as entomologia forense para a perícia criminal na elucidação de um caso de suicídio. *Entomologia y Vectores*: 7 (2): 203-209.
- ORDOÑEZ, A.; GARCÍA, M. D.; FAGUA, G. 2008. Evaluation of Efficiency of Schoenly Trap for collecting adult sarcosaprophagous Dipterans. *Journal of Medical Entomology* 45 (3): 522-532.
- OZEROV, A.; NORRBOM, A. 2009. Piophilidae. En: Brown, B. V.; Borkent, A.; Cumming, J. M.; Wood, D. M.; Woodley, N. E.; Zumbado, M. (Eds). *A manual of Central American Diptera*, Vol. 1. National Research Council (NRC), Canada. 714 p.
- PAPE, T. 1996. Catalogue of the Sarcophagidae of the world (Insecta: Diptera). *Memoirs of Entomology, International* 8: 558 p.
- PAPE, T.; DAHLEM, G. En prensa. Sarcophagidae. En: Brown, B.; Borkent, A.; Cumming, J.; Wood, D.; Woodley, N.; Zumbado, M. (Eds). *A manual of Central American Diptera*, Vol. 2. NRC. Press, Ottawa.
- PÉREZ, S. 2007. Muscidae (Diptera) de importancia forense en Colombia: importancia forense y distribución. *Memorias XXXIV Congreso de Entomología, Sociedad Colombiana de Entomología*: 105-113.

- PÉREZ, S.; DUQUE, P.; WOLFF, M. 2005. Successional behavior and occurrence matrix of carrion-associated arthropods in the urban area of Medellín, Colombia. *Journal Forensic Science* 50 (2): 1-7.
- PÉREZ, S.; WOLFF, M.; CARVALHO, C. J. B. En prensa. Muscidae (Diptera) de Colombia.
- PERIS, S. V. 1992. Claves preliminares para los géneros de las subfamilias Toxotarsinae, Chrysominae y Rhiniinae (Diptera: Calliphoridae) del Mundo. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural* 88: 79-98.
- PETERSON, A. 1953. Larvae of insects. An introduction to Nearctic species. Part II. Edwards Brothers. Columbus, Ohio. 416 p.
- REIBE, S.; MADEA, B. 2009. Use of *Megaselia scalaris* (Diptera: Phoridae) for post-mortem interval estimation indoors. *Parasitology Research* 106 (3): 637-640.
- ROSA, T. A.; BABATA, M. Y.; DE SOUZA, C. M.; DE SOUSA, D.; MELLO-PATIU, C. A.; MENDES, J. 2009. Dípteros de interesse forense em dois perfis de vegetação de cerrado em Uberlândia, MG. *Neotropical Entomology* 38 (6):859-866.
- SALAZAR-ORTEGA, J. 2008. Estudio de entomofauna sucesional asociada a descomposición (*Sus scrofa*) en condiciones de campo. *Universitas Scientiarum* 13 (1): 21-32.
- SEGURA, N. A.; USAQUÉN, W.; SÁNCHEZ, M. A.; CHUAIRE, L.; BELLO, F. 2009. Succession pattern of cadaverous entomofauna in a semi-rural area of Bogotá, Colombia. *Forensic Science International* 187: 66-72.
- SCHUEHLI, G. S.; CARVALHO, C. J. B.; WIEGMANN, B. M. 2004. Regarding the taxonomic status of *Ophyra* Robineau-Desvoidy (Diptera: Muscidae): A molecular approach. *Zootaxa* 712: 1-12.
- SMITH, K. G. 1986. A Manual Forensic Entomology. University Printing House. London. 205 p.
- TRIPPLEHORN, C.; JOHNSON, N. 2005. Study of insect. Seven Edition. Harcourt Brace College Publishers. United States of America. 864 p.
- TURCHETTO, M.; VANIN, S. 2004. Forensic evaluations on a crime case with monospecific necrophagus fly population infected by two parasitoid species. *Journal of Forensic Medicine and Toxicology* 5 (1): 12-18.
- UGALDE, J. 2002. Avispas, abejas y hormigas de Costa Rica. Instituto Nacional de Biodiversidad InBio. Costa Rica. 174 p.
- VASQUEZ, L.; SERNA, L. A. 2005. Caracterización de la entomofauna asociada a la descomposición cadavérica, utilizando cerdo blanco (*Sus scrofa*) en condiciones ambientales de bosque seco tropical. Tesis Biología, Universidad Atlántico. 108 p.
- WENDT, L. D.; CARVALHO, C. J. B. 2009. Taxonomia de Fanniidae (Diptera) do sul do Brasil – II: Novas espécies e chave de identificação de *Fannia* Robineau-Desvoidy. *Revista Brasileira de Entomologia* 53 (2): 171-206.
- WOLFF, M.; URIBE, A.; ORTIZ, A.; DUQUE, P. 2001. A preliminary study of forensic entomology in Medellín, Colombia. *Forensic Science International* 120: 53-59.

Tabla 1a. Familias de Coleoptera registrados en 38 trabajos de Entomología forense de la región Neotropical.

Orden	Familia	Estudio																					
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Coleoptera	Anthicidae																						
	Bostrichidae																				1		
	Buprestidae						1																
	Cantharidae															1						1	
	Carabidae															1					1	1	
	Cerambycidae															1					1	1	
	Cholevidae														1								
	Chrysomelidae																					1	
	Cleridae	1					1	1	1	1		1	1	1		1	1			1		1	
	Coccinellidae						1															1	
	Curculionidae																				1	1	
	Dermestidae	1		1			1	1	1	1		1	1	1		1	1			1		1	
	Dryopidae																					1	
	Dytisidae																						
	Elateridae																					1	
	Geotrupidae																			1			
	Histeridae	1		1			1	1		1		1	1	1		1	1			1	1	1	
	Hydrophilidae								1														1
	Lampyridae																					1	
	Lathridiidae																					1	
	Leiodidae																					1	
	Lycidae																						
	Lyctidae																						
	Melolontidae																						
	Melyridae																						
	Nitidulidae								1	1											1	1	
	Odemeridae																						
	Phengodidae															1						1	
	Ptiliidae																					1	
	Ptilodactylidae																					1	
	Rhizophagidae																					1	
	Scarabaeidae		1	1			1					1				1	1	1			1	1	
	Scolytidae																						
	Silphidae			1					1			1	1			1	1			1		1	
	Staphylinidae			1			1	1		1		1		1	1	1	1			1	1	1	
	Tenebrionidae							1						1							1	1	
	Trogidae												1	1	1						1	1	

[illegible]

Tabla 2a. Familias de Diptera registrados en 38 trabajos de Entomología forense de la región Neotropical.

		Estudio																						
Orden	Familia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
Diptera	Anthomyiidae													1					1				1	
	Anthomyzidae																							
	Asilidae						1																	
	Bibionidae																1							
	Bombyliidae																1							
	Calliphoridae	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1		1
	Cecidomyiidae																							
	Ceratopogonidae																							
	Chironomidae																							
	Chloropidae			1																				
	Chloropidae																1							
	Clusiidae																							
	Conopidae																							
	Culicidae																							
	Dolichopodidae															1	1							
	Drosophilidae			1		1		1				1				1	1				1	1		1
	Empididae																							
	Ephydriidae																							
	Fanniidae					1	1	1				1	1		1	1	1			1	1			1
	Heleomyzidae																							
	Hydrophilidae						1																	
	Lauxaniidae																1							
	Micropezidae					1	1										1					1		
	Milichiidae																					1		
	Muscidae		1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1
	Mycetophilidae																							
	Neriidae																1	1						
	Odiniidae																1							
	Uliidae			1				1									1					1		1
	Phoridae			1		1		1	1	1	1	1	1	1		1	1	1			1	1		1
	Piophilidae			1		1		1	1	1	1	1		1	1		1	1			1			1
	Pipunculidae																							
	Psychodidae							1	1			1												
	Richardiidae																1							
	Ropalomeridae																1							
	Sarcophagidae		1		1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1			1	1		1
	Scatopsidae							1				1												
	Sciaridae																							
	Sciomyzidae																							
	Sepsidae						1									1	1							1
	Simuliidae																							
	Sphaeroceridae															1								1
	Stratiomyidae							1	1			1					1				1			1
	Syrphidae																1							
	Tabanidae																1							
	Tachinidae																1							
	Tephritidae																1	1						
	Tipulidae																1							

Tabla 2b. Familias de Diptera registrados en 38 trabajos de Entomología forense de la región Neotropical.

Orden	Familia	Estudio																Total
		23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	
Diptera	Anthomyiidae						1	1										5
	Anthomyzidae						1											1
	Asilidae																	1
	Bibionidae						1											2
	Bombyliidae																	1
	Calliphoridae	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	34
	Cecidomyiidae													1				1
	Ceratopogonidae																1	1
	Chironomidae							1						1			1	3
	Chloropidae			1											1		1	4
	Chloropidae						1	1	1				1					5
	Clusiidae						1	1										2
	Conopidae											1						1
	Culicidae			1				1		1		1						4
	Dolichopodidae			1			1	1					1					6
	Drosophilidae			1				1				1	1	1	1		1	16
	Empididae													1				1
	Ephydriidae							1									1	2
	Fanniidae		1	1				1	1	1	1	1				1	1	20
	Heleomyzidae											1					1	2
	Hydrophilidae																	1
	Lauxaniidae																	1
	Micropezidae																	4
	Milichiidae																	1
	Muscidae	1		1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	33
	Mycetophilidae							1						1			1	3
	Neriidae									1								3
	Odiniidae							1										2
	Uliidiidae			1	1				1			1	1		1			11
	Phoridae	1		1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	27
	Piophilidae				1		1		1			1	1		1	1	1	20
	Pipunculidae			1			1	1										3
	Psychodidae			1			1						1	1				7
	Richardiidae																	1
	Ropalomeridae																	1
	Sarcophagidae	1		1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	31
	Scatopsidae						1	1										4
	Sciaridae			1									1	1			1	4
	Sciomycidae												1					1
Sepsidae			1			1	1				1	1	1	1		1	12	
Simuliidae													1				1	
Sphaeroceridae			1			1	1		1			1	1		1		9	
Stratiomyidae	1		1						1		1			1			11	
Syrphidae				1		1			1		1	1		1		1	8	
Tabanidae												1					2	
Tachinidae						1						1					3	
Tephritidae										1		1					4	
Tipulidae																1	2	

Tabla 3a. Familias de Hymenoptera registrados en 38 trabajos de Entomología forense de la región Neotropical.

Orden	Familia	Estudio																					
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Hymenoptera	Apidae			1			1																
	Braconidae						1																
	Cabronidae													1									
	Chalcididae																						
	Colletidae																						
	Encyrtidae																						
	Formicidae		1	1			1	1	1	1		1		1	1		1						
	Halictidae																						
	Ichneumonidae			1																	1		
	Mutilidae																						
	Pteromalidae																				1		
	Sphecidae																						
	Vespidae			1			1	1		1				1			1						

Tabla 3b. Familias de Hymenoptera registrados en 38 trabajos de Entomología forense de la región Neotropical.

Orden	Familia	Estudio																Total
		23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	
Hymenoptera	Apidae			1	1				1	1	1	1			1		1	10
	Braconidae			1									1			1	1	5
	Cabronidae																	
	Chalcididae			1									1					2
	Colletidae								1									1
	Encyrtidae												1				1	2
	Formicidae		1		1				1	1	1	1			1		1	18
	Halictidae				1							1						2
	Ichneumonidae			1									1				1	5
	Mutilidae				1													1
	Pteromalidae																	1
	Sphecidae												1					1
	Vespidae				1				1	1	1	1	1		1		1	14

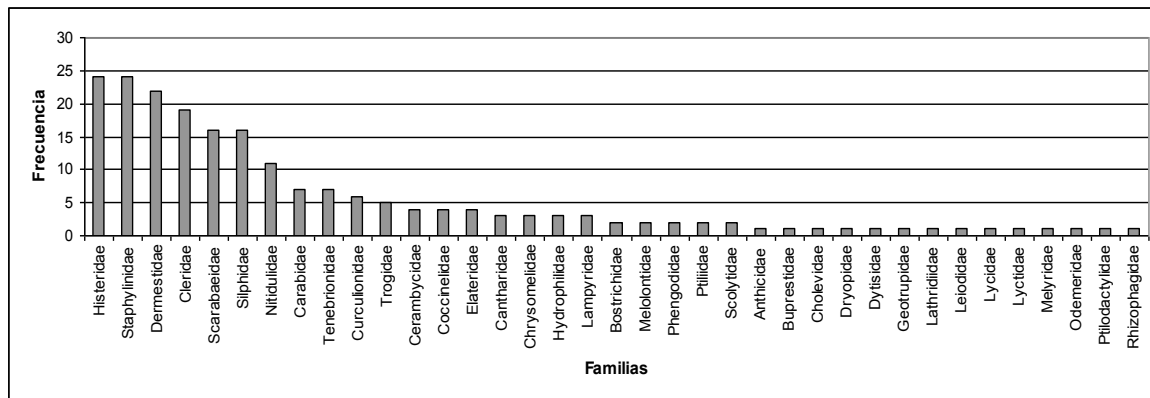


Figura 1. Frecuencia de recolección de familias del orden Coleoptera en trabajos de entomología forense.

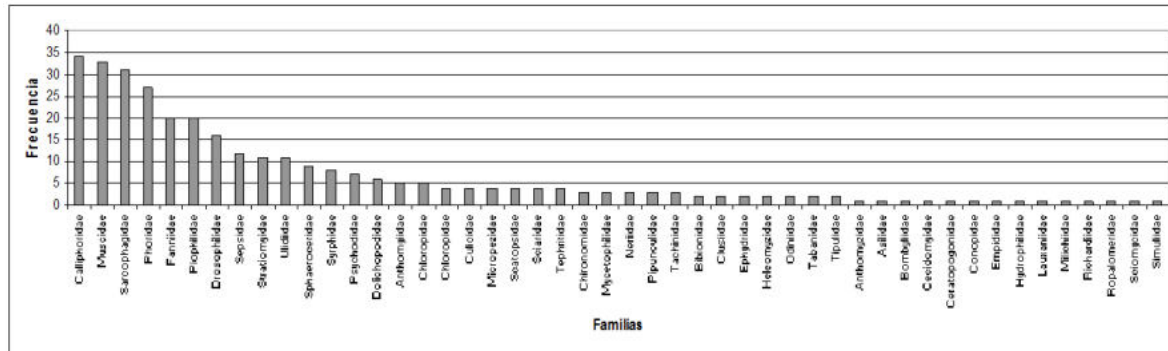


Figura 2. Frecuencia de recolección de familias del orden Diptera en trabajos de entomología forense.

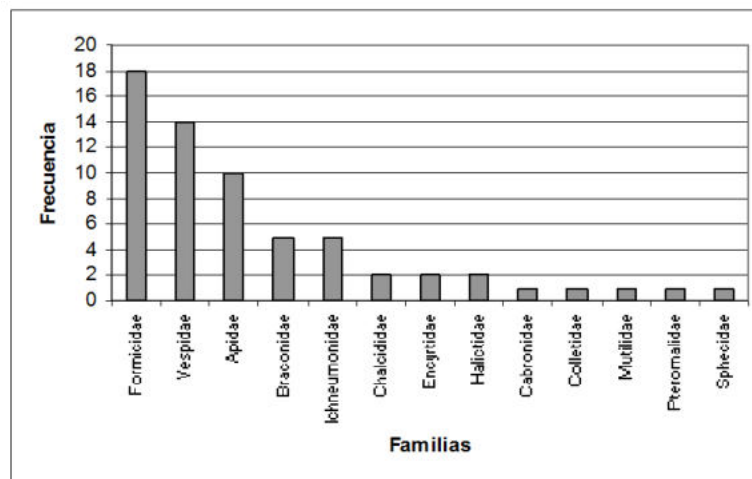


Figura 3. Frecuencia de recolección de familias del orden Hymenoptera en trabajos de entomología forense.

Entomología forense en Colombia y sus implicaciones en la actividad pericial

Forensic entomology in Colombia and its implications for legal processes

Nidya Alexandra Segura Guerrero

Estudiante de Doctorado en Ciencias Biomédicas – Universidad del Rosario, Magíster en Biología, Universidad Nacional de Colombia, *nasegurag@gmail.com*

Resumen

La entomología forense se inició en Colombia en el año 1999 con el estudio de Olaya sobre la entomofauna asociada a dos cadáveres de canidos, al mismo tiempo, en el Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses-Bogotá se realizaba el primer curso internacional sobre entomología forense. A partir de ese momento, los trabajos en el área de la han teniendo gran aumento. Los trabajos en el área de la entomología forense se han enfocado principalmente a cinco áreas del conocimiento como son patrones sucesionales, datos de desarrollo, taxonomía, sinantropía y entomotoxicología. Sin embargo, la mayor parte de la literatura científica del área se ha enfocado a lo relacionado con los patrones sucesionales, pese a esto, aun existen grandes vacíos en el conocimiento, ya que diversas regiones colombianas no han sido estudiadas aun, así mismo, no existen datos de desarrollo y ciclo de vida de especies neotropicales de la familia Calliphoridae que son en muchos casos forenses los primeros colonizadores de cadáveres. Por lo tanto, estos vacíos afectan grandemente las estimaciones del tiempo de muerte, ya que en diversas ocasiones, la carencia de datos impide la realización exitosa de informes periciales.

Palabras clave: Entomología forense. Sucesión. Ciclo de vida. Colombia.

Abstract

Forensic entomology began in Colombia in 1999 with the study of Olaya on the insect fauna associated with two dogs corpses, at the same time, The Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses-Bogotá did the first international course of forensic entomology. From that currently work in the area has been having great increase. The work in the forensic entomology area has focused primarily on five areas of knowledge such as successional patterns, data development, taxonomy, sinantropy and entomotoxicology. However, most of the scientific literature area has focused on patterns related to succession, despite this, there are still large gaps in knowledge, as several Colombian regions not have been studied yet, also, there are not data development and life cycle of Neotropical Calliphoridae are in many forensic cases the first settlers of corpses. Therefore, these gaps affect greatly the time estimation of death, because on several occasions, the lack of data prevents the successful completion of expert reports.

Key words: Forensic entomology. Life cycle. Succession. Colombia

Introducción

En el mundo se usan comúnmente diferentes herramientas forenses, tales como la botánica, la antropología, la genética y la entomología con el fin de datar decesos, establecer las causas de la muerte y el lugar donde esta tuvo lugar (Byrd y Castner, 2001). Sin embargo, la herramienta más precisa para estimar el tiempo aproximado de muerte es la entomología forense, ya que permite establecer con relativa exactitud, teniendo en cuenta diversas variables, la edad de los primeros

insectos que descubrieron y colonizaron los cadáveres (Anderson 2000), así como el patrón sucesional de dípteros y coleópteros de importancia forense de un área determinada (Goff, 1993a).

En Colombia, esta disciplina ha presentado un gran auge desde 1999, momento en el cual Adriana Olaya, bajo la dirección de la Dra. Nancy Barreto, de la Universidad del Valle, realizaron el primer estudio de sucesión de la entomofauna cadavérica asociada a cadáveres de canidos en condiciones de campo, concomitantemente, el Instituto Nacional de Medicina Legal realizó el primer curso internacional de entomología forense, que fue realizado por la Dra. Marta Wolff y el Dr. Marck Benecke. A partir de ese momento, los registros bibliográficos e investigaciones en el área han venido en aumento.

El objetivo del presente trabajo fue dar un panorama general del estado actual de las investigaciones en el área, específicamente en lo correspondiente a los patrones sucesionales que son empleados para estimar tiempos de muerte en investigaciones legales.

Metodología

Empleando fuentes primarias (libros, revistas científicas y trabajos de grado) y secundarias (bases de datos, resúmenes y memorias de congresos) se realizó una recopilación de cuarenta trabajos en el área de entomología forense. Cada área establecida fue clasificada de acuerdo a las palabras claves o a las palabras del título, de esta manera, los trabajos se dividieron en cinco áreas básicas: sucesión, ciclo de vida de las principales especies colonizadoras, taxonomía, sinantropía y entomotoxicología. Sin embargo, es posible que otras áreas se queden sin mencionar.

Resultados y Discusión

De manera general, al realizar análisis descriptivos se evidenció el predominio de los trabajos de sucesión (42.86%), seguidos por trabajos sobre el ciclo de vida de las principales especies colonizadoras, específicamente de la familia Calliphoridae (21.43%), y en la misma proporción se han realizado investigaciones sobre taxonomía de las principales familias de interés forense (21.43%), otra área menos estudiada corresponde a la entomotoxicología (7.14%) y finalmente una de las áreas mas novedosas relacionadas con la entomología forense corresponde a las investigaciones en sinantropía de la familia Calliphoridae (7.14%) (Figura 1).

A continuación se presentan de forma breve algunos de los trabajos más relevantes en cada una de las áreas mencionadas anteriormente.

Estado de los patrones sucesionales de la artropofauna cadavérica

Un proceso sucesional consiste en una clase de sustituciones seriales que puede recibir el nombre de sucesiones degradativas, que se producen en una escala de tiempo relativamente breve, de meses o años, donde cualquier paquete de materia orgánica muerta, ya sea el cuerpo de un animal o una planta es explotado por microorganismos, animales detritívoros y/o carroñeros. Habitualmente, diferentes especies aparecen y desaparecen una tras otra, a medida que la degradación de la materia orgánica agota ciertos recursos y convierte en disponibles a otros, mientras los cambios que ocurren en la condición física del detritus favorecen primero a una especie y luego a otra. Finalmente, las sucesiones degradativas llegan a su fin por que el recurso ha quedado completamente metabolizado (Begon 1995).

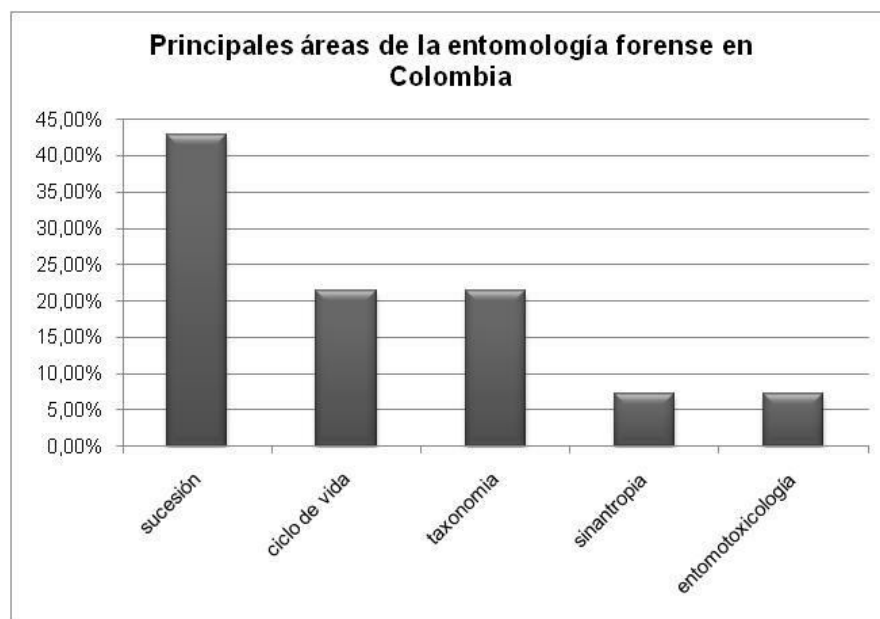


Figura 1. Porcentaje de estudios en las cinco principales áreas de la entomología forense estudiadas en Colombia

En la dinámica de la sucesión de los insectos, los primeros colonizadores llegan al cadáver atraídos por el olor de los gases desprendidos en el proceso de la degradación de los glúcidos, lípidos y prótidos. Gases como el amoníaco (NH_3), ácido sulfúrico (H_2SO_4), nitrógeno libre (N_2) y anhídrido carbónico (CO_2) son detectados por los insectos mucho antes de que el olfato humano sea capaz de percibirlos (Magaña 2001). Los cuerpos en estado temprano y avanzado de la descomposición producen diferentes químicos, los componentes sulfuros que son altamente atractivos para los insectos necrófagos son liberados durante la degradación de las proteínas y esto ocurre principalmente durante la putrefacción mientras la carne está presente (Gill-King 1997). El perfil de los gases cambia durante los estados finales de la descomposición (Vass *et al.* 1992). Por consiguiente, es probable que los insectos puedan distinguir fácilmente entre las señales químicas de los estados tempranos y avanzados de la descomposición y que no sea accidental la atracción a cada estado de la putrefacción (Archer y Elgar 2003). Se debe tener en cuenta que la composición de la entomofauna cadavérica está influenciada entre otras variables por las condiciones ambientales, la zona geográfica y las condiciones premortem (Catts 1992, Smith 1986).

A pesar que en el país el mayor número de trabajos se ha desarrollado en el campo de la sucesión de la entomofauna asociada a cadáveres humanos y animales, aún los estudios resultan insuficientes para cubrir las necesidades del país y construir un mapa entomológico nacional. Los principales registros de sucesiones entomológicas se encuentran en los departamentos de Atlántico, Antioquia, Caquetá, Casanare, Cauca, Cundinamarca, Nariño y Valle del Cauca (**Figura 2**), es decir que los datos existentes resultan en muchos casos pobres para emitir dictámenes periciales, por lo tanto aún es necesario identificar la entomofauna asociada a cadáveres en diferentes condiciones biogeoclimáticas del país. Por otro lado, aunque un trabajo sucesional implica un gran esfuerzo investigativo y económico, existe un gran número de investigaciones, en su mayoría realizadas por estudiantes, que no son publicadas, por consiguiente, los resultados son desconocidos para la comunidad científica y no pueden ser empleados en la pericia entomológica.

Ahora, en algunos casos, los trabajos que son publicados presentan información parcial o general de las sucesiones que resulta incompleta en el momento de establecer el tiempo aproximado de muerte. Dicha información debe estar discriminada lo más detalladamente posible, se deben describir muy bien los fenómenos de descomposición y los cambios relevantes en la artropofauna asociada, tales como la aparición de nuevas especies, cambios en la abundancia y desarrollo de las formas inmaduras, etc.



Figura 2. Estado actual del mapa entomológico nacional

Para facilitar la asociación de los insectos y otros artrópodos a los cadáveres, se han establecido diferentes fases o estados de la descomposición que están determinados por los cambios físicos del cadáver, aunque de manera general la descomposición siga los mismos patrones, la denominación de estos estados puede cambiar de un autor a otro, por ejemplo, Camacho 2005, Wolff *et al.* 2001, Pérez *et al.* 2005 y Martínez *et al.* 2007 describieron en sus trabajos los estados fresco, hinchado, descomposición activa, descomposición avanzada y restos secos, mientras que Segura *et al.* 2009 describieron los estados fresco, cromático-enfisematoso, colicuativo y esqueletización, que concuerdan con los estados de descomposición empleados por los médicos forenses para estimar el tiempo de muerte.

Tal como se mencionó previamente, los estados de la descomposición atraen selectivamente ciertos grupos de insectos y estos grupos de insectos pueden variar grandemente de un lugar a otro. Sin embargo, los resultados obtenidos, en diferentes investigaciones en Colombia, sobre la colonización de dípteros de la familia Calliphoridae concuerdan con lo reportado en otras regiones tropicales, ya que se ha descrito que las especies de Calliphoridae son los primeros organismos que descubren y colonizan cadáveres (Segura *et al.* 2009, 2005, Martínez *et al.* 2006, Pérez *et al.* 2005, Carvalho *et al.*

2004, Barreto *et al.* 2002). En los trabajos anteriores, la composición de las especies de insectos colonizadoras varió de un lugar a otro, pero los primeros colonizadores siempre fueron individuos de esta familia.

Tomando como ejemplo algunos de los trabajos más relevantes en el campo de la sucesión entomológica, a continuación se describe a grandes rasgos las diferencias en los patrones sucesionales en tres condiciones medioambientales del país (Tabla 1).

Tabla 1. Comparación de la artropofauna establecida en tres trabajos de sucesión en diferentes condiciones medioambientales. A: Adulto, L: Larva, LI: Larva de primer estadio, LII: Larva de segundo estadio, LIII: Larva de tercer estadio

Estados de descomposición	Pérez <i>et al.</i> 2005 Medellín	Martínez <i>et al.</i> 2006 Páramo de Chingaza	Segura <i>et al.</i> 2009 Bogotá
Fresco (común en los tres trabajos)	Masas de huevos Calliphoridae.	Masas de huevos y LI Calliphoridae	Masas de huevos y LI Calliphoridae
Cromático enfisematoso (Segura <i>et al.</i> 2009)			LI y LII Calliphoridae y Sarcophagidae
Hinchado (Martínez <i>et al.</i> 2006, Pérez <i>et al.</i> 2005)	Calliphoridae, Sarcophagidae, Muscidae, Faniidae y Sphaeroceridae.	Calliphoridae, Sarcophagidae, Muscidae, Faniidae y Sphaeroceridae.	adultos de Calliphoridae, Sarcophagidae, Muscidae, Faniidae y Sphaeroceridae.
Colicuativo (Segura <i>et al.</i> , 2009)	<i>Chrysomya albiceps</i> , <i>Ophyra</i> sp.	Calliphoridae, Muscidae, Sphaeroceridae.	<i>Chrysomya albiceps</i> , <i>Ophyra</i> sp.
Descomposición activa y descomposición avanzada (Martínez <i>et al.</i> 2006, Pérez <i>et al.</i> 2005)			Sphaeroceridae, <i>Oxelytrum discicolle</i> (A,L)
Esqueletización (Segura <i>et al.</i> 2009)	Silphidae, Dermestidae	Histeridae, Staphylinidae Muscidae (L).	<i>Oxelytrum discicolle</i> (A,L), Histeridae, Dermestidae
Restos secos (Martínez <i>et al.</i> 2006, Pérez <i>et al.</i> 2005)			<i>Ophyra</i> sp. (L).
Tiempo total de descomposición	36 días	83 días	97 días

En condiciones medioambientales de la sabana de Bogotá (2600 m), el tiempo requerido para completar el proceso de descomposición fue de 97 días (Segura *et al.* 2009), en contraste con los 83 días reportados por Martínez (2006) para un Páramo colombiano (3035 m) y con los 36 días registrados por Pérez (2005) en un área urbana de Medellín (1409 m). La diferencia en la velocidad de descomposición de los cadáveres se puede explicar debido a las condiciones ambientales de cada uno de los lugares ya que la temperatura ambiental en Bogotá fue menor a la registrada en Medellín y por lo tanto, la tasa de desarrollo de los insectos y la descomposición fue más lenta. Por otro lado, la temperatura ambiental registrada por Segura en la fase de campo de Bogotá fue mayor que la registrada por Martínez en el Páramo de Chingaza, sin embargo, aunque la tasa de descomposición de los cadáveres de los cerdos fue similar, hubo poco tiempo de diferencia en la descomposición, probablemente porque en el trabajo de Bogotá se emplearon cerdos con un peso superior de dos

kilos y esto de alguna manera prolongó el tiempo de descomposición en Bogotá. Algunas investigaciones que han utilizado cerdos con pesos corporales diferentes indican que el tiempo de duración de las fases de descomposición puede variar, aunque no la estructura de la comunidad de la artropofauna cadavérica, siendo esta específica en cada área geográfica analizada (Goff 1993b).

De manera general, la composición de las familias encontradas durante la descomposición de cadáveres en diferentes regiones del país varia poco, ya que las familias Calliphoridae, Sarcophagidae, Muscidae, Piophilidae, Dermestidae, Staphylinidae e Histeridae fueron comunes en las diferentes zonas estudiadas en Colombia (Segura *et al.* 2009, Martínez *et al.* 2006, Pérez *et al.* 2005). Sin embargo, las especies que integraron cada familia cambiaron de acuerdo con la región biogeográfica. Por ejemplo, en cuanto a la familia Calliphoridae, Segura *et al.* (2009) reportaron a *Calliphora nigribasis*, *Calliphora vicina*, *Lucilia sericata*, *Sarconesia magellanica*, *Chrysomya albiceps* y *Comptosomyiops verena*, mientras que Pérez *et al.* (2005) reportaron a *Chrysomya megacephala*, *Chrysomya albiceps*, *Cochliomyia macellaria*, *Comptosomyiops* sp. y *Phaenicia sericata*; Martínez *et al.* (2006) reportaron a *Calliphora nigribasis*, *Comptosomyiops boliviana*, *Sarconesiopsis magellanica* y *Comptosomyiops verena*.

Estado del ciclo de vida y datos de desarrollo de especies de interés forense

El segundo grupo de investigaciones de mayor número corresponde a los estudios de Ciclo de vida y desarrollo de las primeras especies colonizadoras de cadáveres. El uso del desarrollo de especies de la familia Calliphoridae es un buen método para estimar el tiempo aproximado de muerte, sin embargo, para que este método pueda ser usado se deben tener datos precisos de las variables ambientales, especialmente de la temperatura del lugar del hallazgo del cadáver, así como una buena descripción del lugar, entre otras.

Este método está basado en el tamaño corporal de las larvas, usualmente representado por su longitud, este está relacionado con su edad como una función del tiempo y de la temperatura, de esta manera, las larvas más viejas proporcionarían una edad mínima y un intervalo postmortem mínimo (Donovan *et al.* 2006). El tamaño de una larva encontrada en un cadáver es comparado con las tasas de desarrollo para la misma especie de insecto criado experimentalmente a la temperatura promedio en la cual el cadáver fue encontrado (Introna *et al.* 1998).

Algunos estudios han demostrado la influencia directa de la temperatura sobre el desarrollo de las larvas (Grassberger y Reiter, 2001; Byrd y Butler 1996). De manera general, a altas temperaturas el crecimiento se acelera y a bajas temperaturas el crecimiento se retrasa (Anderson, 2000), no obstante, un nuevo problema en el uso del conocimiento de las tasas de desarrollo para estimar la edad larval es que las poblaciones de la misma especie pueden diferir fisiológicamente dependiendo del origen geográfico de las mismas. Por ejemplo, la población de *Calliphora vicina* del sur de Inglaterra y las de Finlandia difieren significativamente en su respuesta a la diapausa, al fotoperiodo y a la temperatura. Esto es una fuerte evidencia de que las diferencias son genéticas (McWatters & Saunders, 1996, 1998).

En Colombia, Usaqué y Camacho (2004) establecieron el primer registro del desarrollo de *Lucilia sericata*, una de las principales especies colonizadoras en zonas urbanas del país, posteriormente, Camacho (2005) reportó el ciclo de vida de *Calliphora vicina* en Bogotá, así mismo, Segura *et al.* (2005) reportaron datos preliminares sobre el crecimiento y desarrollo de *Comptosomyiops verena*, posteriormente, Camacho y Segura (2009) obtuvieron datos de desarrollo y curvas de crecimiento y

desarrollo de las anteriores especies junto con *Sarconesiopsis magellanica* bajo condiciones de temperatura y humedad controladas y en condiciones medioambientales del Laboratorio de Entomología Forense del Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses Regional Bogotá. Por otro lado, Vélez y Wolff (2008) reportaron el crecimiento y desarrollo, así como curvas de crecimiento de *Lucilia eximia*, *Cochliomyia macellaria*, *Chrysomya albiceps*, *Chrysomya megacephala* y *Calliphora nigribasis* criadas en condiciones semicontroladas de campo. Los anteriores trabajos han representado un avance importante en la estimación del tiempo de muerte a partir de datos obtenidos de especies endémicas. La carencia de datos de desarrollo de especies del género *Hemilucilia* y otras especies del género *Lucilia* imposibilitan en varios casos la estimación del tiempo de muerte de casos provenientes de regiones selváticas apartadas, por lo tanto, es preciso establecer en corto tiempo el desarrollo de dichas especies.

Estado de la taxonomía de las principales familias de interés forense

Tal vez el aspecto más importante para establecer el tiempo de muerte es la correcta identificación taxonómica. Respecto a esto, se han venido realizando grandes avances, con los trabajos de Pape *et al.* (2004) donde se hace un listado taxonómico y se establece la distribución de algunas especies de Calliphoridae Sarcophagidae y otras familias en Colombia, posteriormente, en lo concerniente a la familia Calliphoridae Amat *et al.* (2008) realizaron la primera clave ilustrada para la identificación de los géneros y las especies en Colombia, en 2009 Flórez y Wolff realizaron la descripción y clave de los estadios inmaduros de las principales especies de Calliphoridae de importancia forense en Colombia. En cuanto a la familia Sarcophagidae, Buenaventura y Pape (2010) realizaron la revisión del género *Peckia* y Buenaventura *et al.* (2010) realizaron el estudio filogenético del mismo género, encontrando además nuevas especies para la ciencia. Por otro lado, Pérez (2007) realizó estudios sobre la importancia forense y la distribución de la familia Muscidae y está diseñando las primeras claves para Muscidae de Colombia. Los anteriores trabajos, junto con otras descripciones de la región Neotropical posibilitan el buen desarrollo de la actividad pericial, sin embargo, otros grupos como de insectos de importancia forense han sido menos estudiados.

Algunos trabajos sobre sinantropía

El índice de Sinantropía es usado para cuantificar la relación de las especies de dípteros que se encuentran confinadas a condiciones de mayor agrupamiento humano (Figueroa-Roa y Linhares 2001). Es importante reconocer las familias de dípteros que poseen especies sinantrópicas. Por ejemplo, algunas de las especies de Calliphoridae se vinculan a los hábitats humanos estableciendo una relación sinantrópica, mientras que otras especies, solo lo hacen en forma esporádica. El grado de sinantropía puede variar de acuerdo a las especies de insectos, a las características climáticas, a las características geográficas del lugar y el modo de vida de cada grupo humano (Figueroa-Roa y Linhares 2001). Este índice puede ser relevante en el campo de la entomología forense, ya que podría ser usado para establecer el traslado de los cadáveres de un lugar a otro a través del conocimiento de la sinantropía y la biología de las especies de dípteros de importancia forense.

En Colombia se han realizado dos trabajos que miden la asociación de dípteros de importancia forense con los asentamientos humanos. Montoya *et al.* (2009) establecieron el índice de sinantropía de Calliphoridae del Municipio La Pintada en Antioquia, Pinilla *et al.* (2010) establecieron el índice de sinantropía de las familias Calliphoridae, Sarcophagidae y Muscidae en Bogotá. En el campo forense estas investigaciones no han sido empleadas, pero constituyen una información importante disponible para su uso.

Algunos trabajos en entomotoxicología

Esta disciplina estudia la aplicación de los análisis toxicológicos a los insectos necrófagos con el fin de identificar drogas y toxinas presentes en los tejidos intoxicados, además, también investiga los efectos causados por tales sustancias sobre el desarrollo de los artrópodos para evaluar el tiempo de muerte (Goff 1994). Se han realizado pocos trabajos en esta área, algunos de ellos corresponden a establecer el efecto de sustancias tóxicas en el desarrollo de los insectos, tal es el caso del trabajo realizado por Cañón y Segura (2003), quienes establecieron el efecto de cianuro y barbitúricos en el ciclo de vida de *Calliphora vicina*, posteriormente Izquierdo (2006) estableció el efecto de la cocaína y su metabolito en el ciclo de vida de dípteros colonizadores en Bogotá. Por otro lado, otros trabajos se han enfocado principalmente en detectar las sustancias tóxicas en los insectos, por ejemplo, Wolff *et al.* (2004) estudiaron la detección de un plaguicida a través de cromatografía líquida de alta eficacia en insectos de importancia forense.

Actualmente el laboratorio de Entomología Forense del Instituto Nacional de Medicina Legal no ofrece el servicio de detección de sustancias tóxicas a partir de muestras entomológicas.

Conclusión

La entomología forense ha presentado una rápida evolución desde sus inicios hace aproximadamente diez años, convirtiendo a Colombia en un país líder en Latinoamérica en cuanto a investigaciones en el área. Sin embargo, existen limitantes a superar tales como la necesidad de datos de desarrollo de algunas especies de la familia Calliphoridae y Muscidae, así como el establecimiento de los patrones sucesionales con el fin de completar el mapa entomológico sucesional.

Literatura citada

- AMAT, E; VÉLEZ, M; WOLFF, M. 2008. Clave ilustrada para la identificación de los géneros y las especies de Calífóridos (Diptera: Calliphoridae) de Colombia. *Caldasia* 30 (1) 231-244.
- ANDERSON, G.S; 2000. Minimum and maximum development rates of some forensically important Calliphoridae (Diptera). *J Forensic Sci* 45: 824-832.
- ARCHER, M.S; ELGAR, M.A. 2003. Effects of decomposition on carcass attendance in a guild of carrion-breeding flies. *Medical and Veterinary Entomology*. 17 263-271.
- BARRETO, M; BURBANO, M.E; BARRETO, P. 2002. Flies (Calliphoridae, Muscidae) and Beetles (Silphidae) from Human Cadavers in Cali, Colombia. *Mem Inst Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro*, Vol. 97(1) 137-138.
- BEGON, M. 1995. *Ecología: Individuos, poblaciones y comunidades*, Ediciones omega, Barcelona, 886p.
- BUENAVENTURA, E.; PAPE, T. 2010. Revision of the genus *Peckia* Robineau-Desvoidy (Diptera: Sarcophagidae). *Zootaxa*. In press.
- BUENAVENTURA, E.; SARMIENTO, C., PAPE, T. 2010. Phylogeny of the genus *Peckia* Robineau-Desvoidy (Diptera: Sarcophagidae). In press.
- BYRD, J.H; BUTLER, J.F. 1996. Effects of temperature on *Cochliomyia macellaria* (Diptera: Calliphoridae) development. *Journal of Medical Entomology*, Lanham, 33: 901-905.
- BYRD, J.H; CASTNER, J. L. 2000. *Forensic entomology: The utility of arthropods in legal investigation*. CRC Press, Boca Raton, London, New York, Washington DC. 418 p.

- CAMACHO, G. 2005. Sucesión de la entomofauna cadavérica y ciclo vital de *Calliphora vicina* (Diptera: Calliphoridae) como primera especie colonizadora, utilizando cerdo blanco (*Sus scrofa*) en Bogotá. Revista Colombiana de Entomología 31 (2): 189-197.
- CAÑÓN, L.M; SEGURA, N.A. 2003. Trabajo de grado. Universidad Francisco José de Caldas. Efecto de cianuro y barbitúricos en el ciclo de vida de dípteros colonizadores en Bogotá.
- CARVALHO, L.M.L; THYSSEN, P.J; GOFF, M.L; LINHARES, A.X. 2004. Observations on the succession patterns of necrophagous insects on a pig carcass in an urban area of southeastern Brazil. J Forensic Med Toxicol 51(1) 33 - 39.
- CATTS, E.P. 1992. Problems in estimating the postmortem interval in death investigation. Journal of Agricultural Entomology 9: 245-255.
- FIGUEROA-ROA, L; LINHARES, A.X. 2002. Sinantropia de los Calliphoridae (Diptera) de Valdivia, Chile. Neotropical Entomology 31(2): 233-239.
- FLÓREZ, E; WOLFF, M. 2009. Descripción y clave de los estadios inmaduros de las principales especies de Calliphoridae (Diptera) de importancia forense en Colombia. Neotropical Entomology 38(3):000-000.
- HALL, M; DONOVAN, S. 2001. Forensic entomology: what can maggots tell us about murders? Biologist 48 249–253.
- GRASSBERGER, M; FRIEDRICH, E; REITER, C. 2003. The blowfly *Chrysomya albiceps* (Wiedemann) (Diptera: Calliphoridae) as a new forensic indicator in central Europe. Int J Legal Med 117:75–81.
- GILL-KING, H. 1997. Chemical and ultrastructural aspects of decomposition. Forensic Taphonomy: the postmortem fate of human remains. Ed. CRC Press, Boca Raton. 93-108p
- GOFF, M.L. 1993a. Estimation of postmortem interval using arthropod development and successional patterns, Forensic Sci. Rev. 5 81–94.
- GOFF, M.L. 1993b. Festín de pruebas; insectos al servicio forense. Informe científico de patología forense. Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses.
- GOFF, M.L; LORD, W.D. 1994. Entomotoxicology: a new area for forensic investigation, American Journal of Forensic Medicine and Pathology 15 51-57.
- INTRONA, F.J.R; CAMPOBASSO, C.P; DI FAZIO, A. 1998. Three case studies in forensic entomology from southern Italy. Journal of Forensic Sciences, Philadelphia, 43: 210-214.
- IZQUIERDO. 2006 Trabajo de grado. Universidad del Tolima. Efecto de la cocaína y su metabolito en el ciclo de vida de dípteros colonizadores en Bogotá.
- MAGAÑA, C. 2001. La Entomología Forense y su aplicación a la medicina legal. Data de la muerte. Aracnet 7-Bol. S.E.A. 28: 49-57.
- MARTÍNEZ, E; DUQUE, P; WOLFF, M. 2007. Succession pattern of carrion-feeding insects in Paramo, Colombia. Forensic Sci Int. 166 182-189.
- McWATTERS, H.G; SAUNDERS, D.S. 1996. The influence of each parent and geographic origin on larval diapauses in the blow fly, *Calliphora vicina*. Journal of Insect Physiology 42, 721-726.
- McWATTERS, H.G; SAUNDERS, D.S. 1998. Maternal temperature has different effects on the photoperiodic response and duration of larval diapauses in the blow fly (*Calliphora vicina*) satrains collected at two latitudes. Physiological Entomology 23, 369-375.
- MONTROYA, A; SANCHEZ, J; WOLFF, M. 2009. Sinantropía de Calliphoridae (Diptera) del Municipio La Pintada, Antioquia – Colombia. Rev. Colomb. Entomol. vol.35 no.1 Bogotá Jan./June.
- PAPE, T; WOLFF, M; AMAT, E. 2004. Los Calífóridos, Estridos, Rinofóridos y Sarcophagidos (Diptera: Calliphoridae, Oestridae, Rinophoridae, Sarcophagidae) de Colombia. Biota Colombiana 5 (2) 201-208.

- PÉREZ. S.P; DUQUE, P; WOLFF, M. 2005. Successional Behavior and Occurrence Matrix of Carrion-Associated Arthropods in the Urban Area of Medellín, Colombia. J Forensic Sci. Mar. Vol. 50 No. 2.
- PÉREZ. S.P S. 2007. Muscidae (Diptera) de importancia forense en Colombia: importancia y distribución. Memorias de Socolen XXXIV Congreso Sociedad Colombiana de Entomología. Julio 25 al 27 Cartagena de Indias. Páginas 105 -113.
- PINILLA T. 2010. Trabajo de grado. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Índice de sinantropía de las familias Calliphoridae, Sarcophagidae y Muscidae en Bogotá, Colombia.
- SEGURA, N.A; USAQUÉN, W; SÁNCHEZ, MC; CHUAIRE, *et al.*, 2005. Curvas de crecimiento y desarrollo de los primeros insectos colonizadores (Diptera: Calliphoridae) sobre cadáveres de cerdo *Sus scrofa* en Bogotá DC (Colombia). Revista de Investigación. 5 129 - 140.
- SEGURA, N.A; USAQUÉN, W; SÁNCHEZ, MC; CHUAIRE, L; NOACK, L; BELLO, FJ. 2009 Succession pattern of cadaverous entomofauna in a semi-rural area of Bogotá, Colombia. Forensic Science International. 187 66–72.
- SMITH. K.G.V. 1986. A manual of forensic entomology. British museum (Natural History), London and Cornell University Press London. pp 205.
- USAQUÉN, W.; CAMACHO, G. 2004. Ciclo de vida de *Lucilia sericata* (Diptera: Calliphoridae) como primera especie colonizadora presente en hígado humano realizado en el Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses. Bogotá 2000. Revista del INML y CF. Vol. 18 (2): 31 – 36.
- VELEZ, M; WOLFF, M. 2008. Rearing five species of Diptera (Calliphoridae) of forensic importance in Colombia in semicontrolled field conditions. Papéis Avulsos de Zoologia. Volume 48(6):41-47.
- WOLFF. M; URIBE, A; ORTIZ, A; DUQUE, P. 2001. A preliminary study of forensic entomology in Medellín, Colombia. Forensic Science International. 120: 53-59.
- WOLFF. M; BUILES, A; ZAPATA, G. MORALES, G; BENECKE, M. 2004. Detection of parathion (O,O-diethyl O-(4-nitrophenyl) phosphatate) by HPLC in insects of forensic importance in medellín, Colombia. Aggrawal's Internet Journal of Forensic medicine and Toxicology 5(1) 6-11.
- VASS, A.A; BASS, W.M; WOLT, J.D; FOSS, J.E; AMMONS, J.T. 1992. Time since death determinations of human cadavers using solutions. J. Forensic Sci. 37: 1236-1253.

Entomología forense en acción: casos de España

Forensic Entomology in Action: cases from Spain

María Dolores García García¹ y María Isabel Arnaldos Sanabria²

¹ Doctora en Biología. Profesora Titular de Zoología. Área de Zoología. Facultad de Biología. Universidad de Murcia. 30100 Murcia. España. *mdgarcia@um.es*. ² Doctora en Biología. Profesora Titular de Zoología. Área de Zoología. Facultad de Biología. Universidad de Murcia. 30100 Murcia. España. *miarnald@um.es*

Resumen

En España se puede considerar que la aplicación de la entomología a la práctica forense aún es incipiente en el sentido de que no existe una rutina establecida para recoger, procesar y tener en consideración las evidencias entomológicas y las conclusiones que pueda aportar su estudio. A pesar de ello, existen casos diversos en relación con esta ciencia, tanto en la vertiente médico-legal como en las vertientes urbana y de productos almacenados. Aquí se aportan algunas experiencias relativas a casos analizados en nuestro laboratorio en que se tuvieron en cuenta evidencias entomológicas de distinta índole.

Palabras clave: Casos forenses. Entomología médico legal. Entomología urbana. Entomología de productos almacenados.

Abstract

In Spain, it can be considered that the application of entomology to forensic practice is still incipient in the sense that there is no established any routine for collecting, processing and taking into account the entomological evidence and the conclusions obtained from its study. However, there are real cases in relation to different aspects of this science, both in terms of forensic and in urban and stored product entomology. We provide some experience on cases analyzed in our laboratory, which took into account different types of entomological evidence.

Key words: Forensic cases. Medicocriminal entomology. Urban entomology. Stored products entomology.

Introducción

Como es sabido, la entomología forense se considera dividida en tres campos distintos: entomología médico-legal (o médico-criminal), entomología urbana y entomología de productos almacenados.

La aplicación más conocida, por diversos motivos, es la médico-legal, en la que suelen tomar parte efectivos policiales y médicos, además de los entomólogos. En España, y a pesar de los esfuerzos que se están realizando en relación con la aplicación de otras ciencias forenses además de las clásicas (criminalística, medicina) a las investigaciones forenses (policiales o no), aún queda mucho camino por recorrer hasta conseguir la inclusión de las pericias entomológicas en la rutina de la investigación. De hecho, aunque la Policía Científica cuenta con algunos efectivos que dedican esfuerzos en este sentido, su dedicación no es exclusiva a esta disciplina, además de no existir un procedimiento protocolizado en relación con la recogida y el tratamiento de las evidencias entomológicas aplicable a la rutina de la investigación.

No obstante, y gracias a la progresiva toma de conciencia de algunos efectivos de la potencial importancia de las evidencias entomológicas en los casos investigados, en ocasiones se recurre a entomólogos para tratar las evidencias recogidas durante la investigación de casos, generalmente durante el procedimiento de autopsia. Por este motivo, las autoras hemos tenido ocasión de participar en algunos casos que, aún no siendo espectaculares, pueden resultar de interés. Además, se nos han planteado casos a peritar alejados de la investigación policial. Así, hemos participado en casos que afectan tanto a la entomología urbana como a la de los productos almacenados. Dado que, en general, los casos que se presentan habitualmente suelen ser los referidos a casos policiales, hemos preferido, aquí, dar una visión general de la tipología más amplia posible de casos en que un entomólogo, relacionado con el ámbito forense, puede tratar.

Presentacion de casos

Ámbito médico-criminal

Caso 1

Se trata del cadáver de un varón joven (29 años), que se encontró muerto por arma de fuego en invierno (febrero) en una zona próxima a las Salinas de Torrevieja, en la provincia de Alicante (Este de España) (Arnaldos *et al.*, 2005). Las evidencias entomológicas, recogidas durante el procedimiento de la autopsia, se reducían a larvas de Díptera recogidas del fondo de la cavidad bucofaríngea. Los médicos forenses que aportaron las evidencias informaron que había larvas, de mayor tamaño, migrando hacia partes más internas del cuerpo. Estas larvas no fueron recogidas. A fin de poder conocer más detalles sobre el caso, se nos permitió ver las fotografías tomadas durante la autopsia. Éstas mostraron la presencia de una masa de huevos en las narinas externas y permitió comprobar la inexistencia de más evidencias entomológicas, incluso en los orificios de proyectil que presentaba el cuerpo (en la sien y la cadera izquierda).

Las evidencias entomológicas fueron remitidas con mucho retraso (un mes después) y en bastante mal estado, aunque fue posible su estudio. Consistían en huevos y larvas pequeñas, algunas todavía faradas en la cubierta del huevo, además de exuvias de primer y segundo estado y larvas III. Las larvas fueron identificadas como pertenecientes a *Calliphora vicina* Robineau-Desvoidy 1830 y *Phaenicia sericata* (Meigen, 1826) (Diptera, Calliphoridae).

El hecho de que las evidencias se encontraran en una localización profunda, resguardada, sugería que el cuerpo había soportado condiciones poco favorables, lo que se comprobó con los datos procedentes de la estación meteorológica más próxima. En estas condiciones la duración de las etapas preimaginales resulta afectada; la propia eclosión de los huevos puede retrasarse varios días cuando la temperatura baja de los 10°C. Esto, unido a que los datos disponibles apuntaban a que, en el área geográfica de referencia, los adultos de *C. vicina* se presentan en invierno a partir del segundo día de exposición del cadáver, y *Ph. sericata* a partir del quinto día, y en muy bajo número, apuntaba a que el IPM era de, como mínimo, 4 días antes del hallazgo.

La investigación y el juicio posterior determinaron en 5 días el intervalo *postmortem* (IPM).

Caso 2

Se trata del cadáver de un varón no identificado, encontrado en el interior de una construcción en la localidad de Lorca, en la provincia de Murcia (Arnaldos *et al.*, 2004). Fue encontrado a finales del mes de febrero en decúbito prono, vestido y esqueletizado. La muerte debió sobrevenir como consecuencia de un traumatismo craneoencefálico. El edificio en que se encontraba estaba abandonado y clausurado, aunque el acceso a su interior debía ser fácil porque, de hecho, fueron unos niños quienes, jugando, encontraron el cuerpo. El IPM calculado a partir de las evidencias médicas oscilaba entre 3 meses y año y medio.

Las abundantes evidencias entomológicas recogidas estaban presentes por todo el cuerpo y, en las zonas cubiertas por la ropa, había insectos vivos. De hecho, el médico que practicó la autopsia refirió numerosos coleópteros desplazándose por los tendones y articulaciones. Las evidencias estudiadas consistieron en adultos vivos de *Necrobia rufipes* (De Geer, 1775) (Coleoptera, Cleridae), *Dermestes maculatus* DeGeer, 1774 (Coleoptera, Dermestidae), abundantes heces en membrana peritrófica y restos de exuvias de larvas de Dermestidae, puparios de *Piophilidae casei* (Linnaeus, 1758) (Diptera, Piophilidae), *Chrysomya albiceps* (Wiedemann, 1819) (Diptera, Calliphoridae) y *Ophyra* sp. Robineau-Desvoidy, 1830 (Diptera, Muscidae) y dos orugas de Tineoidea (Lepidoptera).

La presencia de sólo *Chrysomya albiceps* y *Ophyra* sp., como dípteros no tardíos sugiere que otros dípteros de presencia temprana en el cadáver estuvieron poco representados lo que, junto con la presión que pudieron ejercer a través de la competencia larvaria (ambos son depredadores en estado de larva) pudo haber eliminado cualquier evidencia de su presencia.

De todas las evidencias, consideramos que *Ch. albiceps* es el principal de los dípteros primarios. A partir de los datos empíricos (Arnaldos *et al.*, 2001) se puede estimar una colonización en verano tardío o principio del otoño, pues éstas son las épocas en que esta especie resulta la más abundante en el área de referencia.

El conjunto de evidencias permitió estimar un IPM mínimo de unos seis meses, lo que situaría la muerte hacia el mes de septiembre.

Ámbito médico-legal

Caso 3

Se trata un caso de alergia ocupacional que presentó una mujer, joven, sin antecedentes personales ni familiares de enfermedad alérgica, trabajadora en una panadería familiar, donde despachaba pan y limpiaba la amasadora (Pajarón Fernández *et al.*, 2004). La interesada presentaba síntomas de asma bronquial, rinitis, conjuntivitis y angioedema al contacto con harina.

En primer lugar se hizo un estudio alergológico con resultados negativos para los extractos de los neumoaergenos habituales, ácaros de almacenamiento, hongos, harinas de avena, cebada, centeno, maíz, trigo, soja, enzimas como α -amilasa, alergenitos alimentarios, parásitos habituales y parásitos de la harina. Ante la negatividad de las pruebas se estudiaron muestras de harina de las utilizadas en la panadería, cuyo estudio reveló la presencia de numerosas larvas, exuvias y adultos de *Tribolium confusum* (Jacqueline du Val, 1868) (Coleoptera, Tenebrionidae). Se obtuvieron extractos de esta especie y la paciente dio positivo frente al extracto preparado a partir de adultos (no al de larvas), lo que permitió el diagnóstico definitivo.

Ámbito médico

Caso 4

Realmente, no se trata de un caso formalmente planteado, pues la consulta ha sido informal y no se ha abierto expediente en relación con él. No obstante, habiendo mediado consulta, y por considerarlo interesante, lo presentamos. Existe suficiente literatura en relación con las parasitosis ilusorias; el llamado “síndrome de Ekborm” o psicosis hipocondríaca monosintomática (cf. Robinson, 2005, Viejo Montesinos, 2008) está bien tipificado, suponiendo un trastorno psicótico en forma de delirio por el cual el paciente se cree invadido por parásitos y, a veces, se acompaña por alucinaciones táctiles y visuales. En nuestro caso, no habíamos encontrado nunca un caso que encajara en esta tipología pero, muy recientemente se nos ha presentado el siguiente. A través del correo electrónico, un ciudadano, cuya identidad no desvelaremos, plantea la cuestión de si los insectos, en concreto la cucaracha, y las arañas, pueden vivir dentro del cuerpo humano. Además, pregunta cómo sería posible dar muerte a lo que define como “crías de cucaracha y de araña (en concreto, tarántula)” que, afirma, está preocupado por que le hayan introducido en el cuerpo. Según refiere, se le aprecian bultos pequeños en distintas partes del cuerpo que se desplazan. La respuesta que se le ofreció fue que no existía posibilidad de semejante comportamiento y se le remitía a un médico especialista de la piel.

Más tarde remitió otro mensaje explicando más prolijamente las circunstancias en que, en su versión, había ocurrido el acceso de los animales al interior de su cuerpo y otros detalles de la sintomatología que presentaba, siempre relacionada con los animales señalados, e, incluso, refería cierta información “recogida” de un canal de televisión. A la vista de esto, se le volvió a contestar en similares términos que anteriormente, y no hemos vuelto a tener noticias. Probablemente, al no haber tenido una contestación satisfactoria, en el sentido de confirmar de algún modo su convencimiento acerca de la infestación, habrá pasado a consultar a otros en su búsqueda de confirmación de sus suposiciones.

Ámbito de productos almacenados

Caso 5

Se nos aportó, desde el Servicio de Salud Pública de la Consejería de Sanidad de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, evidencia entomológica procedente del interior de un envase de alimentos infantiles, concretamente leche en polvo. Se trataba de un ejemplar larva de Coleoptera, vivo, mantenido sin alimento alguno desde su recogida y conservado en una caja de petri convenientemente sellada. La larva fue mantenida con vida, sin alimentar, a temperatura ambiente, y a los ocho días mudó. La larva y su exuvia fueron fijadas en etanol de 70%. La larva se identificó como perteneciente al género *Trogoderma* Dejean, 1821 (Coleoptera, Dermestidae), no habiendo sido posible la determinación de la especie que, en todo caso, sería próxima a *Trogoderma versicolor* (Creutzer, 1799) y *Trogoderma granarium* (Everst, 1898). De esta última especie se sabe que las larvas soportan muy bien el ayuno, pudiendo entrar en diapausa en condiciones desfavorables, y que no ingieren las exuvias, lo que concuerda con la observación realizada. Esta especie se presenta en cereales y productos derivados de ellos, así como en productos de origen animal, y los adultos normalmente se alimentan muy poco (cf. Rebolledo & Arroyo, 1993). *T. versicolor* ha sido referida también de una gran variedad de productos almacenados (Hadaway, 1956).

A la vista de todo ello y ante la información de que no había otros restos animales en el envase contaminado, ni de éstos ni de otros insectos, se consideró que la infestación del envase debió producirse poco antes de ser descubierta, dado que estos animales mudan con cierta rapidez y no consumen las exuvias. No resultó descartable que la infestación procediera de cualquier otro alimento almacenado en las proximidades del infestado, bien fuera en el lugar en que se adquirió el producto, bien en el propio domicilio en que se mantuvo. En todo caso, se trataba de una infestación accidental, reciente, no achacable a la empresa productora.

Ámbito urbano

Caso 6

Se refiere a evidencias correspondientes a una infestación existente en una vivienda particular en la ciudad de Murcia. La vivienda no ha sido habitada en ningún momento a causa de la propia infestación, aunque el edificio sí cuenta con vecinos. Cinco años antes, a poco de ser finalizada la edificación, se declaró una plaga de roedores, que fue combatida por una empresa especializada, que tuvo que repetir el tratamiento, disponiendo cebos envenenados conteniendo granos de cereales. Estos cebos, en la vivienda en cuestión al menos, fueron colocados, entre otros lugares, en el hueco existente entre el techo de escayola y el propio techo de la vivienda, aprovechando los orificios en los lugares en que debían ser instaladas las lámparas cenitales. Tiempo después de esta aplicación, aparecieron numerosos insectos pequeños, referidos como de “tipo arañitas”, de los que se aportaron muestras. Estos insectos caían del techo, donde se vio que producían orificios y galerías.

Las muestras se identificaron como pertenecientes a *Mezium affine* Boieldieu, 1856 (Coleoptera, Ptinidae). Estos insectos tienen hábitos de alimentación y hábitats muy heterogéneos, aunque predominan en medios antropógenos. Diversas especies se han detectado en edificios abandonados, desvanes, bodegas... Incluso, en algún caso, se han observado en masa en almacenes, constituyendo plagas de consideración variable. Sus larvas hacen agujeros en materiales duros antes de pupar. A menudo afectan a material de papel y madera. En concreto *M. affine* ha sido observada en casas, almacenes, graneros... alimentándose de residuos orgánicos de origen diverso (Bellés, 1990).

En este caso, se observó gran número de estos animales en las bolsas de veneno para los ratones, lo que es compatible con el consumo de grano que se ha referido para esta especie. Además, la potencial existencia de cadáveres de roedores les proveería de alimento adicional. Todo ello, unido a que la vivienda está deshabitada y, en consecuencia, no se procede a su limpieza periódica, debió permitir la instalación de una población numerosísima de estos animales.

Se consideró la causa de la infestación, si no su propio origen, la aplicación de cebos envenenados contra roedores. Esta aplicación no tuvo un seguimiento ni se procedió a la posterior eliminación de los eventuales cadáveres de roedores. Por otro lado, ni los propietarios de las viviendas ni sus inquilinos fueron advertidos de las eventuales consecuencias de la presencia de cadáveres de roedores, aun cuando estuvieran momificados, ni de los riesgos derivados del veneno empleado.

Conclusiones

Los entomólogos pueden verse involucrados, como especialistas, en casos muy diversos, todos relacionados, al menos en potencia, con procesos legales. Además de los casos relacionados con

fallecimientos, accidentales, naturales o violentos, en los que el entomólogo suele ser llamado para estimar el IPM, cualquier consulta a un entomólogo que lleve consigo la emisión de un informe pericial, que el interesado pueda hacer valer en una reclamación formal o que pueda estar relacionado con un proceso de invalidez o incapacidad profesional, es, realmente, una actuación en el campo de la entomología forense. La participación del entomólogo, sea el caso que sea, debe ser considerada en el mismo nivel que la de cualquier otro profesional implicado en una investigación, esto es, la pericia entomológica es una más, y aporta un indicio más a la resolución del caso; en ocasiones puede ser determinante, en ocasiones no, o no tanto.

Literatura citada

- ARNALDOS, M.I.; GARCÍA, M.D.; ROMERA, E.; PRESA, J.J. & LUNA, A., 2005. Estimation of postmortem interval in real cases based on experimentally obtained entomological evidence. *Forensic Science International*, 149: 57-65.
- ARNALDOS, M.I.; SÁNCHEZ, F.; ÁLVAREZ, P. & GARCÍA, M.D., 2004. A forensic entomology case from the Southeastern Iberian Peninsula. *Aggrawal's Internet Journal of Forensic Medicine and Toxicology*, 5(1): 22-25.
- ARNALDOS, M.I.; ROMERA, E.; GARCÍA, M.D. & LUNA, A., 2001. An initial study on the succession of sarcosaprophagous Diptera (Insecta) on carrion in the southeastern Iberian peninsula. *International Journal of Legal Medicine*, 114: 156-162.
- BELLÉS, X., 1990. *Coleoptera Ptinidae, Gibbiinae*. Fauna Ibérica Vol. 0. Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC. Madrid. 43 pp.
- HADAWAY, A.B., 1956. The biology of the Dermestid beetles, *Trogoderma granarium* Everts and *Trogoderma versicolor* (Creutz.). *Bulletin of Entomological Research*, 46: 781-796.
- PAJARÓN FERNÁNDEZ, M.J.; GARCÍA GARCÍA, M.D., PALACIO GAVIRIA, M.P.; BARTOLOMÉ ZAVALA, B.; JOVER CERDÁ, V. & SÁNCHEZ GASCÓN, F., 2004. Alergia ocupacional por monosensibilización a *Tribolium confusum*. *Alegología e Inmunología Clínica*, 19: 121-124.
- REBOLLEDO, R. & ARROYO, M., 1993. Prospección de *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae) mediante trampas de feromonas en Madrid. *Boletín de Sanidad Vegetal, Plagas*, 19: 361-367.
- ROBINSON, W.H., 2005. *Urban insects and arachnids. A handbook of urban entomology*. Cambridge University Press. Cambridge, UK. 472 pp.
- VIEJO MONTESINOS, J.L., 2008. Una infestación parasitaria por insectos ficticia: descripción de un caso de síndrome de Ekbom. *XIII Congreso Ibérico de Entomología*, p. 82.

Entomología forense en acción: casos de Colombia

Forensic Entomology in Action: cases from Colombia

Ginna Paola Camacho Cortés

Estudiante de Doctorado en Ciencias Forenses. Esp. Coordinadora Laboratorio de Entomología Forense del Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses. Bogotá, Colombia. ginnacamacho@gmail.com.

Resumen

Teniendo en cuenta la utilidad que presenta la entomología forense en las investigaciones judiciales y los avances obtenidos con la implementación del Laboratorio de Entomología Forense del Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses de Colombia, se presentan tres casos que se han desarrollado en el marco de la actividad pericial. Se muestra la utilización de los métodos de ciclo de vida de dípteros colonizadores, sucesión ecológica, y un caso de miasis obligatoria.

Palabras clave: Casos Forenses. Tiempo de Muerte. Ciclo de Vida. Sucesión. Miasis.

Abstract

Given the utility that provides forensic entomology in criminal investigations and the progress made with implementation Forensic Entomology Laboratory, in the Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses from Colombia, there are three cases that have developed in the context of expert activity. Is displayed use of life cycle methods of Diptera colonizers ecological succession, and one case required myiasis.

Key words: Forensic cases. Time of Death. Life Cycle. Succession. Myiasis.

Introducción

A pesar de los intentos de más de cien años para desarrollar métodos para la estimación precisa del tiempo de muerte, la exactitud de estos métodos, tanto cuando se utiliza uno de ellos o la combinación de varios de ellos, aún deja un margen de mejora (Kaliszan *et al.* 2009). Conforme el intervalo de tiempo transcurrido entre la muerte y el hallazgo del cuerpo aumenta, así lo hace la inexactitud de la estimación (Di Maio y Dana 2003).

El entomólogo forense puede proporcionar una medida del posible intervalo *postmortem*, con base en las etapas del ciclo de vida de especies de dípteros, recuperadas del cadáver, o de la sucesión de insectos presentes en el cuerpo. Se considera que el inicio del intervalo *postmortem* coincide con el momento en que la primera mosca pone sus huevos en el cuerpo, y su final es el descubrimiento del cuerpo y el reconocimiento de la etapa de vida de las especies colonizadoras más antiguas que lo infestaron (Gennard 2007).

Por otro lado, las larvas de dípteros ciclorrafos pueden producir miasis y causar lesiones en el hombre o animales donde se nutren en forma parásita de tejidos vivos o muertos, produciendo invasión y destrucción tisular. Se clasifican según las larvas que las producen y las localizaciones y formas clínicas en el hombre; así las miasis pueden ser producidas por larvas biontófagas o necrobiontófagas. Las primeras invaden tejidos vivos o cavidades naturales y son parásitos

obligados; las segundas colonizan lesiones preexistentes y son parásitos accidentales (Del Ponte 1958 citado por Visciarelli *et al.* 2003)

Desde el punto de vista del derecho penal, una estimación precisa del tiempo de muerte permite comprobar las declaraciones de los testigos, limitar el número de sospechosos y evaluar sus coartadas (Kaliszan *et al.* 2009).

Con el fin de ilustrar la utilidad de la evidencia entomológica en las ciencias forenses, se seleccionaron tres casos, dos de ellos muestran la aplicación de los métodos entomológicos para la estimación del tiempo de muerte y en el otro se muestra un tipo de miasis causada por dípteros colonizadores.

Materiales y Métodos

Se presentan tres casos forenses que se han desarrollado en el marco de la actividad pericial, en el Laboratorio de Entomología Forense del Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses, cada uno contiene una historia breve, la evidencia entomológica recibida, los hallazgos e interpretación de resultados y las conclusiones del mismo.

Presentación de casos

Caso No. 1. Estimación de tiempo de muerte por sucesión

Historia de caso

Se encontró el cadáver de un individuo de sexo masculino, de aproximadamente 50 años edad, en un lote baldío de la Localidad de Santa Fe (Bogotá). Se realizó la necropsia médico legal, encontrando que el cuerpo presentaba licuefacción en la cabeza, abundantes larvas y fenómenos tardíos cromático-enfisematosos en otras partes del cuerpo¹.

Se realizó la cría de las muestras que se recibieron vivas. Se realizó la identificación taxonómica de la evidencia, con base en el Procedimiento Estandarizado de Trabajo (PET) “ESTUDIO ENTOMOLÓGICO PARA IDENTIFICACIÓN TAXONÓMICA DE INSECTOS DE IMPORTANCIA FORENSE”² y mediante claves taxonómicas disponibles en la literatura. Se consultó la información climática de la zona de procedencia del cadáver. Se compararon los fenómenos cadavéricos y el tiempo de aparición de las muestras entomológicas analizadas con la información publicada en un estudio de sucesión (Segura *et al.* 2009). Finalmente, las evidencias fueron documentadas³ y almacenadas en la Colección Entomológica de Referencia Forense del Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses (INMLCF-CE).

¹ Descripción realizada por el médico forense INMLyCF.

² Laboratorio de Entomología Forense INMLyCF. Código: DRBO-LEFO-M-PET08. Vigente desde 2008-06-03. 35p

³ Estereomicroscopio marca Nikon modelo SMZ1500, compuesto por cámara digital de alta resolución especializada para microscopía marca Nikon modelo DS-Ri1-U2 y software “NIS ELEMENT” con foco extendido para análisis de imagen.

Evidencia entomológica recibida

- a. En alcohol: larvas de Diptera, adultos de Diptera y Coleoptera.
- b. Vivas para cultivo: larvas de Diptera, las cuales fueron cultivadas desde el momento de la recepción a 20.2°C y 50%⁴ de humedad relativa, con el objetivo de obtener las formas adultas.

La evidencia fue recolectada durante el procedimiento de necropsia y recibida en el laboratorio posteriormente. El médico forense solicitó estimar tiempo aproximado de muerte.

Hallazgos e interpretación

Las evidencias analizadas corresponden a insectos de los órdenes Diptera y Coleoptera. Los resultados obtenidos se muestran en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Evidencia analizada Caso 1

No. Evidencia	No. Individuos	Tipo de evidencia	Resultado
a	671	Larva II	Calliphoridae
a	2	Adulto	<i>Lucilia sericata</i>
a	2	Adulto	<i>Oxelytrum discicolle</i>
b	16	Adulto	<i>Chrysomya albiceps</i>
b	4	Pupario	<i>Chrysomya albiceps</i>
b	1	Pupa	<i>Chrysomya albiceps</i>
b	65	Prepupa	Calliphoridae
b	38	Pupa	Calliphoridae
b	32	Adulto	<i>Lucilia sericata</i>

La localidad de Santa Fe tiene una temperatura promedio de 13.1°C y humedad relativa de 73% en los meses secos. Estas condiciones ambientales se utilizaron para estimar el tiempo de muerte a partir de un estudio de sucesión (Segura *et al.* 2009) donde se emplearon biomodelos animales ubicados en un área que presentaba una temperatura media de 14°C y una humedad relativa de 73.25%, condiciones similares a las registradas en la zona de procedencia del cadáver del caso.

La estimación del tiempo de muerte se realizó a partir de la presencia de los adultos de *Oxelytrum discicolle* (Brullé, 1840) (Coleoptera: Silphidae) (evidencia a) y de las larvas de *Chrysomya albiceps* Wiedemann, 1819 (Diptera: Calliphoridae), que aunque no se recibieron en alcohol, se esperaba que estuvieran presentes en el cadáver dado que a partir de las muestras cultivadas en el Laboratorio se obtuvieron individuos adultos de *Chrysomya albiceps* (evidencia b). Lo anterior teniendo en cuenta que el segundo y tercer estadio larval de *C. albiceps* son depredadores de larvas de otras especies de Calliphoridae (Del Bianco Faria *et al.* 1999 citado por Grassberger *et al.* 2003).

Segura *et al.* (2009) reportaron que los primeros adultos de *Oxelytrum discicolle* aparecen al final del período cromático-enfisematoso (día 8 *postmortem*) y que el estado colicuativo (día 11-20 *postmortem*) se caracterizó por la presencia de diferentes estadios larvales de *Chrysomya albiceps* y

⁴ Cámara ambientada Modelo ENT-M 350 ECO Marca C4. Rango de temperatura: 0°-60°C, sensibilidad +0.2. Rango de humedad relativa: 35%-99%, sensibilidad +1%.

de adultos de *O. discicolle* (Figura 1), entomofauna concordante con la evidencia entomológica del caso y con los fenómenos cadavéricos que presentaba el cadáver.

Taxa	Cromático - Enfisematoso							Colicuativo
	4	5	6	7	8	9	10	11 a 20 días <i>postmortem</i>
<i>Chrysomya albiceps</i> (Larva I, II, III)								
<i>Oxelytrum discicolle</i> (Adultos)								

Figura 1. Matriz sucesional adaptada de Segura *et al.* (2009).

Conclusiones

Teniendo en cuenta los fenómenos cadavéricos, la presencia de las larvas de *Chrysomya albiceps* y los adultos *O. discicolle* presentes en el cadáver y el estudio de Segura *et al.* (2009), según el método entomológico de sucesión, se calcula que **el tiempo aproximado de muerte está entre 11 y 20 días**, al momento de ser colectadas las muestras entomológicas.

Caso No. 2. Ciclo de vida - Miasis cutánea

Historia de caso

Se encontró el cadáver de un hombre, de aproximadamente 72 años edad, en una casucha con tejas de lata, sin iluminación y en condiciones deficientes de salubridad en la localidad de La Candelaria (Bogotá). Se realizó la necropsia médico legal, encontrando que el cuerpo presentaba livideces dorsales violáceas fijas, rigidez completa en extremidades y mandíbula, así como larvas de insecto en heridas quirúrgicas de brazo izquierdo². Según diligencias efectuadas en la investigación judicial la esposa del occiso "...refiere que su esposo hacia las 12:00 se recostó a dormir y estaba bien y como a las 13:00 horas cuando fue a despertarlo para darle el almuerzo este no respondió..."⁵, lo cual revela una ventana de muerte de una hora aproximadamente.

Se realizó la cría de las muestras que se recibieron vivas. Se realizó la identificación taxonómica de la evidencia, con base en el Procedimiento Estandarizado de Trabajo (PET) "ESTUDIO ENTOMOLÓGICO PARA IDENTIFICACIÓN TAXONÓMICA DE INSECTOS DE IMPORTANCIA FORENSE"³ y mediante claves taxonómicas disponibles en la literatura. Se consultó la información climática de la zona de procedencia del cadáver. Se compararon los fenómenos cadavéricos y el tiempo de desarrollo de las muestras entomológicas analizadas con la información publicada en el estudio de Anderson (2000). Finalmente, las evidencias fueron documentadas⁴ y almacenadas en la Colección Entomológica de Referencia Forense del Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses (INMLCF-CE).

Evidencia entomológica recibida

- En alcohol: larvas de Diptera.
- Vivas para cultivo: larvas de Diptera, las cuales fueron cultivadas desde el momento de la recepción a 21.3°C y 42.5%⁵ de humedad relativa, con el objetivo de obtener las formas adultas.

La evidencia fue recolectada durante el procedimiento de necropsia y recibida en el laboratorio posteriormente. El médico forense solicitó estimar tiempo aproximado de muerte.

⁵ Información tomada del Informe ejecutivo del caso.

Hallazgos e interpretación

Las evidencias analizadas corresponden a insectos del orden Diptera. Los resultados obtenidos se muestran en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Evidencia analizada Caso 2

No. Evidencia	No. Individuos	Tipo de evidencia	Resultado
a	3	Larva III	<i>Lucilia sericata</i>
b	3	Adulto	<i>Lucilia sericata</i>
b	3	Adulto	<i>Lucilia sericata</i>

Según estudios realizados en Bogotá y en áreas aledañas a la ciudad, se han reportado diferentes especies de la familia Calliphoridae como primeros colonizadores de cadáveres humanos y en cadáveres de cerdo, tales como *Lucilia sericata* (Meigen, 1826) (Usaquén y Camacho, 2004), *Calliphora vicina* Robineau-Desvoidy, 1851 (Camacho, 2005), *Comptosomyiops verena* (Walker, 1849) y *Sarconesiopsis magellanica* (Le Guillou, 1842) (Segura *et al.* 2005).

Lucilia sericata es una de las primeras especies colonizadoras de cadáveres, la oviposición ocurre típicamente pocas horas después de la muerte; las larvas de esta especie se desarrollan en una gran variedad de sustratos, sin embargo tienen gran preferencia por los cuerpos en descomposición (Byrd y Castner 2001). Esta especie se ha reportado en los departamentos de Antioquia, Cundinamarca, Santander y Sucre (Pape *et al.* 2004).

Teniendo en cuenta que la evidencia entomológica recolectada durante el procedimiento de necropsia, se tomó de la herida quirúrgica que el occiso tenía en el brazo izquierdo (evidencia a), es posible que las muestras hayan colonizado en un algún momento previo a la muerte, y que se trate de una miasis cutánea obligatoria. Lo anterior, dado que las larvas de *Lucilia sericata* (especie colonizadora) pueden ocasionar miasis accidentales y ocasionales (se alimentan de tejidos muertos o de sustancias orgánicas en descomposición) u obligatorias (se alimentan de tejidos animales vivos) (Mariluis y Schnack 2002). Por lo anterior, se estima el tiempo de desarrollo de la especie colonizadora en el cadáver, aclarando que éste puede ser mayor al tiempo aproximado de muerte.

La localidad de La Candelaria tiene una temperatura promedio de 14°C. Esta condición ambiental se utilizó para estimar el tiempo de desarrollo de la evidencia encontrada en el cadáver, a partir de los datos de reportados por Anderson (2000) para alcanzar el tercer estadio larval de *Lucilia sericata* a 15.8+/-0.005°C (**Tabla 3**).

Tabla 3. Datos de desarrollo de *Phaenicia sericata* (= *Lucilia sericata*) a 15.8+/-0.005°C. Adaptado de Anderson (2000). LI: larva de primer estadio, LII: larva de segundo estadio, LIII: larva de tercer estadio

Tiempo en alcanzar el estadio en días		
Estadio	Mínimo (DS)	Máximo (DS)
LI	1.69 +/-0.12	1.85 +/-0.05
LII	3.93 +/-0.08	4.30 +/-0.33
LIII	5.65 +/-0.28	6.61 +/-0.82

Conclusiones

Teniendo en cuenta los datos de desarrollo de *Lucilia sericata* a 15.8°C (+/-0.005°C) (Anderson 2000), desde el estado de huevo hasta alcanzar el tercer estadio larval, según el método entomológico de “Ciclo de vida de dípteros colonizadores”, se estima que el **tiempo de desarrollo de la evidencia está entre 5.37 y 7.43 días** al momento de ser colectadas las muestras entomológicas.

Teniendo en cuenta que la evidencia se recolectó únicamente de la herida quirúrgica que tenía el occiso, que el cuerpo presentaba fenómenos cadavéricos tempranos, que la evidencia se encontraba en tercer estadio larval y que las malas condiciones de salubridad del lugar de los hechos podrían haber facilitado una colonización previa, tratándose de una miasis cutánea obligatoria, se concluye que el **tiempo aproximado de muerte** es menor al tiempo de desarrollo de las muestras entomológicas.

Caso No. 3. Estimación de tiempo de muerte por ciclo de vida y sucesión

Historia de caso

Se encontró el cadáver de una mujer, de aproximadamente 23 años edad, en una zona boscosa del sector la María de la Loma del Escobero del municipio de Envigado (Antioquia). Se realizó la necropsia médico legal, encontrando que el cuerpo presentaba estado de descomposición avanzado, ausencia de cuero cabelludo, cabello, músculos de la cara, músculos del cuello y tórax anterior; ausencia visceral, ojos, orejas, tejidos blandos de la boca, del cuello, desprendimiento del maxilar inferior por pérdida de tejidos; ausencia de vísceras del tórax, partes faltantes *postmortem* debido a fauna cadavérica y carroñeros².

Se realizó la identificación taxonómica de la evidencia, con base en el Procedimiento Estandarizado de Trabajo (PET) “ESTUDIO ENTOMOLÓGICO PARA IDENTIFICACIÓN TAXONÓMICA DE INSECTOS DE IMPORTANCIA FORENSE”³ y mediante claves taxonómicas disponibles en la literatura. Se consultó la información climática de la zona de procedencia del cadáver. Se compararon los fenómenos cadavéricos, el tiempo de desarrollo y el tiempo de aparición de las muestras entomológicas analizadas con la información publicada en el estudio de Pérez *et al.* 2005. Finalmente, las evidencias fueron documentadas⁴ y almacenadas en la Colección Entomológica de Referencia Forense del Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses (INMLCF-CE).

Evidencia entomológica recibida

- a. En alcohol: larvas de Diptera.
- b. Para cultivo: pupas, puparios y adultos de Diptera. No se realizó cultivo porque al momento de recibir las muestras entomológicas, los adultos ya habían emergido y las pupas estaban muertas.

La evidencia fue recolectada durante el procedimiento de necropsia y recibida en el laboratorio posteriormente. El médico forense solicitó estimar tiempo aproximado de muerte.

Hallazgos e interpretación

Las evidencias analizadas corresponden a insectos del orden Diptera. Los resultados obtenidos se muestran en la **Tabla 4**.

Tabla 4. Evidencia analizada Caso 3

No. Evidencia	No. Individuos	Tipo de evidencia	Resultado
a	33	Larva III	<i>Chrysomya albiceps</i>
a	3	Larva III	<i>Comptosmyiops verena</i>
a	1	Larva II	Calliphoridae
b	4	Pupa	Calliphoridae
b	8	Pupario	<i>Chrysomya albiceps</i>
b	15	Adulto	<i>Chrysomya albiceps</i>

Comptosmyiops verena Walter, 1849 es una especie andina, que ha sido descrita como hemisinantropica y se ha reportado como primer colonizador de cuerpos de cerdo en descomposición en la localidad de Usaquén (Segura *et al.*, 2005, 2009). En Colombia se ha encontrado en Cundinamarca, Boyacá y Meta (Pape *et al.*, 2004) y a partir de casos recibidos para análisis, se ha encontrado para el departamento de Antioquia (Camacho y Segura, 2008).

Chrysomya albiceps está asociada a cadáveres como una especie secundaria (Segura *et al.*, 2009). Según un estudio realizado en Medellín, las larvas de esta especie, aparecen desde el día 7 de la descomposición (Wolff *et al.*, 2001).

Se consultó la temperatura ambiental promedio de la zona de procedencia del cadáver, encontrando que varía desde 22°C en la cabecera municipal hasta los 18°C en la parte alta, con una humedad relativa del 70%.

La estimación del tiempo de muerte del presente caso, se realizó a partir de los datos de desarrollo de las larvas de tercer estadio de *Comptosmyiops verena* y de la aparición de las larvas de *Chrysomya albiceps* (evidencia a), que son las evidencias con mayor grado de desarrollo que se recibieron en alcohol para análisis. Los datos de desarrollo de *Comptosmyiops verena* se tomaron del estudio de Greenberg y Szyska (1984) citado por Greenberg y Kunich (2002) (**Tabla 5**). De acuerdo con estos datos, el tiempo de desarrollo de *C. verena*, desde el estado de huevo hasta completar el tercer estadio larval es de 7.9 días.

Según el estudio de Pérez *et al.* (2005), realizado en un área urbana de la ciudad de Medellín, bajo condiciones climáticas similares (18°C-24°C) a las de la zona de procedencia del cadáver, las formas inmaduras de *Chrysomya albiceps* aparecieron desde el estado hinchado (día 2-6 *postmortem*) y continuaron en el cadáver durante el estado de decaimiento activo (día 7-12).

Tabla 5. Datos de desarrollo de *C. verena* a una temperatura máxima de 26°C (+/-3.1°C) y mínima de 21.7°C (+/-1.9°C). Adaptado de Greenberg y Szyska, 1984 (citados por Greenberg y Kunich, 2002).

Estadio	Duración (días)
H	0.67
LI	0.75
LII	0.94
LIII	5.56

postmortem), el cual se caracterizó porque la temperatura interna del cadáver fue mas alta que la ambiental. Los autores indican que las larvas de *Chrysomya albiceps* de tercer estadio de desarrollo aparecieron específicamente el día 8 de la descomposición y que las formas inmaduras de esta especie permanecieron hasta la fase de descomposición avanzada (día 13-22 *postmortem*), la cual se caracterizó por la remoción de la mayoría de los tejidos internos, observándose una sustancia mucilaginosa producto de la descomposición.

La descripción de los fenómenos cadavéricos es concordante con la aparición de las muestras entomológicas recibidas para análisis (*C. albiceps*), durante las fases de descomposición activa y avanzada del estudio de Pérez *et al.* (2005).

Conclusiones

Teniendo en cuenta los datos de desarrollo de *Comptosmyiops verena* (Greenberg y Szyska, 1984) y la aparición de las larvas de tercer estadio de desarrollo de *Chrysomya albiceps* (Pérez *et al.* 2005), se calcula que el **tiempo aproximado de muerte** está entre 8 y 22 días, al momento de ser recolectadas las muestras entomológicas.

La estimación del tiempo de muerte se realiza tomando como referencia estudios que registran condiciones ambientales y geográficas similares a las de la zona de procedencia de las muestras entomológicas, por lo tanto el tiempo puede variar un poco al contar con datos más precisos.

Teniendo en cuenta que el tiempo de colonización puede variar dependiendo de diversos factores, como las condiciones climáticas, la facilidad de acceso al cadáver, la causa de muerte, entre otros, es difícil calcular este lapso de tiempo, por lo cual el análisis generalmente se inicia a partir del estado de huevo. Por lo anterior, se hace importante realizar suficientes estudios que permitan calcular los tiempos de colonización de los primeros colonizadores en diferentes ambientes y condiciones de muerte.

Agradecimientos

La autora expresa su agradecimiento a las directivas del Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses por el apoyo brindado desde hace 10 años, a partir del cual se logró implementar el Laboratorio de Entomología Forense y prestar desde hace 4 años un servicio pericial para la estimación de tiempo de muerte de cadáveres en estado de descomposición.

Literatura citada

- ANDERSON, G. 2000. Minimum and Maximum Development Rates of Some Forensically Important Calliphoridae (Diptera). J. Forensic Sci 45 (4): 824-832.
- BYRD, J.; CASTNER, J. 2001. Forensic Entomology: The utility of arthropods in legal investigations. CRC Press. Washington D.C. 418p.
- CAMACHO, G.; SEGURA, N. 2008. Entomofauna de la Colección Entomológica Forense (INMLCF-CE) del Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses. Resúmenes XXXV Congreso de Socolen Calí 1 - 18 de julio de 2008.
- CAMACHO, G. 2005. Sucesión de la entomofauna cadavérica y ciclo vital de *Calliphora vicina* (Diptera: Calliphoridae) como primera especie colonizadora, utilizando cerdo blanco (*Sus scrofa*) en Bogotá. Revista Colombiana de Entomología 31 (2): 189-197.

- DI MAIO, V.; DANA, S. 2003. Manual de Patología Forense. Ediciones Diaz de Santos, S.A. Madrid, Espana. 260 p.
- DEL BIANCO FARIA, O.; TRINCA, LA.; GODOY WAC. 1999. En: GRASSBERGER, M.; FRIEDRICH, E.; REITER, C. 2003. The blowfly *Chrysomya albiceps* (Wiedemann) (Diptera: Calliphoridae) as a new forensic indicator in Central Europe. *Int J. Legal Med* 117: 75–81.
- DEL PONTE, E. 1958. En: VISCIARELLI, E.; GARCÍA, S.; SALOMÓN, C.; JOFRÉ, C.; COSTAMAGNA, S. 2003. Un caso de miasis humana por *Cochliomyia hominivorax* (Diptera: Calliphoridae) asociado a pediculosis en Mendoza, Argentina. *Parasitol. Latinoam* 58: 166 – 168.
- GENNARD, D. 2007. Forensic Entomology: An Introduction. John Wiley, England. 224 p.
- GREENBERG y SZYSKA, 1984. En: GREENBERG, B.; KUNICH, J. 2002. Entomology and the Law Flies as forensic indicators. Cambridge University Press. Cambridge. p.68, 101.
- KALISZAN, M.; HAUSER, R.; KERNBACH-WIGHTON, G. 2009. Estimation of the time of death based on the assessment of post mortem processes with emphasis on body cooling. *Legal Medicine* 11: 111-117.
- MARILUIS, J.; SCHNACK, J. 2002. Calliphoridae de la Argentina. Sistemática, ecología e importancia sanitaria (Diptera, Insecta). Pág. 36. En: Actualizaciones en artropodología sanitaria. Serie Enfermedades Transmisibles. Mundo Sano. 300 p.
- PAPE, T., WOLFF, M.; AMAT, E. 2004. Los Califóridos, Estridos, Rinofóridos y Sarcófágidos (Diptera: Calliphoridae, Oestridae, Rhinophoridae, Sarcophagidae) de Colombia. *Biota Colombiana* 5 (2) 201-208.
- PÉREZ, S.; DUQUE, P.; WOLFF, M. 2005. Successional Behavior and Occurrence Matrix of Carrion – Associated Arthropods in the Urban Area of Medellin, Colombia. *Journal Forensic Science*. Vol. 50 (2) 1-7.
- SEGURA, N.; USAQUÉN, W.; SÁNCHEZ, M.; CHUAIRE, L.; BELLO, F. 2009. Succession pattern of cadaverous entomofauna in a semi-rural area of Bogotá, Colombia. *Forensic Science International* 187: 66-72.
- SEGURA, N.; USAQUÉN, W.; SÁNCHEZ, M.; SÁNCHEZ, R.; CHUAIRE, L.; CAMACHO, G.; RAMÍREZ, L.; CARREÑO, M.; BELLO, F. 2005. Curvas de crecimiento y desarrollo de los primeros insectos colonizadores (Diptera: Calliphoridae) sobre cadáveres de cerdo *Sus scrofa* en Bogotá (Colombia). *Revista de Investigación Universidad de La Salle*. Universidad de La Salle. 5: 129–140.
- USAQUÉN, W.; CAMACHO, G. 2004. Ciclo de vida de *Lucilia sericata* (Diptera: Calliphoridae) como primera especie colonizadora presente en hígado humano realizado en el Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses. Bogotá 2000. *Revista del INML y CF*. Vol. 18 (2): 31 – 36.
- WOLFF, M.; URIBE, A.; ORTIZ, A.; DUQUE, P. 2001. A preliminary study of forensic entomology in Medellin, Colombia. *Forensic Science International*. 120 53–59.

Simposio Control Biológico

Coordinadores:

**Fernando Cantor, Ph.D.
Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, D. C. y**

**María del Rosario Manzano, Ph. D.
Universidad Nacional de Colombia, Palmira**

Biological control of pests in protected cultivation: implementation in Latin America and successes in Europe

Vanda Helena Paes Bueno¹ y Joop C. van Lenteren²

¹PhD., Laboratório de Controle Biológico, Departamento de Entomologia, Universidade Federal de Lavras, C. P. 3037, 37200-000 Lavras, MG, Brasil. vhpbueno@ufla.br ² PhD, Laboratory of Entomology, Wageningen University, PO Box 8031, 6700 EH, Wageningen, The Netherlands. joop.vanLenteren@wur.nl

Abstract

The area with greenhouse crops is estimated to be around 40,000 hectares in Latin America, of which approximately 60% is occupied with ornamentals. Several pests are responsible for losses in yield or quality of greenhouse crops production and pest control is still mainly by chemicals. However, there are several stimuli for the adoption of biological control strategies as an IPM component, not only for the export market of products, but also for increased use of sustainable plant protection methods as a result of the increased success of this methodology in European countries. In Latin America use of native natural enemies plays an important role in pest control and the procedure for development and implementation for biological control in protected cultivation should, therefore, not be based only on the importation and release of commercialized exotic natural enemies. Biological control can be developed making use of effective native natural enemies, or of those introduced a long time ago, and might be supplemented with exotic natural enemies for those pests where native biological control agents are ineffective. In Brazil, the reason for use of native agents is mainly due to concern about environmental risks of imported natural enemies and also because native or naturalized natural enemies are well adapted to local environmental conditions. In many countries, including Brazil, Colombia, Chile, Ecuador, Peru and Mexico, IPM and biological control programs are commercially used or are implemented in pilot greenhouses. Several successes of biological control programs used in Europe will be illustrated.

Key words: Augmentative biological control. Greenhouse crops. Parasitoids. Predators.

Introduction

In the past 24 years the surface areas with greenhouses have increased more than 100%, with an increase of 4,4% per year. New areas, mainly in Asian, Mediterranean and Latin American countries showed a strong increase in protected areas stimulated by cultivation of high-value crops (Bueno 2005a,b). The estimated area with greenhouse crops in Latin America is around 40,000 hectares, and approximately 60% of this area is occupied with ornamentals (Bueno 2008; van Lenteren 2009a). The province of Almeria, Spain, houses approximately 27,000 ha of plastic covered horticultural crops, probably representing the most densely concentrated greenhouse area in the world (van der Blom et al 2009).

Thrips, whiteflies, aphids, leafminers, fungus gnats and mites are among the pests of general occurrence all over the world, which besides of it's their biotic potential, or high reproductive capacity, have also acquired resistance to many pesticides. According van der Blom *et al.* (2009) the low tolerance by growers to some of these pests has led to intensive chemical control programs, as a result of which the population of various pests have developed resistance against the applied active ingredients.

Although pest control is still mainly by chemicals, biological control in protected crops gained interest in the Americas and Japan, stimulated by the increased success of this methodology in the European countries. There are several stimuli pushing the growers for that, including limited or no legislative restrictions, safety for the workers, increase of pesticide resistance and absence of pesticides residues (Bader *et al.* 2005). Then, there are several stimuli for the adoption of biological control strategies as an IPM component, not only for the export market of products, but also for the more regular use of sustainable plant protection methods in developing greenhouse areas.

Pests in protected cultivation are actually managed by biological control on approximately 40,000 hectares all over the world compared to the 200 hectares in the year 1970 (van Lenteren 2000; van Lenteren 2009a). In the regions of Almeria and Cartagena (Spain) (Mediterranean area) the area with biological control was 6,200 ha in 2006, while today it is about 11,700 hectares. According to van der Blom *et al.* (2009) all together, biological control plays a vital role in about 80% of the greenhouse crops in Almeria.

Over 80% of the biological control used in protected crops in European countries is for control of pests in cucumber, tomato and sweet pepper, and all the horticultural crops together use around 90% of all commercialized natural enemies. However, since the year 1990, the use of biological control has increased in cut flowers (gerbera, orchids, roses and chrysanthemums) and in potted plants (poinsettia, anthurium) in greenhouses. An indicative factor of the success of this control method is the drastic reduction in the use of pesticides: in horticultural crops this reduction was approximately 80-95% (Bolkmans 2007). In European greenhouses, a change from chemical control to very advanced Integrated Pest Management Programs (IPM) took place in a time span of only 20 years. Nowadays, European growers annually introduce millions of natural enemies for pest control. About 150 species of beneficial organisms are commercially available for control of all important insect and mite pests. In the main vegetable crops most insect problems can now be solved without the use of insecticides.

However, in the case of Latin America, development and implementation of biological control in protected cultivation should not be based on mere import and release of commercially produced natural enemies. Biological control can be developed making use of effective native natural enemy, or on those introduced a long time ago, and might be supplemented with exotic natural enemies for those pests where native biological control agents are ineffective (van Lenteren y Bueno 2003). In Brazil, the reasons for this are mainly due to concern about the environmental risks of imported natural enemies and also because native or naturalized natural enemies are well adapted to the local environmental conditions.

In many countries, including Brazil, Colombia, Chile, Ecuador, Peru and Mexico, IPM and biological control programs exist on commercial scale or are implemented in pilot greenhouse farms (Bueno 2005a,b; Bueno y Poletti 2009).

Success of the use of biological control in Europe

Successful IPM programs for greenhouse crops have a number of characteristics in common, such as (a) their use was promoted only after a complete IPM program had been developed covering all aspects of pest and disease control for a crop, (b) an intensive support of the IPM program by the advisory/extension service was necessary during the first years, (c) the total costs of crop protection in the IPM program were not higher than in the chemical control program, and (d) non-chemical control

agents (like natural enemies, resistant plant material) had to be as easily available, as reliable, as constant in quality and as well guided as chemical agents (van Lenteren 2009b).

Today Europe has more than 30 commercial natural enemy producers including the world's three largest. These three largest companies serve more than 75% of the greenhouse biological control market world-wide. Of the more than 150 biological control agents that are marketed today for pest control in greenhouses, about 30 make up 90% of the total sales (van Lenteren 2003). Mass production of natural enemies has seen a very fast development during the past three decades. The numbers produced have greatly increased (up to 50 million individuals per week), the spectrum of species available has widened dramatically (from 2 in 1970 to more than 150 nowadays), and mass production methods clearly have evolved (van Lenteren & Tommasini, 2003). The larger arthropod mass production companies have now scientists employed who developed and apply quality control tests (van Lenteren 2003; van Lenteren 2009b).

In The Netherlands for example, more than 90% of all tomatoes, cucumbers, sweet peppers and egg plants are produced under IPM (van Lenteren 2000). According to van der Blom *et al.* (2009) biological control in Almeria (Spain) has been applied on small scale since over 15 years, initially with rather unpredictable results. However, due to the availability of new biological control agents and to the grown experience in the implementation of the IPM system, the system became technically viable and economically feasible. Biological control has recently been implemented in about 50% of the most important greenhouse crops in Almeria, including virtually all sweet peppers (Table 1). Sampson *et al.* (2009) reported that with the development of effective programs, the biological control inputs and cost of IPM programs have reduced because there are fewer residues of insecticides such as imidacloprid, which adversely affected natural enemy establishment. In 2008, the average usage by pepper growers was 2.25/m² *Orius laevigatus* (Fieber) (Hemiptera: Anthocoridae), 60/m² *Amblyseius swirskii* (Athias-Henriot) (Acari: Phytoseiidae), 2/m² *Eretmocerus mundus* and 0.15/m² *Aphidius colemani*. The costs of the IPM programs were 30% less than the chemical control programs (Table 2). Sampson *et al.* (2009) also showed that in Dutch chrysanthemum crops, the costs of the IPM programs were greater than that of chemical control and the yields were not significantly greater. However, returns to growers were 3% (*Neoseiulus cucumeris* release) and 7% (spraying BotaniGard) greater when using IPM (Table 3).

Where IPM programs have been developed, integrating biological control agents to control pests in protected cropping is more cost effective and sustainable than relying solely on insecticides. Growers can be reluctant to try IPM as they perceive it as more expensive and complicate than chemical programs (Wearing 1988). These trials demonstrated that in the crops as pepper and chrysanthemum, even where costs were higher, the improved pest control, yield and quality resulted in greater returns to growers.

Table 1. Evolution of application of biological control agents (parasitoids and predators) as principal pest control strategy in the principal greenhouse crops in Almeria (Spain), expressed in hectares under biocontrol (van der Blom *et al.* 2009).

Crops	Periods (years)			Total surface In ha (autumn 2008)	% with biological control (2008-2009)
	2006- 2007	2007- 2008	2008-2009		
Sweet pepper	650 ha	6,000 ha	7,500 ha	7,500	100
Tomato	500	1,400	2,000	8,500	25
Cucumber	150	600	1,100	4,000	26
Squash	50	310	500	2,000	25
Egg plant	50	400	600	1,500	40
Total	1,400 ha	8,710 ha	11,700 ha	23,500 ha	50

Table 2: The average costs and returns of IPM (emphasizing biological control) and chemical control strategies in Spanish protected pepper crops (Sampson *et al.* 2009).

Pest Control Strategy	Chemical	IPM
Yield (Kg/m ²)	5.5	6.3
Price (€/m ²)	0.62	0.65
Return (€/m ²)	3.43	4.01
Crop Protection costs (€/m ²)	1.0	0.66
Margin over input costs (€/m ²)	2.43	3.35

Table 3: Costs and returns of IPM and chemical control strategies per 10 weeks cycle, in protected chrysanthemum crops (Sampson *et al.* 2009).

Pest Control Strategy	Chemical	IPM with <i>N. cucumeris</i>	IPM with BotaniGard
Average Yield (stems/m ²)	50	50	50
Crop Price (€/100 stems)	22	22.5	22.5
Crop Protection Costs (€/m ²)	0.27	0.43	0.29
Other Operating Costs (€/m ²)	7.6	7.6	7.6
Margin over input Costs (€/m ²)	3.13	3.22	3.36

Status of biological control use in Latin America

The production under protected cultivation is a recent development in **Brazil**. The total area with greenhouse is approximately 17,000 ha and most of this area is used for ornamentals production (60%). In order to implement biological control programs the following objectives are being used (1) evaluate the development of pests and native natural enemies in the commercial greenhouse areas, (2) study of biology, behavior and influence of the climatic conditions; and development of mass-rearing methods, of native natural enemies and (3) release of natural native enemies in commercial crops in small areas (pilot programs), including studies on release ratios and use of banker plants or open rearing unit.

In strawberry, mites are considered primary pests and among them the most important species is *Tetranychus urticae* (Koch). The predatory mites *N. californicus* and *Phytoseiulus macropilis* have been found as natural enemies on *T. urticae*. According to Fadini *et al.* (2006), *P. macropilis* has been reported to feed on *T. urticae* populations in strawberry cultivation areas in the cities of Barbacena and Caldas, in Minas Gerais. It is suggested that his predator is responsible for keeping populations of spider mites at low densities on strawberry plants in these areas. Studies have also demonstrated that *N. californicus* is a very effective natural enemy for controlling the two-spotted spider mite in strawberry, and it is able to keep the population of this pest below the economic injury level if released when *T. urticae* populations are relatively low (< 5 mites/leaflet) (Poletti *et al.* 2008). The comparison between use of chemical and biological control of *T. urticae* indicated that in the area with chemical control the infestation of the *T. urticae* was approximately 18 spider mites/leaflet, which was 40 times higher than the value observed where the predatory mite *N. californicus* was released (bed treated with biological control (Figure 1) (Bueno y Poletti 2009). After this pilot program, we implemented the program in a commercial area of strawberry cultivation in low tunnels with the use of *N. californicus* against *T. urticae*. The use this predatory mite is part of an IPM program for strawberry crops, including the most important producing regions of Brazil, and also in rose, gerbera daisy and chrysanthemum crops in greenhouses.

The potential of the predatory mite *Stratiolaelaps scimitus* (Acari: Laelapidae) in controlling fungus gnat larvae (*Bradysia matogrossensis*) in protected azalea crops with inundative releases (200-predatory mite/m²) immediately after planting the seedlings, when fly infestations are still low, showed the success of this strategy (Figure 2) (Bueno y Poletti 2009).

In Brazil the mite *S. scimitus* is used to control fungus gnats larvae in citrus seedling production and nurseries with several ornamentals plants, such azalea and anthurium.

The implementation of biological control programs of thrips are in development in Brazil. The predatory bug *O. insidiosus* was effective in controlling thrips populations, mainly the western flower thrips *Frankliniella occidentalis*, in rose crops under protected cultivation, and the carnation plant *Tagetes erecta* showed potential to be used as a banker plant in ornamental crops, such as roses, in conjunction with *O. insidiosus* (Bueno *et al.* 2009).

Other studies related to protected cultivation are being developed in Brazil involving searching for and evaluation of parasitoids of leafminers (*Liriomyza*) (Bueno 2009b) and parasitoids and predators of the tomato borer *Tuta absoluta* (Meyrick). The tomato borer is an important pest native to South America and now is creating severe problems in several European countries.

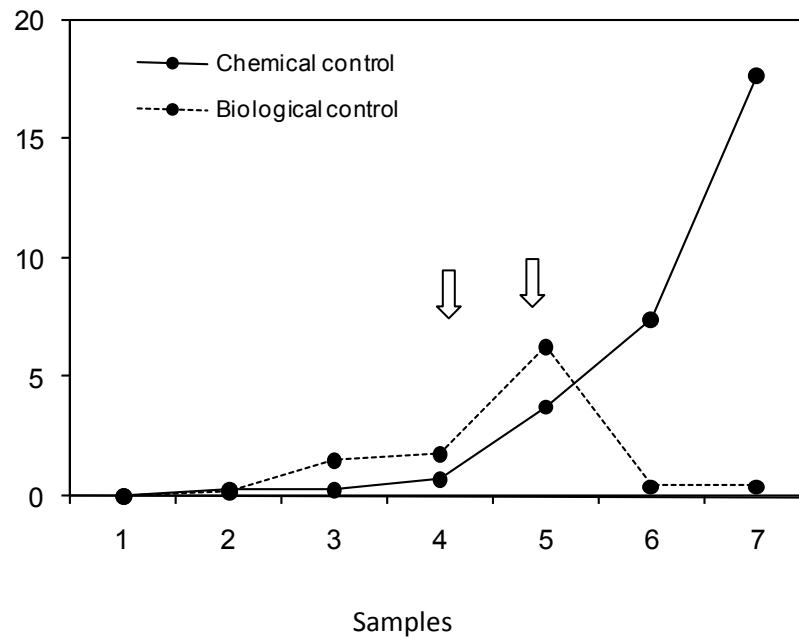


Figure 1: Average number of spider mites (*Tetranychus urticae*) in strawberry beds with chemical and biological control in a commercial low tunnel production system. Arrows indicate acaricide sprays in the strawberry bed with chemical control (Bueno y Poletti 2009).

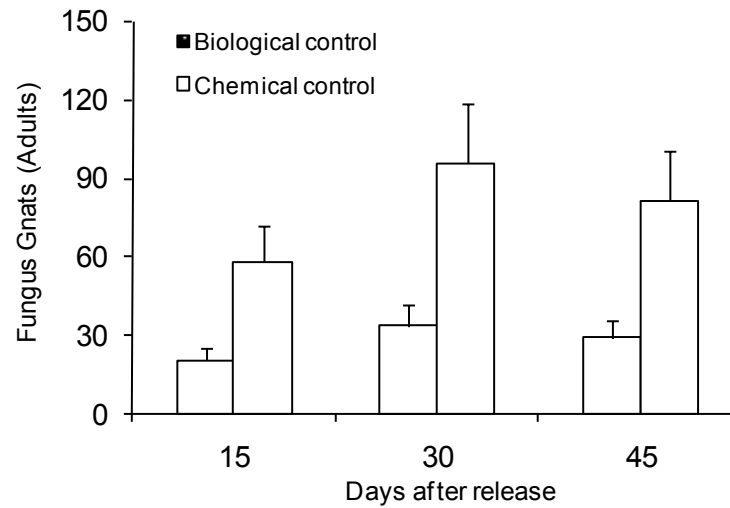


Figure 2. Mean number of *B. matogrossensis* adults in an azalea crop in an area where the predatory mite *S. scimitus* was used and in an area under chemical control (Bueno y Poletti 2009).

Colombia was one the first countries in Latin America starting with the production of ornamentals in greenhouses. About 98% of the flower production in Colombia is for exportation. In 1996 the

'Florverde Program' was created and one of the objectives is to promote the implementation of IPM programs in flowers and ornamentals in greenhouses. According to Lee (2008), integrating the different pest management strategies on the farms remains a challenge, which several joint research projects should help to solve. Other studies in Colombia concern biological control of the leafminer *Liriomyza huidobrensis* in *Gypsophyla paniculata* crops by the introduction and conservation of *Diglyphus begini* and, of *Tuta absoluta* and whitefly in tomato crops with the use of *Apanteles gelechiidivoris* and *Encarsia formosa*, respectively. A biological control program in development in commercial greenhouse refers to the use of *N. californicus* against the spider mite *T. urticae* in roses (14.64 ha) and hortensias (1.56 ha) crops.

The greenhouse area in **Chile** is around 1500 ha. Biological control programs are being conducted in tomato crops (100 ha) for control of whitefly with the use of *E. formosa* and *Eretmocerus corni* and for the leafmining caterpillar *T. absoluta*, with the use of *Trichogramma nerudai*.

The greenhouse area in **Ecuador** is around 2500 ha with flowers (mainly roses) and 1000 ha with vegetables (mainly tomato). The biological control program refers to the release of the parasitoid *E. formosa* for biocontrol of whitefly in tomato crops; the predatory mite *N. californicus* for biological control of spider mites in rose crops and the parasitoid *Diglyphus* for control of the leafminer *Liriomyza*.

The greenhouse area in **México** is around 3500 ha. For the largest greenhouse vegetable crop, tomato, Mexico is known to apply IPM including biological control, on 110 ha; and also in sweet pepper on an area of 30 hectares.

In **Peru** the egg parasitoids *T. pretiosum* and *Trichogramma pinto* are released for the control of *T. absoluta* on about 50 ha.

Challenges for more use of biological control in protected crops in Latin America

Greenhouses are of very different construction in developing areas, as in Latin America, and this strongly affects pest development and control. The area with greenhouses is strongly growing in these new regions. A negative observation is that pest control is still mainly by chemical pesticides and that several factors limit application of biological control and IPM in Latin America. A positive observation is that biological control and IPM are successfully applied in some countries in Latin America. Also many beneficial insects occur in Latin America and have proven to be good natural enemies for control of greenhouse pests.

Other challenges which are common to many Latin American countries include the still problematic mass production of high numbers and for many species of biological control agents. Research in this area should be stimulated, and also the collaboration between members of IOBC/NTRs, to develop greenhouse biological control networks in Latin America which may promote the use and implementation of biological control programs for pests in protected cultivation as example of excellent development of this method in European countries.

Future of ipm and biological control in greenhouses

According to van Lenteren (2009a) the use of biological and integrated control in greenhouses will certainly increase, for several reasons:

1. Strongly reduced availability of chemical pests;
2. Pesticides development no long targeted at greenhouse crops;
3. Compulsory testing of side effects of pesticides on non-target organisms for registration;
4. Implementation of “ substitution principle”: only ecologically safest control will be registered;
5. Registration of micro and microbial control agents;
6. Quality control of natural enemies;
7. Continued and better screening of new natural enemy;
8. Development of biological control of diseases;
9. Increased demand for pesticide-free productions;
10. Positive image for greenhouse industry.

During the first decades of this century crop production in greenhouses without conventional chemical pesticides could become a fact!

References

- BADER, A.; HEINZ, K.; WHARTON, R. 2005. Impact of interspecific interactions on inoculative biological control of leafminers. IOBC/WPRS Bulletin 28: 5-9.
- BOLKMANS, K. J. F. 2007. Reliability, quality and costs: the basic challenges of commercial natural enemy production. Global IOBC Bulletin 3: 8-11.
- 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.; 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. 2009a. Controle biológico de pragas: um método de sucesso no controle de pragas em cultivos protegidos. Revista Plasticultura 10: 28-31.
- BUENO, V. H. P. 2009b. Moscas minadoras: importantes pragas em cultivos protegidos. Revista Plasticultura 9: 32-33.
- 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, 1ªEd., Viçosa, MG, Suprema Gráfica e Editora Ltda., 2008, v.1, p. 71-94
- BUENO, V. H. P. 2005a. IPM and biological control of protected cropping in some developing greenhouse regions. IOBC/WPRS Bulletin 28: 23-26.
- BUENO, V. H. P. 2005b. Implementation of biological control in greenhouses in Latin America: how far are we? p. 531-537. In M. S. Hoddle (ed.), International Symposium on Biological Control of Arthropods, September 12-16, 2005, FHTET-2005-08, USDA, v. II, 734p.
- FADINI, M. A. M.; VENZON, M.; OLIVEIRA, H. G.; PALLINI, A. 2006. Manejo integrado das principais pragas do morangueiro. Boletim do Morango: cultivo convencional, segurança alimentar, cultivo orgânico 1: 81-95.
- LEE, R. A. 2008. IPM strategies in the Colombian cur flower industry. IOBC/WPRS Bulletin 32: 123-126.
- POLETTI, M.; KONNO, R. H.; SATO, M. E.; OMOTO, C. 2008. Controle biológico aplicado do ácaro rajado em cultivo protegido: viabilidade no emprego de ácaros predadores. In: Controle biológico de pragas: na prática,

- SAMPSON, C.; EEKHOFF, D.; PARRA, R. H.; LEWIS, J. 2009. The economic benefits of adopting integrated pest management in protected pepper, chrysanthemum and strawberry crops. IOBC/WPRS Bulletin 49: 15-20.
- VAN DER BLOM, J.; ROBLEDÓ, A.; TORRES, S.; SANCHÉZ, 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. 2009a. IPM in greenhouse vegetables and ornamentals. p. 354-365. In: RADCLIFFE, E.B., HUTCHINSON, W.D., CANCELADO, R.E. (eds), Integrated Pest Management Concepts, Tactics, Strategies and Case Studies. Cambridge University Press, Cambridge, 529p.
- VAN LENTEREN, J. C. 2009b. Controle de qualidade de agentes de controle biológico produzidos massalmente. p. 311-337. In: BUENO, V. H. P. (ed.), Controle biológico de pragas: produção massal e controle de qualidade. Editora UFLA, Lavras, 429p.
- VAN LENTEREN, J. C. 2007. Another dramatic increase of biological control and IPM in greenhouse this time in Europe. Newsletter on Biological Control in Greenhouse, Sting 30: 8.
- VAN LENTEREN, J. C.; BUENO, V. H. P. 2003. Augmentative biological control of arthropods in Latin America. Biocontrol 48: 123-139.
- Van LENTEREN, J. C.; TOMMAZINI, G. M. 2003. Mass production, storage, shipment and release of natural enemies. p. 181-189. In: Van Lenteren J. C. (ed.), Quality control and production of biological control agents: theory and testing procedures. CAB International, Oxon, 327p.
- VAN LENTEREN, J. C. 2000. A greenhouse without pesticides: fact or fantasy? Crop protection 19: 375-384.
- WEARING, C. H. 1988. Evaluating the IPM implementation process. Annual Review of Entomology 33: 17-38.

Secondary pests in Bt cotton: learning from Chinese experiences to anticipate pest outbreaks in Colombian transgenics

Kris A.G. Wyckhuys¹, Yanhui Lu², KongMing Wu²

¹. PhD, Horticulture Research Center CIAA, Universidad de Bogota Jorge Tadeo Lozano, Chia, Cundinamarca, Colombia, kwyckhuys@hotmail.com; ². PhD, State Key Laboratory of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, China Academy of Agricultural Sciences, Yuanmingyuan West Road, Beijing

Abstract

Transgenic crops that express *Bacillus thuringiensis* (Bt) toxins for insect pest control have been successfully adopted in many parts of the world. Even though these crops effectively suppress multiple lepidopteran and coleopteran pests, they have increasingly come under attack of several secondary pest species. At present, a myriad of secondary pests (Miridae, Pentatomidae, Pseudococcidae) are posing serious problems to Bt maize and cotton in India, Pakistan, China and Australia, eventually eroding the benefits of Bt crops. In China, *Apolygus lucorum* and *Adelphocoris* spp. (Heteroptera: Miridae) have turned devastating pests in large parts of the 5.5 million ha of Bt cotton acreage. Nevertheless, scientists swiftly responded to these outbreaks and bundled forces to lower infestation levels and associated yield losses. More specifically, in a matter of years they typified species composition and population dynamics, quantified key life history parameters and designed environmentally-sound management protocols. Their rapid response has provided local cotton growers with valuable information and management tools to adequately respond to the novel pest situation in Bt cotton. In this manuscript, we draw from Chinese experiences to indicate an urgent need for research on (eventual) emergent secondary pests and their control. This work is critical to ensure the effectiveness and sustainability of powerful agro-biotechnological technologies, such as Bt transgenic crops.

Bt crops: an ecologically-sound pest management option

A multitude of agricultural crops have been engineered to produce *Bacillus thuringiensis* (Bt) δ -endotoxins (Cry proteins). Key crops such as cotton and maize that carry Bt genes currently provide host plant resistance to several important lepidopteran and coleopteran pests. Their effective suppression of arthropod pests has led to the actual adoption of Bt crops in roughly 25 countries, on a total of 42.1 million ha in 2007. Without doubt, this widespread adoption of Bt crops provides ample environmental benefits, with an estimated 136.6 million kg reduction in insecticide use globally (Naranjo, 2009). Also, apart from controlling key pests within the crop itself, the regional establishment of Bt crops reduces abundance of these pests in other host crops and can even further lower insecticide use (Wu *et al.*, 2008).

Worldwide, Bt cotton has been successfully adopted in over 10 countries and is presently grown on >14 million ha globally. Cotton is primarily grown in China, India and the US. At present, China is the world leading cotton producer, with the crop cultivated on >5.5 million ha by more than 100,000 (small-scale) farmers. Bt cotton was commercially released in 1997 to control cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae), and is presently adopted by >95% of Chinese cotton growers. The crop effectively controls *H. armigera* and acts as a dead-end trap crop for regional populations of this pest in local agro-landscapes. Also, associated insecticide has gradually declined (Huang *et al.*, 2002; Wu *et al.*, 2008; Wang *et al.*, 2009). Consequently, Bt cotton is thought to greatly contribute to poverty reduction and development in rural China (Subramanian & Qaim, 2010).

Secondary pest outbreaks in Bt cotton

As early as the onset of Bt cotton development, concern existed about pest resistance development and eventual emergence of secondary pests (Gutierrez, 2005). In the early 1990s; lead entomologists indicated that a reduction of insecticide sprays in Bt cotton would probably release increased populations of plant bugs (Hemiptera: Miridae) and stink bugs (Hemiptera: Pentatomidae).

Effectively, it only took until 1994 that these insects were reported to cause heavy damage in Bt cotton in Australia (Fitt *et al.*, 1994). In the US, both hemipteran families have tangible potential to become key pests of Bt cotton (Hardee & Bryan, 1997), and research is ongoing to determine the conditions under which these insects can become pests in transgenic crops. In India and Pakistan, another group of insects (i.e., mealybugs; Homoptera: Pseudococcidae) have turned devastating pests of Bt cotton, leading local farmers to term Bt cotton “the deadly gift from Monsanto to India” (India Times, 2007; Ho, 2010).

In China, population levels of various species of plant bugs (*Adelphocoris* spp., *Apolygus lucorum*, *Lygus pratensis*) have gradually increased with the nation-wide adoption of Bt cotton (Wu *et al.*, 2002). At present, above plant bug species are key pests in all major cotton growing regions, regularly surpassing economic threshold levels and requiring pesticide intervention (Ho & Xue, 2008; Lu *et al.*, 2008). These secondary pests, and the increasing need for their control, are currently offsetting benefits of Bt cotton and compromising the sustainability of transgenic technologies (Wang *et al.*, 2008). A recent publication in Science magazine has also shown that these plant bugs are spilling over to a range of other crops, including grape, pear, Chinese date, severely affecting yield and triggering broader pesticide use (Lu *et al.*, 2010).

Management of secondary pests in China

Since 2006, KAGW has been collaborating with scientists at the China Academy of Agricultural Sciences in design and evaluation of pest management strategies for plant bugs in Bt cotton. This worked has covered a nation-wide assessment of plant bug species composition and population dynamics, life history studies, exploration of opportunities for biological control, and investigation of trap crop systems.

To gain a better appreciation of species composition and seasonal abundance of plant bugs, multi-year surveys were carried out in the principal Chinese cotton growing regions: Changjiang River, Yellow River and Northwestern Region (Lu *et al.*, 2008). This work identified a total of 5 different species, with *A. lucorum*, *L. pratensis* and *A. suturalis* most commonly encountered (depending on the region). Next, life history studies were conducted to capture temperature-dependent development of 3 mirid species (Lu *et al.*, 2009a). This work provided insights in phenology, geographic distribution and population dynamics, while also constituting the basis for development of degree-day prediction models.

Given that many plant bugs are highly polyphagous, plant suitability and preference trials were conducted under field conditions in 2006-07 (Lu *et al.*, 2009b). In these trials, we established 43 different plant species in 2006 and 130 plant species (21 families) in 2007. Weekly plant bug population levels were monitored on each species, and eventual preference or avoidance of a given plant species was recorded. During both years, the plant bug *A. lucorum* exhibited outspoken preference for mungbean, *Vigna radiatus*. Follow-up field experiments showed that *V. radiatus* has vast potential for use as a trap crop in Bt cotton fields, lowering *A. lucorum* densities in Bt cotton

fields by half and reducing insecticide use by 70% (Lu *et al.*, 2009b). Efforts are ongoing to further validate the trap crop system and take this technology to thousands of Chinese Bt cotton growers.

A note of caution for Colombian transgenics

In 2003, Bt cotton was adopted in Colombia and is currently planted in >28,000 ha (Santos *et al.*, 2009). At present, Bt cotton pervades the bulk of Colombian cotton growing regions, covering 81% of the total cotton acreage in Tolima in 2007 (ICA, 2007). Compared to conventional cotton, insecticides are used to far lower extent in Bt cotton, setting the ideal stage for secondary pest outbreaks. Although emergence of secondary pests has not been reported from the major cotton growing regions, some findings do call for extreme caution.

Firstly, some key lepidopteran species are not controlled by Bt cotton varieties that are currently planted. Pioneering work by Santos *et al.* (2009) has shown that *Spodoptera* spp. escape control by Cry1Ac proteins in Colombian Bt cotton crops, and could eventually turn secondary pests in these crops. Amongst others, the fall armyworm *S. frugiperda* could greatly benefit from a wide-scale adoption of Bt cotton and augment its pest status in multiple crops grown within Bt cotton agro-landscapes.

Secondly, various insect species that have become problematic pests in Bt cotton in other parts of the world are present in the region. In India and Pakistan, secondary pests of Bt cotton basically consist of the mealybugs *Maconellicoccus hirsutus* and *Phenacoccus solenopsis*, which are present throughout Colombia (e.g., Kondo *et al.*, 2008). Given that both species are moderately to highly polyphagous, they may readily occur within Colombian cotton agro-landscapes.

Echoing recommendations of Ho & Xue (2008), we definitely recommend that agro-biotechnological innovations such as Bt crops are treated with the necessary caution in the developing world and receive scientific follow-up to ensure their effectiveness and sustainability. As indicated in this document, research is necessary to anticipate emergence of Bt cotton pests, capture eventually existing pest outbreaks, and design appropriate management protocols for pests upon discovery.

References

- DEGUINE, J.P., FERRON, P., RUSSELL, D. 2008. Sustainable pest management for cotton production: a review. *Agronomy for Sustainable Development* 28, 113-137.
- FITT, G.P., MARES, C.L., LLEWELLYN, D.J. 1994. Field evaluation and potential ecological impact of transgenic cotton (*Gossypium hirsutum*) in Australia. *Biocontrol Science and Technology* 4, 535-548.
- GUTTIEREZ, A.P. Tritrophic effects in Bt cotton. *Bulletin of Science, Technology and Society* 25, 354-360.
- HO, M.W. 2010. Mealy bug plagues Bt cotton in India and Pakistan. <http://www.isis.org.uk/mealybugPlaguesBtCotton.php>, revised on April 14, 2010.
- HO, P., XUE, D. Farmers' perceptions and risks of agro-biotechnological innovations in China: ecological change in Bt cotton? *International Journal of Environment and Sustainable Development* 7, 396-417.
- INDIA TIMES, 2007. Bug makes meal of Bt cotton, whither Bt magic? <http://economictimes.indiatimes.com/News/Economy/Agriculture>, revised on April 14, 2010.

- KONDO, T., RAMOS-PORTILLA, A.A. & VERGARA-NAVARRO, E.V. 2008. Updated list of mealybugs and putoids from Colombia (Hemiptera: Pseudococcidae and Putoidae). *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle* 9, 29-5
- LU, Y.H., QIU, F., FENG, H.Q., LI, H.B., YANG, Z.C., WYCKHUYS, K.A.G. & WU, K. 2008. Species composition and seasonal abundance of pestiferous plant bugs (Heteroptera: Miridae) on Bt cotton in China. *Crop Protection*, 27, 465-472.
- LU, Y.H., WU, K.M., JIANG, Y.Y., XIA, B., LI, P., FENG, H.Q., WYCKHUYS, K.A.G., GUO, Y.Y. 2010. Mirid Bug Outbreaks in Multiple Crops Correlated with Wide-Scale Adoption of Bt Cotton in China. *Science* 328, 1151-1154.
- LU, Y.H., WU, K.M., WYCKHUYS, K.A.G. AND GUO, Y.Y. 2009a. Comparative study of temperature-dependent life histories of three economically important *Adelphocoris* spp. *Physiological Entomology* 34 (4), 318-324.
- LU, Y.H., WU, K.M., WYCKHUYS, K.A.G., GUO, Y.Y. 2009b. Potential of mungbean, *Vigna radiatus* as a trap crop for managing *Apolygus lucorum* (Hemiptera: Miridae) on Bt cotton. *Crop Protection* 28, 77-81.
- NARANJO, S.E. 2009. Impacts of Bt crops on non-target invertebrates and insecticide use patterns. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, Volume 4.
- SANTOS, O., DELGADO, O., ARGUELLES, J., AGUILLERA, E. 2009. Evaluación del comportamiento del complejo *Spodoptera* con la introducción de algodón transgénico al Tolima, Colombia. *Revista Corpoica* 10, 24-31.
- SUBRAMANIAN, A., QAIM, M. 2010. The impact of Bt Cotton on poor households in rural India. *Journal of Development Studies* 46, 295-311.
- WANG, S., JUST, D.R., PINSTRUP-ANDERSEN, P. 2008. Bt cotton and secondary pests. *International Journal of Biotechnology* 10, 113-121.
- WANG, Z., LIN, H., HU, R., ROZELLE, S., PRAY, C. 2009. Bt cotton in China: are secondary insect infestations offsetting the benefits in farmers' fields? *Agricultural Sciences in China* 8, 83-90.
- WU, K.M., LU, Y.H., FENG, H.Q., JIANG, Y.Y., ZHAO, J.H. 2008. Suppression of Cotton Bollworm in Multiple Crops in China in Areas with Bt Toxin-Containing Cotton. *Science* 321, 1676-1678.

Biología aplicada: una forma de usar el control biológico de plagas agrícolas en Colombia

Applied biology: a form of using biological control of agricultural pests in Colombia

Alexander Bustos, Daniel Rodríguez, Fernando Cantor

Docentes programa de Biología Aplicada, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá – Colombia. henry.bustos@unimilitar.edu.co.

Introducción

El Control Biológico de plagas que en los últimos años ha sido reconocido como una de las alternativas más importantes para el manejo de plagas agrícolas, debe ser incorporado dentro de un esquema de Manejo Integrado de Plagas en el que su viabilidad, implementación y permanencia dependen de la sincronización y armonización del Control Biológico con las demás herramientas de trabajo como son el Control cultural, físico, etológico y químico.

Con base en esta idea desde el grupo de Control Biológico de la U. Militar hemos abordado problemas de plagas de cultivos ornamentales y hortalizas, con el fin de implementar programas de control biológico de plagas en cultivos comerciales que sean viables económica y operativamente.

La propuesta se basa en la aplicación del conocimiento de la Biología y ecología de los organismos (Bajonero *et al.* 2008, Forero *et al.* 2008) para desarrollar una serie de herramientas y estrategias que permiten hacer seguimiento a las poblaciones de plagas y enemigos naturales en los cultivos, estandarizando sistemas de monitoreo de artrópodos (Hilarión *et al.* 2008,), sistemas de cría masiva de enemigos naturales que garanticen la oferta de la propuesta biológica (Daza *et al.* 2010, Bustos *et al.* 2009, Plazas y Arguelles 2008, De la Peña y Niño 2009), así como la aplicación de criterios biológicos como la capacidad de depredación y/o parasitación de los enemigos naturales como criterio de liberación de los organismos benéficos (Aragon *et al.* 2008), y criterios económicos como el umbral de daño económico (Hilarion *et al.* 2008, Forero *et al.* 2008, Ruge 2009, Casas & Novoa 2009).

De la misma manera, conscientes de que los enemigos naturales pueden ser usados en el sistema agrícola en la medida en que se entiendan sus relaciones con los demás organismos del sistema, hemos evaluado la compatibilidad o selectividad de productos químicos y biológicos (Entomopatogenos y extractos vegetales) con las plagas y sus enemigos naturales (Amaya *et al.* 2009, Numa 2009), y la forma en que estos artrópodos interactúan con otras especies de organismos en el agro ecosistema, lo que permite entender la dinámica de las poblaciones en el campo y plantear hipótesis de trabajo y posteriormente soluciones para las preguntas asociadas.

En ese contexto se han desarrollado modelos de simulación en sistemas de cría masiva (Bustos *et al.* Sin publicar) y cultivos comerciales (Rodríguez *et al.* Sin publicar), que permiten evaluar escenarios diferentes teniendo en cuenta una gran cantidad de variables ambientales, bióticas y abióticas que afectan el sistema y de manera holística interpretar el comportamiento de la dinámica de poblaciones de artrópodos en los cultivos.

Finalmente debe mencionarse que como herramienta permanente se ha involucrado a los operarios y cultivadores en el proceso de desarrollo de los programas de control biológico con el fin de realizar la transferencia del conocimiento generado para su implementación en el cultivo.

Estos trabajos se han realizado principalmente en cultivos de Rosa y Tomate donde se han desarrollado esquemas de producción que incluyen al control biológico como una herramienta importante y viable para regular poblaciones de plagas.

Ejemplos de aplicación de resultados de investigación

El esquema de trabajo ha involucrado algunos puntos clave como son: Biología y ciclos de vida de organismos plaga y/o benéficos, estandarización de crías masivas de esos artrópodos, estandarización de sistemas de monitoreo de artrópodos en cultivo, evaluación de estrategias para el control de plagas en el sistema agrícola y, desarrollo y uso de modelos de simulación para el análisis de la dinámica de poblaciones en los sistemas.

1.1. Control Biológico de *Tuta absoluta* y *Trialeurodes vaporariorum* en cultivos de tomate.

Para regular poblaciones del cogollero del tomate - *Tuta absoluta* – y de la mosca blanca de los invernaderos - *Trialeurodes vaporariorum* - se ha propuesto el uso de *Apanteles gelechiidivoris* y *Encarsia formosa* que han sido reportados como potenciales parasitoides de este tipo de plagas.

En el caso de *A. gelechiidivoris* el desconocimiento de aspectos de su ciclo de vida y comportamiento ha limitado su aplicación en campo. En ese sentido Bajonero *et al.* (2008) estudiaron el ciclo de vida y biología reproductiva de *A. gelechiidivoris*, parasitoide de *T. absoluta*, a diferentes temperaturas como primer acercamiento al potencial del parasitoide para regular poblaciones de la plaga. Encontraron que la duración del ciclo de vida oscila entre los 39 y 17 días a 14°C y 32°C respectivamente. Sin embargo su temperatura óptima de desarrollo se encontró a los 20°C con una capacidad máxima de parasitación de 12 larvas de *T. absoluta* en 24 horas.

De otro lado aunque *E. Formosa* ha sido bien estudiada a nivel mundial. Sin embargo, en el grupo se encontró de manera natural un parasitoide de características similares a *E. Formosa* pero que en ciertos momentos de la producción de *E. Formosa* podía afectar de manera importante las poblaciones de mosca blanca. En ese contexto se realizó un estudio de ciclo de vida y capacidad de parasitación de *Encarsia* sp. Encontrándose duración del ciclo aproximado de 30 días y preferencia de parasitación sobre ninfas de tercer instar de mosca blanca, similares a los de *E. formosa*. Lo que amplía la posibilidad de usar parasitoides de mosca blanca

Con el fin de garantizar el éxito de programas de control biológico de plagas hemos considerado el desarrollo de sistemas de cría masiva de los enemigos naturales como un componente fundamental de la propuesta. Y para eso se han desarrollado sistemas de producción de *E. Formosa* y *A. gelechiidivoris* en un esquema tradicional en tres etapas: producción de plantas hospederas para la plaga, producción masiva de la plaga y producción del enemigo natural que permitan suplir las necesidades en miles de individuos que necesita un cultivo comercial cada semana para mantener reguladas las poblaciones de plaga. Experimentos desarrollados en el departamento de Boyacá han permitido regular poblaciones de las plagas haciendo liberaciones de *E. formosa* y *A. gelechiidivoris* usando como criterio de liberación la densidad de la plaga y la máxima capacidad de parasitación de los parasitoides (Perez D. y Bajonero J. Sin publicar). Lo anterior integrado con el uso de trampas atrayentes con feromona y la reducción de aplicaciones de insecticidas químicos en el cultivo.

1.2. Control Biológico de *Tetranychus urticae* en cultivos de rosa.

En el cultivo de rosa Hilarion *et al.* (2008) desarrollaron un sistema de monitoreo de *T. urticae* en el que teniendo en cuenta la distribución espacial de la plaga en el cultivo, dentro de la planta y dentro de las hojas, es posible estimar el tamaño de la población de la plaga con un costo razonable. Además, en el mismo trabajo y en otros posteriores (Casas & Novoa 2009, Ruge 2009) se usó el mismo sistema de monitoreo para evaluar las variaciones en el tamaño de la población de *T. urticae* cuando se realizan liberaciones de los depredadores *Phytoseiulus persimilis* y *Neoseiulus californicus*. En esos trabajos se encontró que la aplicación de la máxima capacidad de depredación y la densidad de la plaga son criterios que permiten la regulación de poblaciones de la plaga utilizando el control biológico como principal herramienta de control.

El éxito de estos trabajos depende de la disponibilidad del enemigo natural a usar en el sistema agrícola. En ese sentido se han desarrollado investigaciones en diferentes etapas de producción de plantas y plaga (Arguelles *et al.* 2006, Cifuentes 2006, Bustos *et al.* 2009) y en la producción del depredador (Daza *et al.* 2010, Hilarion A. sin publicar). El esquema ha permitido suplir las necesidades de los cultivos alcanzando liberaciones de más de 1'000.000 de depredadores en un solo cultivo durante el tiempo de evaluación.

La optimización de la producción de enemigos naturales involucra un conocimiento de los diferentes factores tanto bióticos como abióticos que interactúan en el sistema. La toma de datos de todas las variables del sistema de producción y su posterior análisis puede volverse algo demasiado complejo, es por eso que se ha desarrollado un modelo de simulación del sistema de cría que permite analizar de manera integral el sistema y proponer cambios que ayuden a mejorar y optimizar la producción de enemigos naturales que garanticen el éxito de los programas de control biológico en los cultivos.

Integración con otras estrategias de manejo

La viabilidad del control biológico en los agro ecosistemas depende de diferentes variables, biológicas, ecológicas y ambientales. Es por esto que hemos evaluado la integración de diferentes estrategias de manejo de plagas que sean compatibles entre ellas y permitan mejorar los niveles de control de las poblaciones de plaga en los cultivos. La integración de depredadores con entomopatógenos y extractos vegetales para el control de *T. urticae* en cultivo de rosa (Numa 2009., Muñoz K. Sin publicar) permitieron identificar que el uso de depredadores de manera conjunta con *Paecilomyces fumosoroseus* y extracto de ajo – ajo permiten disminuir el tamaño de la población de *T. urticae* y mantenerlo bajo durante el tiempo en que el manejo se hace con estas estrategias. Teniendo en cuenta que estos experimentos han involucrado los criterios de máxima capacidad de depredación y densidad actual de la plaga para realizar las liberaciones de depredador, esto ha permitido que las cantidades de enemigo natural a liberar se reduzcan en el tiempo lo que implica menores costos de manejo de plaga.

La implementación del control biológico en los sistemas agrícolas se ha basado en el uso de criterios biológicos y ecológicos de las plagas y enemigos naturales, sistemas de monitoreo, sistemas de producción de enemigos naturales y la integración de otras estrategias de control de plagas compatibles con el control biológico, logrando con éxito la regulación de poblaciones de las plagas y reduciendo el uso de insecticidas químicos.

Literatura citada

- AMAYA D., BARRERA A., HILARION A., BUSTOS A., CANTOR F. 2008. Efectividad de dos hongos entomopatógenos y un extracto vegetal para el control de *Tetranychus urticae*. Revista de Asocolflores 72: 50 – 52.
- 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): 277 _ 284.
- ARGUELLES A., PLAZAS N., TAUTIVA L., CANTOR F., BUSTOS A., RODRÍGUEZ D. 2006. Evaluación de un método a campo abierto para la producción de *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae), como suministro de presas para *Phytoseiulus persimilis* Athias.. Revista Facultad de ciencias básicas. Vol II (1).117-122.
- BAJONERO J., CÓRDOBA N., CANTOR F., RODRÍGUEZ D., CURE J.R. 2008. Biología y ciclo reproductivo de *Apanteles gelechiidivoris* (Hymenopter: Braconidae), Parasitoide de *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). Agronomía Colombiana 26(3): 417 – 426.
- BUSTOS A., CANTOR F., CURE J.R., RODRÍGUEZ D. 2009. Padronacao da criacao da *Tetranychus urticae* koch (Acari: Tetranychidae) em Freijoeiro (*Phaseolus vulgaris*): Idade da planta e tempo de colheita. Neotropical entomology 38(5): 653 – 659.
- CASAS Y., NOVOA M. 2009. Evaluación del establecimiento de *Phytoseiulus persimilis* (Parasitiformes:Phytoseiidae) para el control de *Tetranychus urticae* - Koch (Acariformes:Tetranychidae) en Rosa. Tesis de grado Universidad Militar Nueva Granada.
- CIFUENTES D. 2006. Evaluación de tres plantas hospederas como contribución a la cría continua de *Tetranychus urticae* bajo condiciones de invernadero. Tesis de grado Universidad Militar Nueva Granada.
- DE LA PEÑA A., NIÑO P. 2009. Efecto de diferentes tiempos de almacenamiento en frío sobre capacidad depredadora, fecundidad y longevidad de *Phytoseiulus persimilis* y *Amblyseius* sp. (acari: phytoseiidae). Tesis de grado Universidad Militar Nueva Granada.
- 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 rosa. Agronomía Colombiana 26(1): 78 – 86.
- HILARION A., NIÑO A., CANTOR F., RODRIGUEZ D., CURE J. R. 2008. Criterios para la liberación de *Phytoseiulus persimilis* Athias – Henriot (Parasitiformes: phytoseiidae) en cultivo de rosa. Agronomía Colombiana 26(1): 68 – 77.
- PLAZAS N. ARGUELLES A. 2008. Preferencias alimenticias en un sistema multiespecie entre *Tetranychus urticae*, *Phytoseiulus persimilis* Y *Amblyseius* (*Neoseiulus*) sp. Tesis de grado Universidad Militar Nueva Granada.
- RUGE L. 2009. Evaluación del establecimiento de *Neoseiulus californicus* (Parasitiformes:Phytoseiidae) para el control de *Tetranychus urticae* - Koch (Acariformes:Tetranychidae) en Rosa. Tesis de grado Universidad Militar Nueva Granada.
- NUMA S. 2009. Evaluación del efecto de dos hongos entomopatógenos y un extracto vegetal sobre dos ácaros fitoseidos (*Phytoseiulus persimilis*-*Neoseiulus californicus*). Tesis de grado Universidad Militar Nueva Granada.

Aspectos regulatórios e a comercialização de inimigos naturais no Brasil

Regulatory aspects in the commercialization of natural enemies in Brazil

Danilo Scacalossi Pedrazzoli

Engenheiro Agrônomo, Diretor BUG Agentes Biológicos LTDA (Caixa Postal 49, CEP 15910-000, Monte Alto-SP, Brasil), scacalossidanilo@gmail.com.

Introdução

O mercado de controle biológico no Brasil e no mundo vem aumentando significativamente a cada ano. Em alguns países, como a Espanha, o aumento foi explosivo devido a aspectos regulatórios, onde novas leis impuseram menores limites de resíduos nos alimentos, fazendo com que o controle biológico se tornasse uma das únicas saídas no controle das pragas. De uma maneira geral, o aumento do controle biológico se deve ao fato da procura de métodos menos agressivos no controle de pragas (menos resíduos), maior consciência ou quebra de barreiras culturais (tecnificação dos produtores), aumento da área de orgânicos e principalmente pela eficiência dos produtos colocados no mercado. Mostraremos neste capítulo o mercado de *Trichogramma* no Brasil e as leis federais que regulam sua comercialização, bem como a iniciativa inédita do setor privado de criar uma Associação Nacional das empresas produtoras, para regular e fiscalizar os produtos oferecidos aos agricultores.

ESPÉCIES DE *Trichogramma* COMERCIALIZADAS NO BRASIL

Das 28 espécies de *Trichogramma* relatadas no Brasil apenas algumas são produzidas comercialmente, considerando-se sua distribuição e eficiência em várias culturas.

Comercialmente, podem ser encontradas no mercado brasileiro as espécies *Trichogramma pretiosum*, *T. atopovirilia* e *T. galloi* (Tab. 1).

T. pretiosum é a espécie mais comercializada, pois suas diversas linhagens atacam uma gama muito grande de hospedeiros.

Tabla 1. Relação de espécies de *Trichogramma* comercializadas no Brasil.

ESPÉCIE	CULTURA	PRAGA ALVO
<i>T. pretiosum</i>	Algodão	lagarta-da-maçã (<i>Heliothis virescens</i>) curuquerê (<i>Alabama argillacea</i>)
	Tomate	broca-pequena-do-fruto (<i>Neoleucinodes elegantalis</i>) broca-grande-do-fruto (<i>Helicoverpa zea</i>) traça-do-tomateiro (<i>Tuta absoluta</i>)
	Crucíferas	traça-das-crucíferas (<i>Plutella xylostella</i>) curuquerê-da-couve (<i>Ascia monuste orseis</i>)
	Milho	lagarta-do-cartucho (<i>Spodoptera frugiperda</i>) lagarta-da-espiga (<i>Helicoverpa zea</i>)
	Soja	falsa-medideira (<i>Pseudoplusia includens</i>) lagarta-da-soja (<i>Anticarsia gemmatalis</i>)
	Batata	falsa-medideira (<i>Pseudoplusia includens</i>) traça-da-batatinha (<i>Phthorimaea operculella</i>)
	Citros	bicho-furão-dos-citros (<i>Gymnandrosoma aurantianum</i>)
<i>T. galloi</i>	cana-de-açúcar	broca-da-cana (<i>Diatraea saccharalis</i>)
	Milho	broca-da-cana-de-açúcar (<i>Diatraea saccharalis</i>)
<i>T. atopovirilia</i>	Milho	lagarta-do-cartucho (<i>Spodoptera frugiperda</i>)

As espécies brasileiras são produzidas em hospedeiros alternativos. Assim, *T. pretiosum* e *T. atopovirilia* são produzidas em *Anagasta kuehniella* ou *Sitotroga cerealella*. A primeira espécie de traça tem se mostrado superior em relação à *S. cerealella*, produzindo parasitóides de melhor qualidade. *T. galloi* deve ser produzido em ovos de *Corcyra cephalonica*. As técnicas de criação são adaptações daquelas relatadas em PARRA & ZUCCHI (1997).

Para cada espécie, devem existir linhagens, mantidas em coleções nas empresas, adaptadas às diferentes condições microclimáticas e coletadas sobre hospedeiros (pragas).

A classificação taxonômica das espécies deve ser feita por especialistas. Periodicamente, estes materiais devem ser enviados aos mesmos para verificação se não houve mistura de espécies (dado ao diminuto tamanho do parasitóide).

Assim que forem observadas alterações na qualidade do parasitóide, introduções periódicas de material “selvagem” (vindo do campo) devem ser realizadas, visando aumentar o vigor das populações, pelo incremento da variabilidade genética das novas populações.

O número de liberações, intervalo entre liberações e o número de parasitóides a ser liberado por hectare, dependerão da praga, cultura (idade, arquitetura, rentabilidade), temperatura (pois dependendo da temperatura, a capacidade de parasitismo e a longevidade no campo são variáveis) entre outros fatores.

Técnicas de liberação

No Brasil, as pesquisas com *Trichogramma*, tiveram um aumento significativo no início da década de 80, quando foram adaptadas, às nossas condições, técnicas européias de criação massal deste parasitóide.

As pesquisas com este microimenóptero, não só em nosso país, mas em todo o mundo, visam a avaliação da eficiência do agente biológico no controle da praga alvo, e, muitas vezes, relegando a um segundo plano o aprimoramento de técnicas de liberação que sejam compatíveis com o custo/benefício de uma atividade agrícola. Tais técnicas de liberação não consideram, na maioria das vezes (por serem resultados de pesquisa) o custo e a viabilidade de utilização (especialmente mão-de-obra) pelo usuário.

a. Liberação de pupas do parasitóide

A forma de liberação mais comum utilizada para *Trichogramma* é aquela feita por meio de cartelas de papelão contendo ovos do hospedeiro, colados na sua superfície com goma arábica. Estas cartelas após terem os ovos submetidos ao parasitismo (ficam escuros após 4-5 dias, caracterizando o parasitismo), são colocadas sobre plantas ou penduradas em suportes (de madeira ou de ferro) no meio da cultura. Após um certo período de tempo emergirão, das pupas colocadas no campo, os adultos, que iniciarão um novo ciclo dentro da cultura parasitando os ovos das respectivas pragas. Este tipo de liberação é eficiente em áreas onde a predação seja baixa e em ausência de condições climáticas adversas (chuva, irrigação, vento etc). Quanto mais próximo da emergência estiverem os parasitóides, maior a chance de se obter bons resultados de emergência e posterior ação do parasitóide.

Há algumas empresas que utilizam, como proteção das cartelas, caixinhas de papelão, semelhantes a caixas de fósforos, para a liberação de *Trichogramma*. Dentro destas caixinhas são colocadas as cartelas contendo os ovos parasitados, para que seja evitada ou minimizada a ação dos predadores e a ação do clima sobre as pupas. Este método apresenta eficiência desde que o orifício de saída dos adultos emergidos não seja grande o suficiente para a entrada de alguns predadores vorazes, como as formigas. É um método que demanda maior mão-de-obra, principalmente para o acondicionamento das cartelas dentro das caixas.

b. Liberação de adultos do parasitóide

Um outro método de liberação de *Trichogramma* é aquele utilizando-se adultos colocados em frascos de vidro ou acrílico. As cartelas com pupas são colocadas dentro de recipientes transparentes e tampados com filme plástico de PVC ou tampa rígida. Após a emergência dos adultos, é feita uma pequena abertura na tampa do frasco e, através do caminhar pela cultura, os insetos são liberados. Pode-se envolver o frasco com um pano escuro, para que os insetos (fototrópicos positivos) saiam à procura de luz, facilitando a sua dispersão; em outros casos, os insetos são liberados por meio de pequenas batidas no fundo do frasco. Dentro do frasco, deve ser colocado mel puro, como fonte de alimento, principalmente quando o material não vai ser liberado no mesmo dia, para que se tenha um aumento na longevidade dos adultos e um maior parasitismo. A Embrapa Semi-Árido de Petrolina-PE desenvolveu um sistema de liberação de *Trichogramma* acoplado ao sistema de irrigação com pivô-central. Os frascos, com os insetos emergidos, dependurados nas hastes do sistema de irrigação, que era móvel e durante a liberação funcionava sem água, permitia que eles fossem lentamente liberados e distribuídos homogeneamente na área no horário de temperaturas mais amenas do dia.

c. Liberação de “formas” (pupas e adultos) protegidas dos parasitóides

A forma de liberação mais segura de pupas (às vezes de idades diferentes) e adultos do parasitóide é através de cápsulas ou cartelas protegidas (fig.1). Para áreas extensas, como por exemplo, na cultura da cana-de-açúcar, onde são tratados muitas vezes mais de 1.000 hectares de uma só vez, a liberação de parasitóides em recipientes protegidos, que ocupam pouco espaço, levam à maior eficiência do método, além de economia de mão-de-obra na sua liberação e, principalmente, a não ocorrência de predação, é a mais adequada. Várias formas de proteção de pupas ou adultos têm sido relatadas, podendo ser confeccionadas em plástico, papelão, amido degradável ou polpa-moldada (fibras de celulose). A preocupação com a proteção do material biológico vem de longa data, pois pesquisadores e empresas européias desenvolveram, na década de 80, sistema similar ao que é utilizado no Brasil atualmente. Na Europa, as liberações podem ser feitas por tratores ou por aviões.

O mais importante no sistema de liberação protegido é que além de proteger os insetos, evitando a predação, é um sistema de fácil transporte e de fácil distribuição no campo.



Figura 1. Modelo de cartela protegida para liberação de *Trichogramma*

1- Registro dos parasitóides e controle de qualidade de *Trichogramma*

Os insetos do gênero *Trichogramma*, bem como outros parasitóides, predadores e patógenos, devem ser obrigatoriamente registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), sendo tais registros regulamentados pela Lei 7.802, de 11 de julho de 1989 (agrotóxicos, seus componentes e afins).

Em todos os programas bem conduzidos de controle biológico no mundo, os agentes benéficos potenciais são coletados, identificados e, após uma série de estudos (Tab.2) são criados massalmente e a tecnologia gerada, transferida ao usuário.

Tabla 2 – Etapas de um programa de Controle Biológico Aplicado com *Trichogramma* (PARRA et. Al., 2002).

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> a) coleta, identificação e manutenção de linhagens de <i>Trichogramma</i> spp.; b) seleção de um hospedeiro alternativo para criação massal do hospedeiro; c) aspectos biológicos e comportamentais de <i>Trichogramma</i> spp.; d) dinâmica de ovos da praga visada; e) liberação de parasitóides: número de parasitóides liberados e pontos de liberação; época e forma de liberação; f) seletividade de agroquímicos; g) avaliação da eficiência; h) modelo de simulação parasitóide/praga; |
|---|

Existem estudos adicionais que devem ser feitos antes da utilização, que incluem a mudança de escala de produção, pois numa criação de pesquisa são produzidos poucos insetos, diferentemente de uma criação comercial (massal) em que são produzidos milhões de inimigos naturais.

Para se ter sucesso, como já comentado anteriormente, deve se ter o apoio de taxonomistas, pois da identificação correta depende o sucesso de um programa de campo. Assim, por exemplo, para controlar *D. saccharalis* deve se utilizar *T. galloi*; para *S. frugiperda*, os melhores resultados são obtidos com *T. atopovirilia*. Muitas empresas comercializam *Trichogramma* sem ao menos saberem com que espécie estão trabalhando (e comercializando).

A utilização de linhagens coletadas na espécie alvo e mesmo aquelas coletadas em diferentes condições microclimáticas, para serem liberadas em áreas com as mesmas características, são fundamentais para se ter sucesso no controle da praga visada.

Entretanto, o acompanhamento da qualidade dos insetos criados continuamente em laboratório é fundamental para qualquer programa.

Para *Trichogramma*, a cada geração devem ser avaliadas cerca de 10 características biológicas definidas pela IOBC (International Organization for Biological Control) e que foram reduzidas por PREZOTTI (2001) para 3: capacidade de parasitismo, longevidade e capacidade de vôo. Anomalias morfológicas (deformação de asas e de abdome) devem também ser observadas ao longo das gerações.

Qualquer alteração nestas características, ao longo das gerações, implicará na necessidade de introdução de populações selvagens da espécie de *Trichogramma* visada.

Há cada vez mais a necessidade do acompanhamento desta qualidade, sendo necessária uma ação conjunta entre representantes das Universidades, do Governo e das Indústrias no controle da qualidade dos organismos produzidos nas suas diferentes etapas de produção e comercialização (Parra *et al.*, 2002). Ao encontro desta necessidade, foi criada em 2008 a ABCBIO (Associação Brasileira das Empresas de Controle Biológico), para atuar como um órgão regulador e fiscalizador independente e melhorar o nível das empresas no país, contribuindo para o aumento de qualidade dos organismos já comercializados, além de fomentar novas pesquisas para o desenvolvimento de novos produtos e tecnologias biológicas.

A ABCBIO atualmente possui 17 empresas associadas, de diferentes áreas dentro do controle biológico. Foi criado um Comitê Técnico Científico com o objetivo de se desenvolver protocolos para análise de produtos biológicos, permitindo padronização e transparência na garantia de produtos e marcas comerciais. Este mesmo comitê tem o intuito de dar apoio técnico e científico à Associação.

Dentre as ações da ABCBIO, a mais importante para o setor no Brasil é a criação de um selo de qualidade (“selo verde”), que permitirá aos usuários do controle biológico terem certeza da qualidade e procedência dos produtos por eles adquiridos e ao mesmo tempo permitir que o Governo Federal consiga identificar mais rapidamente quais produtos devem ser melhorados, fiscalizados ou banidos do mercado, seja por baixa qualidade ou falta de registro.

Literatura recomendada

- HASSAN, S.A. 1997. Criação da traça do milho, *Sitotroga cerealella*, para a produção massal de *Trichogramma*, p.173-182. In J.R.P. Parra & R.A. Zucchi (eds.), *Trichogramma e o controle biológico aplicado*. Piracicaba, Fealq, 324p.
- PARRA, J. R. P. & R. A. ZUCCHI (ed.) 1997. *Trichogramma e o controle biológico aplicado*. Piracicaba: Fealq/Fapesp, 324 p.
- PARRA, J.R.P., P.S.M. BOTELHO, B. S. CORRÊA-FERREIRA & J.M.S. BENTO. (eds). 2002. Controle Biológico no Brasil - parasitóides e predadores. Piracicaba, Ed. Manole, 609 p.
- PARRA, J.R.P. 2004a. Controlando pragas com inimigos naturais. Revista Ciência hoje, p. 18-23.
- PARRA, J.R.P. & R.A., ZUCCHI. 2004b. *Trichogramma* in Brazil: Feasibility of use after twenty years of research. Neotropical Entomology 33 (3): 271-281.
- PREZOTTI, L. 2001. Controle de qualidade de *Trichogramma pretiosum* Riley, 1879 (Hymenoptera: Trichogrammatidae) em criações de laboratório. Piracicaba, Esalq, 81p. (Tese de Doutorado)
- ZUCCHI, R.A. & R.C. MONTEIRO. 1997. O gênero *Trichogramma* na América do Sul, p.121-150. In J.R.P. PARRA & R.A. ZUCCHI (eds.), *Trichogramma e o controle biológico aplicado*. Piracicaba, Fealq, 324p

Simposio Biotecnología

Coordinador:

**William Duarte, M.Sc.
Universidad de Ciencias Ambientales y Aplicadas U.D.C.A., Bogotá, D. C.**

Cultivos transgénicos resistentes a insectos: ¿dónde estamos y hacia dónde vamos?

Gabriela Levitus

Directora Ejecutiva

Consejo Argentino para la Información y el Desarrollo de la Biotecnología - ArgenBio. glevitus@argenbio.org.

Introducción

El ataque de insectos constituye un grave problema para la agricultura, originando pérdidas importantes en los rendimientos y la calidad de los cultivos. Sin duda los insecticidas convencionales, desde su introducción, han logrado disminuir estas pérdidas de un modo significativo, pero hoy se acepta que el problema de las plagas debe abordarse a través de estrategias más amplias, conocidas en su conjunto como Manejo Integrado de Plagas (MIP).

Este manejo surge de la necesidad de minimizar la incidencia de insectos y al mismo tiempo disminuir el uso de insecticidas convencionales. Así, el MIP incluye, además de los insecticidas, herramientas de control biológico, mecánico, reproductivo, de manejo del cultivo, el uso de plantas resistentes a insectos y el manejo de la resistencia de los insectos a los diferentes tipos de control.

El desarrollo de cultivos resistentes a insectos ha sido un objetivo primordial desde los inicios del fitomejoramiento. En particular, el mejoramiento convencional (luego acelerado por la implementación de marcadores moleculares) ha logrado resultados muy exitosos en los cultivos más importantes, como por ejemplo la obtención de variedades de trigo resistente al mosquito del trigo *Mayetiola destructor* o de vides resistentes a filoxera (*Phylloxera vastatrix*).

Sin embargo, el mejoramiento convencional no ha conseguido eliminar completamente la necesidad de usar insecticidas, por un lado porque los niveles de resistencia alcanzados no siempre han sido los necesarios para un control 100% efectivo, y por otro, porque no se ha obtenido resistencia para todas las plagas de todos los cultivos.

Con el advenimiento de la ingeniería genética y la posibilidad de expresar genes foráneos en plantas, se empezó a buscar genes de resistencia más allá de las especies sexualmente compatibles, para introducirlos en el genoma de las plantas de una manera precisa.

Tal es el caso de los cultivos genéticamente modificados o transgénicos que expresan toxinas bacterianas, como las proteínas Bt de *Bacillus thuringiensis*, que aparecieron en el mercado a mediados de los 90s.

Desarrollo de cultivos transgénicos resistentes a insectos

- **Los cultivos Bt**

Bacillus thuringiensis (conocido como Bt) es una bacteria común del suelo y ha sido utilizada como insecticida biológico desde hace décadas. Esto se debe a su capacidad de producir, durante la esporulación, inclusiones cristalinas que contienen proteínas insecticidas denominadas delta-endotoxinas. Estas inclusiones se solubilizan en el intestino del insecto, liberando las delta-endotoxinas que, luego de ser activadas proteolíticamente, alteran el epitelio intestinal de las larvas.

Como la unión al epitelio intestinal se basa en un mecanismo mediado por receptores presentes sólo en ciertos insectos, la toxicidad de estas proteínas resulta altamente específica.

Esto constituye una gran ventaja de los cultivos transgénicos sobre otros métodos de control, ya que expresan sólo uno o unos pocos genes Bt, cuyas proteínas matan a las larvas que se quieren controlar, sin afectar en absoluto a cualquier otro organismo no blanco, como mamíferos, aves e insectos benéficos.

Las proteínas Bt más estudiadas hasta el momento son las llamadas Cry, con casi 400 genes aislados y caracterizados de diferentes cepas de *B. thuringiensis* y con distintas especificidades (Tabla I). Muchos de ellos ya forman parte de eventos de transformación de maíz y algodón que se siembran comercialmente en el mundo.

L: Lepidoptera, D: Diptera, C: Coleoptera

Más recientemente, se han descubierto otras proteínas Bt con propiedades insecticidas, son las llamadas Vip. Estas son también específicas para determinados grupos de insectos, pero a diferencia de las proteínas Cry, no son delta-endotoxinas y están presentes durante el estadio vegetativo de la bacteria, en lugar de la esporulación. Ya se han descrito más de 80 genes vip, y algunos de ellos ya han sido introducidos con éxito en cultivos comerciales.

Además del maíz y el algodón, ya se ha logrado la correcta expresión de proteínas Bt en otras especies importantes, como arroz, álamo, soja, papa, tomate, brócoli, manzano, entre otros, algunos de ellos listos para salir al mercado.

- **Otras proteínas candidatas**

Si bien las proteínas derivadas de Bt han mostrado excelentes cualidades insecticidas, se están buscando otras proteínas, capaces de controlar otras plagas y que tengan modos de acción diferentes. De esta manera, se podrían lograr combinaciones de genes cada vez más eficaces y duraderas. A continuación se mencionan algunas proteínas candidatas que están siendo estudiadas en este sentido:

- Inhibidores de proteasas - son parte del sistema de defensa de la planta e interfieren en el proceso digestivo de los insectos.
- Inhibidores de alfa amilasa - también producidos por las plantas para defenderse de las plagas, y en este caso interfieren en la digestión de los carbohidratos.

Lectinas - se unen específicamente a carbohidratos, y en este caso su toxicidad se debería a la interacción con glicoproteínas intestinales del insecto, interfiriendo en su proceso digestivo.

Quitinasas - enzimas digestivas que rompen la quitina, principal componente del exoesqueleto de los artrópodos.

Tabla 1. Algunas de las principales endotoxinas Bt y sus especies de insectos blanco

Proteína Cry	Origen (subespecies Bt)	Insectos blanco	
		Orden*	Nombres comunes
Cry1Aa	<i>kurstaki</i>	L	gusano de seda, polilla del tabaco, barrenador europeo del maíz
Cry1Ab	<i>berlineri</i>	L, D	polilla del tabaco, polilla del repollo, mosquito
Cry1Ac	<i>kurstaki</i>	L	gusano cogollero del tabaco, gusano falso medidor del repollo, isoca del algodón
Cry1Ad1	<i>aizawai</i>	L	varios lepidópteros
Cry1Ae1	<i>alesti</i>	L	gusano cogollero del tabaco
Cry1Ba1	<i>thuringiensis</i>	L	gusano del repollo
Cry1Bc2	<i>morrisoni</i>	L, D	varios lepidópteros
Cry1Ca3	<i>entomocidus</i>	L	oruga de la hoja del algodón, mosquito
Cry1Cb1	<i>galleriae</i>	L	oruga militar
Cry1Da1	<i>aizawai</i>	L	oruga militar, polilla del tabaco
Cry1E	<i>kenyae</i>	L	oruga de la hoja del algodón
CryEb1	<i>aizawai</i>	L	varios lepidópteros
CryFa	<i>aizawai</i>	L	barrenador europeo del maíz, oruga militar
Cry2Aa	<i>kurstaki</i>	L, D	lagarta peluda, mosquito
Cry2Ab	<i>kurstaki</i>	L	lagarta peluda, gusano falso medidor del repollo, polilla del tabaco
Cry2Ac	<i>shangai</i>	L	polilla del tabaco, lagarta peluda
Cry3Aa	<i>san diego</i>	C	escarabajo de la papa del Colorado
Cry3Aa3	<i>tenebrionis</i>	C	escarabajo de la papa del Colorado
CryBa	<i>tolworthi</i>	C	escarabajo de la papa del Colorado
Cry7Aa	N/D ³	C	escarabajo del pepino
Cry4Aa	<i>israelensis</i>	D	mosquito (Aedes y Culex)
CryBa	<i>israelensis</i>	D	mosquito (Aedes)
Cry9Aa	<i>galleriae</i>	L	polilla de la cera o falsa tiña
Cry9Ba	<i>galleriae</i>	L	polilla de la cera o falsa tiña

*

Avidina - glicoproteína que se une con una alta afinidad a la biotina, provocando una deficiencia marcada de esta vitamina e impidiendo así el desarrollo de insectos durante el almacenamiento de granos.

Polifenol oxidasas - enzimas que catalizan la oxidación de compuestos fenólicos a quinonas, y que conferirían resistencia tanto a enfermedades provocadas por bacterias como por insectos.

Estrategias de ARN de interferencia (ARNi)

Es posible también interferir con la digestión o el desarrollo de los insectos plaga usando la estrategia de silenciamiento génico. Por esta estrategia se busca la síntesis de un RNA que impida la expresión de determinado gen esencial para el desarrollo del insecto.

Combinando genes

Es posible introducir más de un gen Bt en la misma planta para lograr un control más eficiente de las plagas que afectan un determinado cultivo. La manera más fácil de hacerlo es por cruzamiento convencional de plantas transgénicas que contienen los genes individuales. Al resultado de este

cruzamiento se lo denomina *stack* (o eventos combinados), y es la estrategia más usada para obtener cultivos más eficaces en el control o con un espectro de control más amplio.

Además, la acumulación de genes, junto con otras estrategias (ver más abajo), permite atrasar la aparición de resistencia en los insectos, asegurando la durabilidad de la tecnología.

Situación actual de los cultivos transgénicos resistentes a insectos

Según el informe del ISAAA (Servicio para la Adquisición de Aplicaciones Agro-biotecnológicas), en 2009 se sembraron en todo el mundo 134 millones de hectáreas con cultivos transgénicos o genéticamente modificados (GM) en 25 países. Quince lo hicieron en 100.000 hectáreas o más, aunque el 98% del área global se concentró sólo en ocho: Estados Unidos, Brasil, Argentina, India, Canadá, China, Paraguay y Sudáfrica.

Alrededor del 52% de las hectáreas sembradas con transgénicos correspondió a soja, el 31% a maíz, el 12% a algodón y el 5% a canola. Estas superficies significaron el 77%, 24%, 49% y 21% de las áreas totales de cada uno de esos cultivos, respectivamente. También se sembraron, aunque en áreas muy pequeñas, variedades transgénicas de alfalfa, papaya, zapallo, álamo, clavel y remolacha azucarera.

Con respecto a las características introducidas, las dos principales fueron la tolerancia a herbicidas y la resistencia a insectos, ocupando esta última unas 50 millones de hectáreas totales. Cabe destacar que una gran parte de los cultivos resistentes a insectos, tanto en maíz como algodón, en realidad también son tolerantes a herbicidas, constituyendo lo que se denomina características combinadas o *stacks*. Algunos de estos *stacks* también tienen acumulados diferentes genes Bt (Fig. 1).

Desde el punto de vista de los eventos de resistencia a insectos autorizados para siembra comercial en el mundo (sin considerar las combinaciones originadas por cruzamiento convencional o *stacks*), la lista incluye 16 eventos de maíz, 8 de algodón, 1 de tomate y 4 de papa.

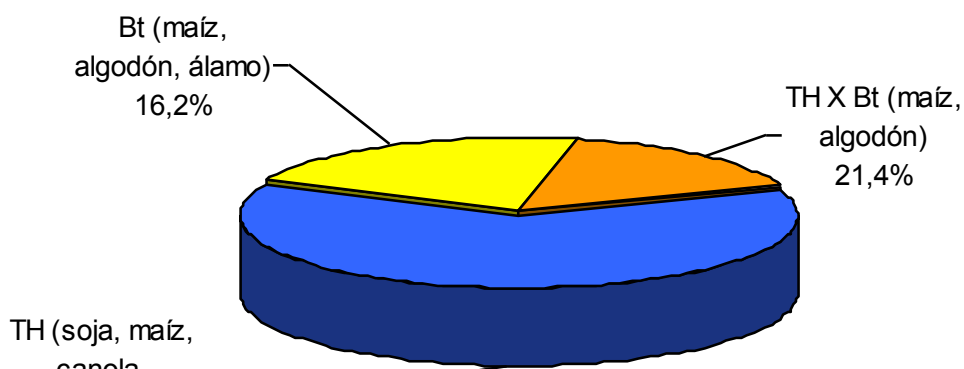


Figura. 1. Cultivos transgénicos en el mundo en 2009, según la característica introducida, y expresados como porcentajes sobre un total de 134 millones de hectáreas. TH: tolerante a herbicida, Bt: resistente a insectos. También se sembraron superficies pequeñas de zapallo y papaya resistentes a virus y clavel azul. Fuente: ISAAA, 2009.

Los beneficios comprobados

Los beneficios de la tecnología Bt, hoy incorporada a nivel comercial en el maíz y el algodón, pueden resumirse como sigue:

Disminuye el requerimiento de insecticidas, lo que resulta no sólo en una reducción de costos de producción, sino también una ventaja ambiental (menor rociado y uso racional del agua) y para la salud humana.

Permite expresar el potencial de rendimiento, aún en presencia de la plaga

Controla a los insectos plaga de una manera específica, sin afectar a los organismos no blanco

Específicamente en maíz, mejora la calidad del grano y disminuye los niveles de mixotoxinas

Simplifica el manejo (flexibilidad al momento de la cosecha, mejor secado del grano en el campo, etc.)

Las preocupaciones alrededor de los cultivos transgénicos resistentes a insectos

Actualmente las preocupaciones que existen alrededor de los cultivos resistentes a insectos se centran en el impacto que podrían tener sobre organismos no blanco y en la aparición de resistencia en los insectos plaga.

Impacto sobre los organismos no blanco

Como se comentó anteriormente, las proteínas Bt son altamente específicas para ciertos insectos, y hoy existe además una larga lista de más de 150 artículos publicados que prueban la falta de efectos adversos sobre organismos no blanco de los cultivos transgénicos Bt actuales. Sin embargo, cabe resaltar que la evaluación de riesgo que se realiza antes de la liberación al mercado de un determinado evento de transformación se hace caso por caso (evento por evento), y por lo tanto debe incluir siempre el análisis de las posibles consecuencias no intencionales de la introducción de los nuevos genes. En particular, las agencias regulatorias a cargo de estas evaluaciones analizan el riesgo potencial que podrían presentar estos cultivos para las formas de vida silvestre terrestres,

animales acuáticos, e insectos benéficos. Según los criterios consensuados a nivel mundial, este análisis debe incluir, en primer lugar, la formulación del problema y el relevamiento de la información disponible, seguido de estudios de laboratorio. Si se observan efectos nocivos en condiciones de laboratorio, se solicitan estudios a campo para evaluar la abundancia real de las especies no blanco en condiciones controladas y de experimentación.

Manejo de la resistencia en insectos a los cultivos Bt

Actualmente se combinan diferentes estrategias para minimizar o atrasar la aparición de resistencia en los insectos:

Altas dosis: se usan eventos de transformación que expresan la proteína deseada en niveles lo suficientemente altos como para eliminar también a los insectos parcialmente resistentes.

Stacks o eventos acumulados. se combinan en la misma planta proteínas insecticidas con diferentes modos de acción o que se unen a diferentes receptores.

Refugios: se siembran áreas con el cultivo no Bt dentro del mismo lote, permitiendo el establecimiento y desarrollo de una población de insectos con una distribución normal de alelos resistentes y susceptibles. De esta forma, esta área funciona como un refugio de individuos susceptibles. Como el alelo de resistencia es recesivo, al cruzarse los individuos susceptibles del refugio con los eventuales adultos resistentes del lote Bt, su descendencia será susceptible, restableciéndose en la población los alelos susceptibles removidos por la selección. Al favorecer la "reintroducción" de los alelos susceptibles desde el refugio, se mantiene la proporción inicial de individuos susceptibles y resistentes dentro de la población y se evita el desarrollo de resistencia, preservando la tecnología.

Literatura citada

MATTHEW METZ, 2003, *Bacillus thuringiensis*, a Cornerstone of Modern Culture, Ed. Food products Press. NY.

Center for Environmental Risk Assessment - <http://cera-gmc.org/>

Consejo Argentino para la Información y el Desarrollo de la Biotecnología – ArgenBio, www.argenbio.org

CHRISPEELS, M. & SADAVA, D, 2003, *Plants, Genes and Crop Biotechnology*. Jones and Bartlett Publishers, Canada.

GMO Compass - <http://www.gmo-compass.org/>

GMO Safety - <http://www.gmo-safety.eu/>

JAMES, C., 2009, Global status of commercialized biotech/GM crops: *ISAAA Brief* No. 39, International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications, Ithaca, NY, USA

Non target effects of Bt crops - <http://delphi.nceas.ucsb.edu/btcrops/main/background>

Principios y prácticas para la evaluación de la seguridad ambiental de los cultivos genéticamente modificados - Caso de estudio: evento de maíz MON810. AGBIOS, disponible en <http://www.argenbio.org/adc/uploads/pdf/ENVIRONMENTAL.pdf>

Programa Refugio de la Asociación Semilleros Argentinos - <http://www.programarefugio.com/>

ROMEIS J, *et al.*, 2008, Assessment of risk of insect-resistant transgenic crops to non-target arthropods. *Nature Biotechnology* 26, 203-208

Necesidades de conocimiento previo a la comercialización de cultivos transgénicos

Necessary information before a genetically modified crop is approved for commercialization

Carlos A. Blanco

Biólogo Ph.D. Biotechnology Regulatory Services, Animal and Plant Health Inspection Service, United States
Department of Agriculture, Riverdale, Maryland 20737, U.S.A. Carlos.A.Blanco@aphis.usda.gov

As a first step towards commercializing a genetically engineered (GE) crop, an organization must seek the appropriate approvals from the U.S. Environmental Protection Agency (EPA), the U.S. Department of Agriculture (USDA), or the Food and Drug Administration (FDA). As part of the commercialization process, researchers must provide detailed scientific data for thorough review by these regulatory agencies. Scientific research is critical to support the applicant's package towards commercialization.

EPA is responsible for ensuring the safe use of pesticides under the Federal Insecticide, Rodenticide, and Fungicide Act (FIFRA), and sets limits for pesticide use on food and feed under the Federal Food, Drugs and Cosmetics Act (FFDCA). EPA requires pesticide registration of plants genetically engineered to express proteins from the soil bacterium *Bacillus thuringiensis* Berliner (Bt) for pesticide use—termed plant-incorporated protectants—to minimize environmental impacts and maintain protective limits for pesticide residues in food. EPA evaluates information about the dispersal and effect of the Bt genes in the environment, the targeted pests' biology, and the measures that can delay the development of resistance of these insects pests to the protein.

USDA is responsible for protecting plants from pest risk under the Federal Plant Protection Act. When a biotechnology organization has gathered enough data to demonstrate that the GE crop does not pose a risk to plant health, they can petition USDA to remove the crop from regulatory oversight, often a first step towards commercialization. As part of the petition process, USDA evaluates potential plant pest risk and environmental implications. USDA examines crop biology including, the genotypic and phenotypic differences between the GE and the non-modified plant, the potential of the GE crop interbreeding with related species as well as its potential effects on non-target organisms.

Under the Federal Food, Drug, and Cosmetic Act, FDA sets forth the safety standards for foods, including those developed by genetic engineering. As part of its role, FDA engages in a consultation process for foods derived from GE plants, reviewing data on molecular characterization and composition.

The review process by USDA and EPA varies somewhat depending on the type of genetic modification that the GE crop has and, the amount of information already reviewed or published about the specific transformation and the crop. The basic information requirements guidelines can be found in the following internet sites and publications: Code of Federal Regulations 7; Matten and Reynolds (2003). The following table contains basic requirements.

Table 1. Necessary information required by two United States Regulatory Agencies before the approval of commercialization of a genetically engineered plant that expresses *Bacillus thuringiensis* proteins.

PLANT	PEST
Biology ¹	Biology ²
Genotype differences between the genetically engineered (GE) plant and its isogenic line ¹	Insecticide resistance management (IRM) simulation models ²
Disease & pest susceptibility of the GE plant compared to isogenic line ¹	IRM program and cross resistance information ²
Inserted gene(s) product expression ¹	IRM resistance monitoring ²
New enzymes produced ¹	Insecticidal protein expression dose ²
Plant metabolism ¹	Biopesticides registration action document—Bt plant-incorporated protectants ²
Potential of the GE plant to become a weed ^{1,2}	Insecticide resistance mitigation plan ²
Impact on plants that the GE plant has the potential to breed with ¹	
Impact of the modification on agricultural practices ^{1,2}	
Impact of the GE plant on non-target species ^{1,2}	
Published and registrant (Company / laboratory) internal data ^{1,2}	

¹Refers, but not exclusively, to USDA requirements.

² Refers, but not exclusively, to EPA requirements.

Acknowledgments

This manuscript was greatly improved with the input of Sarah E. Lively, John M. Cordts, and Alan Reynolds.

References

- CODE OF FEDERAL REGULATION, Part 7, Agriculture. <http://ecfr.gpoaccess.gov/cgi/t/text/text-idx?c=ecfr;sid=a2a4d1b972da4b7fa1aed0dbe5203425;rgn=div5;view=text;node=7%3A5.1.1.1.10;idno=7;cc=ecfr#7:5.1.1.1.10.0.42.7>. Fecha último acceso 05 mayo 2010.
- Biopesticides Registration Action Document - *Bacillus thuringiensis* Plant-Incorporated Protectants. U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY
http://www.epa.gov/opppbpd1/biopesticides/pips/bt_brad.htm
- MATTEN, S.R.; REYNOLDS, A. 2003. Current resistance management requirements for Bt cotton in the United States. *Journal of New Seeds* 5: 1317-1378.

Determinación del comportamiento diferencial de la expresión de toxinas en plantas genéticamente modificadas

Exploration of differential mechanisms in toxine expression of genetically modified plants

Rodolfo Alberto Mejía Cruz

Ingeniero Agrónomo. M.Sc. en Biotecnología y Genética. Docente Investigador, Facultad de Ingeniería Agronómica Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. rmejia@udca.edu.co

Las ventajas ambientales de la lucha contra las plagas utilizando formulaciones de la bacteria, *B. thuringiensis* (Bt), en lugar de insecticidas sintéticos son bien conocidas (Glare & O'callaghan, 2000). Sin embargo, su aplicación en los cultivos de plantas modificadas genéticamente, que producen la proteína Cry, es relativamente nuevo y ha suscitado muchas preocupaciones que giran sobre su real efectividad. Estas plantas modificadas genéticamente son consideradas como una herramienta útil, pero no la única, para los planes de manejo de cultivos. Como cualquier otro tipo de control, su uso sin precauciones apropiadas, puede no ser duradero, ya que los insectos contra los cuales va dirigido pueden adquirir resistencia, por ejemplo, la diferencia notable en la expresión de toxina en las estructuras del maíz Bt, la hace una planta susceptible al ataque de algunas plagas, por no existir una homogeneidad en la concentración del Cry en los tejidos consumidos. Lo anterior ocurre, porque en cada sistema se puede ver afectado el promotor proteico de Bt a nivel de expresión de genes, según la especie de planta, el tipo de tejido y los antecedentes genéticos. Así, como las condiciones ambientales como precipitación, temperatura, radiación solar, viento, evaporación, tipo de suelo y nivel de fertilidad del suelo (Sachs *et al.*, 1998; Greenplate, 1999; Adamczyk & Sumerford, 2001).

Una década antes del lanzamiento comercial de los cultivos transgénicos, aparecieron ya los llamados de atención sobre la evolución de resistencia y en 1985, se alertó a la comunidad internacional sobre este riesgo. Además, la expresión de la toxina en las partes vegetal de los cultivos transgénicos a través de su desarrollo fenológico varía. Por ejemplo, la expresión de Cry1Ab en maíz es dos veces mayor que Cry1Ac en algodón y la misma tendencia se produce cuando las toxinas se introducen en diferentes cultivares de algodón (Perlak *et al.*, 1990; Sachs *et al.*, 1998). Además, Cry1Ac del algodón Bt, presente en las hojas terminales puede variar desde 19,1 µg de toxina/g de peso seco en el algodón cultivado en Georgia (EEUU) a 125,6 µg de toxina/g de peso seco de algodón cultivado en Mississippi (EEUU), así mismo, variando entre años y lugares (Greenplate, 1999). La expresión de la proteína Cry1Ac está claramente influenciada por el medio ambiente, factores que pueden afectar diferencialmente las asociaciones tritróficas (Planta - herbívoro - enemigo natural) (Arantes *et al.*, 2002; Habib & Andrade, 1998; Stotzky, 2000). Estos estudios concluyen en general que aun falta conocer mucho sobre los impactos de plantas Bt al largo plazo.

La adopción de plantas Bt se ha asociado con el aumento significativo en los rendimientos, las ganancias, y una disminución en el uso de plaguicidas (Merritt, 1998; Gianessi & Carpenter, 1999). Sin embargo, esta disminución en la aplicación de insecticidas de amplio espectro, influyó la población de especies fitófagas no susceptibles, aumentando su incidencia en la planta, como es el caso de insectos, áfidos y trips (Turnipseed *et al.*, 1995).

Greenplate (1999), observó diferencias significativas en la expresión de la proteína Cry1Ac entre seis áreas de actuación, con indicación de las influencias ambientales en la producción o la estabilidad de la proteína. Las concentraciones en la plantas no mostraron una tendencia en el tiempo, a pesar de la variación de los momentos de muestreo y los tipos de tejidos, lo que indica que las condiciones ambientales pueden influir en la expresión de Cry1Ac (Greenplate *et al.*, 2000). A menudo, los niveles de proteína Bt disminuyen con el tiempo, pero Wan *et al.*, (2005) observaron que los niveles se recuperaron a finales del desarrollo de la fenología del algodón Bt. Diferentes tejidos de la planta, etapas de crecimiento y cultivares, proporcionan una fuente importante que permite entender la variación en los niveles de expresión de la proteína, siendo algunos cultivares más variables que otros.

Las variaciones se pueden explicar desde varios puntos de vista: Según Abel & Adamczyk (2004) en su investigación cita que la concentración de ésta toxina disminuye en los tejidos en los que hay bajos niveles de clorofila; bajo la anterior premisa, factores como la exposición a la luz solar y las deficiencias nutricionales (que influyen en la capacidad de producción de clorofila), también influirán de forma indirecta, en la concentración de toxina que una planta termina expresando. De tal forma, que en regiones donde estas condiciones ambientales son variantes, la expresión de toxina en un mismo tipo de órgano sea diferente. Bruns & Abel (2003), relaciona la producción de toxina con la capacidad que tienen las plantas para la producción de precursores (aminoácidos), a partir de procesos fotosintéticos, por lo que otros factores como la baja concentración de dióxido de carbono, los deltas de temperatura y la disponibilidad de agua, también pueden ser influyentes en la variación de toxina entre diferentes latitudes. Hartwell *et al.*, (1996), relacionan factores transcripcionales para esta toxina, que vinculan la función del ARNm con la enzima fosfoenolpiruvato carboxilasa cinasa en las hojas de maíz, estas se incrementan en respuesta directa a la luz, generando altos niveles de toxina Cry1A. Si el tejido vegetal no está expuesto totalmente a la luz la concentración de toxina es muy baja, como en el caso de los granos de maíz, en la presente investigación. Lo anterior demuestra la importancia de estudiar las interacciones entre los factores transcripcionales de la fotosíntesis y su efecto en el control de insectos plaga.

De hecho, diferentes ensayos se puede utilizar para detectar la presencia de proteínas Cry y dar seguimiento a la actividad o expresión de las mismas en campo durante todo el período vegetativo (Kranthi & Kranthi, 2000). Ensayos cuantitativos Bt, se han convertido recientemente en la única herramienta disponible de investigación, no sólo ayudando a los creadores de nuevas variedades de algodón GM, en la identificación de las líneas y el nivel de expresión de la proteína Bt; sino además, pueden indicar el impacto agronómico y/o ambiental de plantas modificadas genéticamente.

En trabajos de investigación realizados por el grupo de Fitosanidad de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales sobre la variación de expresión de la toxina Cry1Ac en algodónero transgénico; y Cry1Ab en maíz Bt y su influencia en el manejo de los belloteros, *Heliothis virescens* y *Helicoverpa zea* y, el cogollero del maíz, *Spodoptera frugiperda* (Zenner *et al.*, 2008; Zenner *et al.*, 2009), se encontró que la plantas Bt no poseen una concentración constante de toxina que asegure el control sobre los insectos plaga a través de todo el ciclo del cultivo, en la medida que la planta se desarrolla, presenta una menor tolerancia a la plaga, por lo que los insectos fitófagos de tejidos reproductivos serán los que mayor incidencia tendrán en estas plantas modificadas genéticamente.

Con los resultados obtenidos en estas investigaciones, se concluyó que entre más joven sea el tejido vegetal, mayor será la posibilidad de tener altas concentraciones de la proteína en estudio (como es el caso de los cotiledones en el algodónero transgénico), en la medida que la planta avanza su estado vegetativo la concentración de la proteína Cry disminuye y cuando la planta pasa al estado

reproductivo la concentración es aún menor. Esta variación en la concentración presente en cada uno de los tejidos, puede estar relacionada con el efecto directo que tienen las modificaciones climáticas sobre el funcionamiento fisiológico de la planta, además de la influencia en el nivel de fertilización, disponibilidad de agua para solubilizar y hacer disponibles los nutrientes.

Con respecto a la cuantificación de la proteína Cry1Ac en algodónero transgénico, se pudo constatar que la mayor concentración de la proteína (Mayor nivel de expresión) es en el momento a pos-emergencia, cuando comienza el desarrollo de las hojas cotiledonales, comenzando su reducción a medida que la planta va diferenciando tejidos y funciones dentro de su proceso de desarrollo fisiológico; por otro lado, siendo más evidente la reducción en la etapa reproductiva de la planta. Ya al final de crecimiento, cuando comienza la fructificación, hay una reacumulación de las proteínas Cry1Ac en la semilla de algodón, pudiendo deberse al efecto de translocación que es inducido en la planta como mecanismo para nutrir la planta y permitir conformar la reserva que precisa para posteriormente geminar. La cuantificación de la proteína Cry1Ac realizada en los diferentes órganos de la planta, evidenció que a medida que la planta se desarrolla, la concentración de la proteína disminuye, presentando el mayor valor de expresión en hojas cotiledonales (4.422 ppm), yemas terminales (3.76 ppm) y semillas (4.75 ppm). Lo anterior nos indica que la expresión del gene en estudio, está directamente relacionada con el lugar de siembra, la fertilización y las condiciones ambientales; comprometiendo el control de las plagas, objetivo del mejoramiento realizado en la planta.

Para el caso del maíz Yieldgard®, se encontró que la concentración de toxina que se expresa en la planta de maíz es homogénea entre los tejidos que la componen, generando rangos de expresión fluctuantes entre 1,85 y 12,2 ppm, mostrando incluso una clara diferencia en la cantidad de toxina que expresan las plantas de maíz modificado, sembradas en una misma localidad. A nivel de los tejidos reproductivos, la inflorescencia masculina, expresa menores niveles de concentración de toxina, en comparación con la inflorescencia femenina, la cual disminuye la concentración de toxina cuando ésta es fecundada. Los deltas de expresión de toxina en un mismo tejido de diferentes plantas, podrían aumentar el efecto de la resistencia, cuando los insectos plaga consumen dosis sub-letales que no los matan. Razón por la cual, dependiendo del tipo de plaga (dentro del orden lepidóptera), su hábito de alimentación y de su instar larval; el maíz Bt, podrá ejercer un adecuado control sobre este tipo de insectos. Para el caso del cogollero del maíz, principal plaga del orden lepidóptero en este cultivo, no hay control por parte de estas plantas modificadas, pues los niveles de expresión de toxina en cualquier órgano del maíz, están por debajo de la DL50 requerida para acabar con este insecto. Situación un tanto diferente si se habla del complejo *Heliothine*, ya que el tipo de tejido que ataca en su primer instar larval, presenta niveles de toxina mayores a la DL50 requerida. Sin embargo si este insecto llegara vivo, al interior de la mazorca, las bajas dosis de toxina expresadas por los granos de maíz permitirían, que el insecto completara su ciclo larval dentro de la mazorca, con el agravante de que las sub-dosis que consumió durante su desarrollo, aceleren el efecto de la resistencia genética, sin importar la existencia de los lotes refugio.

La concentración de la toxina en la planta está influenciada por las condiciones ambientales y por los aspectos físico-químicos del suelo. La cantidad de materia orgánica (MO) existente en el suelo, de la cual depende el nitrógeno disponible y, por ende, la expresión de la cantidad de la proteína tóxica, se puede manejar con aplicaciones de abono orgánico o directamente con un fertilizante nitrogenado, de acuerdo a las exigencias del análisis de suelo. Por lo tanto, para asegurar una adecuada disponibilidad de la toxina durante todo el desarrollo fenológico del algodónero, se debe emplear una apropiada fertilización, la cual, si factible, debe incluir enmiendas orgánicas, ante todo en el departamento del Tolima, donde los suelos muestran bajos contenidos de MO.

Con base en los datos de concentración de tóxina que expresan las plantas Bt, en conjunto con estudios de las concentraciones letales medias para los diversos insectos del orden Lepidoptera que afectan estas plantas, se puede monitorear, la resistencia de las poblaciones plaga. Simultáneamente, se debe seguir determinando la concentración de la toxina en los diferentes tejidos de la planta, durante el desarrollo fenológico de la misma. Aunque en estos estudios, se determinó que la variación de toxina en las plantas modificadas genéticamente son una constante que puede inferir en la resistencia de insectos plaga; el manejo recomendado por la casa comercial productora de semillas de dejar refugios, aparentemente ha dado un resultado positivo en el retardo de la resistencia; esto sumado a otras ventajas en nuestro medio, las cuales tienen que ver con la ausencia del algodón en un semestre y la existencia de dos huéspedes alternos del bellotero: la escobita girasol (*Lagaxea mollis*) y el pega pega, *Desmodium* sp., que albergan a la plaga sin que haya una presión de selección por la toxina y con lo cual se permite el desarrollo de por lo menos tres generaciones de la plaga y que haya una dilución de la resistencia.

Literatura citada

- ABEL, C.; ADAMCZYK, J. 2004. Relative Concentration of Cry1A in Maize Leaves and Cotton Bolls with Diverse Chlorophyll Content and Corresponding Larval Development of Fall Armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) and Southwestern Corn Borer (Lepidoptera: Crambidae) on Maize Whorl Leaf Profiles. *J. Econ. Entomol.* 97(5): 1737-1744.
- ADAMCZYK, J.J. & SUMERFORD, D.V. 2001. Potencial factors impacting season-long expresión of Cry1Ac in 13 commercial varieties of Bollgard Cotton. *Journal of insect science.* 13, 1-6.
- ARANTES-OLIVEIRA, N.; APFELD, J.; DILLIN, A.; KENYON, C. 2002. Regulation of life-span by germ-line stem cells in *Caenorhabditis elegans*. *Science* 295, 502-505.
- BRUNS, H.; ABEL, C. 2003. Nitrogen fertility effects on Bt δ -endotoxin and nitrogen concentrations of maize during early growth. *Agron. J.* 95: 207- 211.
- GIANESSI, L.P. & CARPENTER, J.E. 1999. Agricultural biotechnology: insect control benefits. Disponible en: <http://www.biotechknowledge USA: National Center for Food and Agricultural Policy>. (con acceso el 4/09/07).
- GLARE, T.R. & O'CALLAGHAN, M. 2000. *Bacillus thuringiensis: Biology, Ecology and Safety* (John Wiley & Sons Ltd, Chichester, UK).
- GREENPLATE, J.; PENN, S.R.; MULLINS, J.W.; OPPENHUIZEN, M. 2000. Seasonal Cry1Ac levels in DP50B: the "Bollgard® basis" for Bollgard II". p. 1039-1040. *In Proc. Beltwide Cotton Conf., San Antonio, TX. 4-8 Jan 2000. Natl. Cotton Council Am., Memphis, TN.*
- GREENPLATE, J.T. 1999. Quantification of *Bacillus thuringiensis* insect control protein Cry1Ac over time in Bollgard cotton fruit and terminals. *J. Econ. Entomol.* 92, 1377-1383.
- HABIB, M.E.M. & ANDRADE, C.F.S. 1998. Bactérias entomopatogênicas, p. 383-446. In S.B. Alves (ed.), *Controle microbiano de insetos*. Piracicaba, FEALQ, 1163p.
- HARTWELL, J.; SMITH, L.; WILKINS, M.; JENKINS, G.; NIMMO, H. 1996. Higher plant phosphoenolpyruvate carboxylase kinase is regulated at the level of translatable mRNA in response to light or a circadian rhythm. *Plant J.* 10: 1071-1078
- KRANTHI, K.R. & KRANTHI, S. 2000. A sensitive bioassay for the detection of cry1A toxin expression in transgenic cotton. *Biocontrol Sci. Tech.* 10:669-675.
- MERRITT, C.R. 1998. The commercialisation of transgenic crops – the Bt experience. In *Biotechnology in Crop Protection: Facts and Fallacies*, 1998 BCPC Symposium Proceedings 71, 79-86. Surrey UK: BCPC, Farnham.
- PERLAK, F.J.; DEATON, R.W.; ARMSTRONG, T.A.; FUCHS, R.L.; SIMS, S.R.; GREENPLATE, J.T.; FISCHHOFF, D.A. 1990. Insect resistant cotton plants. *Bio/Technology.* 8, 939-943.

- SACHS, E.S.; BENEDICT, J.H.; STELLY, D.M.; TAYLOR, J.; ALTMAN, D.W.; BERBERICH, S.A.; DAVIS, S.K. 1998. Expression and segregation of genes encoding cryIA insecticidal proteins in cotton. *Crop Sci.* 38, 1–11.
- STOTZKY, G. 2000. Persistence and biological activity in soil of insecticidal proteins from *Bacillus thuringiensis* and of bacterial DNA bound on clays and humic acids, *J. Environ. Qual.* 29, 691–705.
- TURNIPSEED, S.G.; SULLIVAL, M.J.; MANN, J.E.; ROOF, M.E. 1995. Secondary pests in transgenic *Bt* cotton in South Carolina. In *1995 Proceedings Beltwide Cotton Conferences*, pp. 768–769. Memphis, TN: National Cotton Council, USA.
- WAN, P.; ZHANG, Y.J.; WU, K.M.; HUANG, M.S. 2005. Seasonal expression profiles of insecticidal protein and control efficacy against *Helicoverpa armigera* for Bt cotton in the Yangtze River Valley of China. *J. Econ. Entomol.* 98:195-201.
- ZENNER DE POLANÍA, I., H.A. AREVALO, R. MEJÍA Y J.L. DÍAZ. 2009. *Spodoptera frugiperda*: respuesta de distintas poblaciones a la toxina Cry1Ab. *Rev. Col. Entomol.* 35(1), 34-41.
- ZENNER DE POLANÍA, I., J.A. ÁLVAREZ, H.A. ARÉVALO, R. MEJÍA, M.A. BAYONA. 2008. Susceptibilidad de cuatro nóctuidos plaga (Lepidoptera) al gene Cry 1Ac del *Bacillus thuringiensis* incorporado al algodón. *Rev. Col. Entomol.* 34(1), 41-50.

Posibilidades de uso de entomopatógenos genéticamente modificados en el control de plagas

Potential for the use of genetically modified entomopathogens in pest control

Carmenza E. Góngora B

Ph.D. Microbióloga. Investigador Científico III. Disciplina de Entomología. Cenicafé, Chinchina. Caldas.
carmenza.gongora@cafedecolombia.com

Introducción

Las pérdidas económicas ocasionadas por insectos plagas en cultivos agrícolas han llevado a que las plantas huésped de los insectos, los agentes de control microbiano y aun los mismos insectos plaga hayan sido todos genéticamente modificados (GM), con el propósito de desarrollar nuevas estrategias para el control de estos insectos plagas o con el fin de mejorar los productos actualmente existentes para tal propósito (Cusson 2008).

Los problemas ocasionados por el uso de insecticidas químicos han incrementado y fortalecido el esfuerzo por emplear agentes de control biológico para el control de plagas agrícolas (Butt *et al.*, 2001). Sin embargo, históricamente los biocontroladores de plagas y pestes de plantas no han alcanzado las expectativas debido a su tardanza en mortalidad, fallas en la identificación de cepas activas a bajas dosis e inconsistencias en los resultados comparados con los insecticidas químicos, con los cuales ellos compiten (Gressel *et al.*, 2007a,b). Estos fracasos pueden ser agravados por el incompleto entendimiento de los factores biológicos y genéticos que hacen efectivo a un hongo. Sin embargo, la falta de eficacia puede también ser predeterminada debido a que balances evolutivos pueden haberse desarrollado entre los microorganismos y sus hospederos de tal forma que la muerte rápida de los insectos, aun a dosis altas no es una característica que favorezca la adaptación del patógeno. En este caso, el efectivo biocontrol desde el punto de vista de costos requerirá la transferencia de genes al biocontrolador (Gressel *et al.* 2007a). Recientemente, varias características de los patógenos de insectos incluyendo rango del huésped, capacidad productiva, estabilidad, virulencia y competencia saprofítica pueden ser incrementados a través de la manipulación genética.

Patógenos de insectos genéticamente modificados

Los patógenos de insectos generalmente son microorganismos capaces de causar una enfermedad en el insecto, una condición anormal que ocurre debido a desarreglos fisiológicos o físicos. Los microorganismos patogénicos generalmente invaden y se multiplican dentro de los insectos y se conocen como entomopatógenos. Los entomopatógenos se transmiten a los insectos por contacto directo, ingestión y vectores y se pueden transmitir de padres a hijos. Entre los grupos de entomopatógenos empleados para el control de insectos se incluyen 1. Virus, 2. Bacterias, 3. Hongos, 4. Protozoarios, 5. Nematodos

Hasta el momento la literatura reporta modificaciones genéticas que se han llevado a cabo en virus, bacterias, hongos y nematodos entomopatógenos, al menos con propósitos académicos y en esta revisión se discutirán algunos de estos casos a excepción de los nematodos.

Virus modificados genéticamente

Los virus son partículas no celulares parasíticas. En la naturaleza existe una gran diversidad de virus entomopatógenos, al menos 16 familias han sido identificadas como entomovirus. Las familias mas destacadas son Baculoviridae, Poxviridae, Ascoviridae, Reoviridae e Iridoviridae. La infección viral en los insectos ocurre por vía oral, a través de la ingestión del alimento contaminado con las partículas virales. La replicación del virus en los tejidos susceptibles del insecto causa desintegración de estos y las larvas se tornan blandas y muy frágiles (Burges, 1981). Los insectos afectados por virus presentan falta de apetito, cambios en la coloración y alargamiento del estado larval; hay una disminución de la actividad de las larvas y en los estados más avanzados de la infección se produce la muerte de las mismas. Una de las familias de entomovirus más estudiada es la de los baculovirus, a la cual pertenecen los virus de la Granulosis (PhopGV) y de la Polihedrosis Nuclear (NPV). Estos se caracterizan por presentar cuerpos de inclusión que los protegen contra los factores ambientales. Afectan sólo a invertebrados, principalmente Lepidopteros y debido a que este orden es el causante de la gran mayoría de perdidas en agricultura, el desarrollo de los virus como agentes biocontroladores a sido amplio. Los baculovirus son virus de DNA y ocurren naturalmente. Las larvas de lepidópteros infectadas luego de su muerte sufren un proceso de licuefacción, liberando los virus nuevamente sobre las plantas y permitiendo que se repita el ciclo de vida, al infectar otra larva que consuma la planta. Estos son usados exitosamente como controladores en algunos sistemas agrícolas como es el caso de el virus de la poliedrosis de *Anticarsia gemmatilis*, plaga de soya, que ha sido usado en aproximadamente 1 millón de ha en Brasil (Moscardi, 1999).

La principal atracción de este grupo de virus para ser modificados genéticamente, desde un punto de vista de seguridad en el medioambiente, es que tienen un reducido rango de hospederos, la gran mayoría de baculovirus tienen la habilidad de infectar solamente unas pocas especies cercanamente relacionadas y son completamente inocuos a otros organismos que se encuentre en el mismo medioambiente.

Algunos baculovirus que ocurren naturalmente se han registrado en los Estados Unidos como productos comerciales para el control de insectos, incluyendo uno enfocado en el control de gypymoth o polilla gitana (*Limantria dispar*) (Gypchek). Sin embargo a pesar de sus ventajas, no se ha producido una comercialización masiva de este, quizás debido a su alto costo y bajo velocidad de acción (toma alrededor de 10 días la muerte del insecto) (Wood, 1996). El incremento en velocidad de acción ha sido el principal propósito en los esfuerzos encaminados en mejorar la eficacia del virus a través de ingeniería genética al igual que la resistencia a condiciones de radiación UV.

Debido a sus características intrínsecas los baculovirus son fácilmente manipulables, lo que hace posible la introducción de genes externos (foráneos) como es el caso de toxinas de insectos específicas, dentro de sus genomas de tal forma que estas, se expresan en altos niveles. Las proteínas producidas como resultados de la expresión de los genes introducidos se escogen con la intención de causar las mayores disrupciones fisiológicas en los insectos esto conllevara al cese de la alimentación por parte del insecto y muerte más temprana al ser comparados con insectos infectados con las cepas de virus naturales no modificadas.

Aunque la ingeniería de las toxinas de Bt, tema que se tocara más adelante, ha recibido gran atención los esfuerzos para modificar los patógenos de insectos con el fin de mejorar su actividad insecticida se ha enfocado principalmente en este grupo de virus (Harrison y Bonning 2000).

Inceoglu *et al.*, (2006) hacen una excelente revisión de los Baculovirus modificados genéticamente. Las investigaciones empezaron desde los 80 y tanto la academia como la industria han invertido bastante esfuerzo en generar baculovirus con incremento en su capacidad de mortalidad.

Desde 1990, se inicio el desarrollo de los Baculovirus GM en varios laboratorios, algunos han mostrado mejoramiento en la eficacia e incrementos en su velocidad de acción con respecto a las cepas salvajes. Los ejemplos incluyen: - virus recombinantes expresando hormonas juveniles esterases (Bonning *et al.* 1995) - hormonas diuréticas obtenidas de insectos como *Manduca Sexta* que intervienen en la excreción y retención de agua en el insecto (Maeda, 1989) . Expresión de toxinas de BT. Neurotoxinas de escorpión específicas de insectos (Stewart *et al.* 1991, Carbonell 1988). Factores transcripcionales como el CHR3 obtenido de spruce budworm (*Choristoneura fumifera*) (Palli *et al.* 1999), el cual desencadena una muda prematuro e incompleta que ocasiona la muerte de los insectos.

Una de las toxinas más populares estudiadas hasta el momento ha sido la toxina de AaIT obtenida del escorpión Nor Africano (algeria) *Androctonus australis*, esta toxina se estudio inicialmente como un modelo de toxina potente tipo péptido que causa parálisis en los insectos interactuando con los canales de Sodio, de las neuronas (Maeda et al 1991). La toxina es codificada por el gen *aait*, el cual se clono en diferentes vectores y se transformaron diversos baculovirus incluyendo NPvS para el control de Rachiplusi al igual que baculovirus para el control de *Helicoverpa zea* (HzNPV) y *H. armígera* (Ha SNPV). En todos los casos con los virus GM, la mortalidad de los insectos se obtuvo en menor tiempo. Además, con este sistema se logro sobreexpresión de otras toxina de escorpión y de arácnidos como *Agelenopsis aperta* al igual que de toxinas de anemonas de mar y de protoxinas de *Bacillus thuringiensis*. Otros trabajos, se han desarrollado con el propósito de sobreexpresar proteasas que puedan degradar la membrana basal del intestino de los insecto que contiene glicoproteínas, la proteasa cathepsina mostro tener un efecto significativo en este sitio de acción incrementando la velocidad de acción en 50% (Harrison y Bonning 2001)

Otros esfuerzos se han enfocado en ampliar el rango de huéspedes de los baculovirus insertando genes de otros grupos de virus como es el caso de los polydnavirus dentro del genoma de los baculovirus. Los genes que se han usado, como es el caso del del gen *P-vank-1* que codifican proteínas que suprimen la respuesta inmune de algunas larvas de lepidópteros (*Spodoptera littoralis*), de tal manera que permiten al baculovirus replicarse en un hospedero que bajo condiciones normales no sería capaz de infectar y usar (Rivkin *et al.* 2006). Esta estrategia podría mejorar potencialmente la viabilidad comercial de este virus dado que la gran especificidad limita ampliamente en el mercadeo de este tipo de virus como controladores.

Con respecto a resistencia a condiciones medioambientales la sobreexpresión de una glicosilasa pirimidina dimero (cv-PDG) aislada de virus de algas y que esta involucrada en la reparación de los daños de DNA causados por Luz UV fue expresada en baculovirus, estos mostraron una disminución en la cantidad de partículas virales que se requiere para inducir una dosis que causa mortalidad de *Spodoptera frugiperda* pero no mostraron efecto en *Trichoplusia ni* (Petrik et al 2003).

De igual forma, los baculovirus fueron los primeros entomopatogenos GM que se evaluaron en condiciones de campo. Los primeros ensayos de campo se hicieron con baculovirus que contenían solo genes marcadores (Lac Z) y se realizaron a mediados de los 80 en Inglaterra (Black et al., 1997). En Estados Unidos el primer ensayo de campo fue hecho en 1989 (Wood *et al.*, 1994). En 1993 Cory *et al.*, hicieron el primer ensayo en campo empleando un Baculovirus GM sobreexpresando la

toxina AaIT de escorpión (Cory et al., 1994). Empleando plantas de Repollo infestadas con *Trichoplusia ni*. Se observó un 50% de reducción en el daño de las plantas. En China también se ha venido evaluando por varios años el efecto de baculovirus con expresión de esta toxina y de un gen que no permite la replicación del virus sobre *Helicoverpa* atacando algodón (Sun et al 2004, 2002) y se han observado incrementos en la producción de hasta 20%. Todos los experimentos de campo indican que estos GM microorganismos son seguros desde el punto de vista ambiental, no tienen efecto sobre insectos benéficos y pueden competir con los insecticidas de síntesis química (Kamita et al., 2005).

Para completar el trabajo, investigadores en Dupont han venido trabajando en el mejoramiento de la tecnología de producción de estos virus, ya que si se acelera la mortalidad que causan en los insectos, la cantidad de partículas virales que se pueden producir disminuye. Para esto, se han diseñado diferentes estrategias en las que el virus es modificado con otros genes y promotores de tal forma que el gen encargado acelerar la muerte del insecto, por ejemplo una toxina, no se expresa en presencia de un antibiótico como es el caso de tetraciclina, así que mientras se produce las partículas virales, los medios de cultivo del virus (ya sea insectos o cultivos celulares) contienen el antibiótico que causa silenciamiento del gen de interés tóxico para los insectos al quitar el antibiótico el silenciamiento se detiene y se produce la proteína tóxica, que será la condición que se presentará en el medio ambiente (Inceoglu et al., 2006).

Finalmente, aunque se han optimizado las metodologías de producción de los baculovirus y se han hecho extensas investigaciones sobre la ecología y bioseguridad de estos controladores y en repetidas veces se ha demostrado que son seguros ya que no tienen efecto en organismos no blanco, ninguno de los virus recombinante GM, desarrollados desde 1990 han sido registrados para ser usados en programas de manejo de plagas en agricultura. Además, debido a la preocupación pública por los impactos ecológicos potenciales de los organismos GM y debido a la dificultad para diseñar ensayos de campo contenidos que evalúen los riesgos que los opositores de los organismos GM claman, a las aplicaciones para registro de los baculovirus no se les ha dado prioridad a pesar de los informes que documentan su inocuidad (McClintock et al., 2000). Sin embargo, como ocurre con muchas nuevas tecnologías, una vez se dé el registro para el primer baculovirus GM y tales esfuerzos están actualmente en curso para el virus modificado con CHR3 referido arriba, los registros subsecuentes probablemente serán más fáciles, dado que los aspirantes podrán argumentar las semejanzas dentro de las familias de los virus para construir buenos argumentos a favor de la seguridad de todos ellos.

Bacterias modificadas genéticamente. Las bacterias corresponden a formas procariotas unicelulares. Estas infectan a los insectos principalmente al ser ingeridas vía oral interactuando con el tracto digestivo. También pueden entrar al insecto por parasitoides y predadores. Las infecciones bacterianas se caracterizan por producir bacteremias en las que las bacterias luego de entrar al insecto se multiplican en la hemolinfa. Además la bacteria puede producir toxinas que en algunos casos causan la muerte del insecto. Los insectos atacados por bacterias especialmente en los estados larvales, rápidamente se oscurecen y pierden turgencia, los tejidos y órganos internos se rompen y adquieren una consistencia acuosa acompañado por un olor pútrido. El integumento permanece intacto.

Tres especies de bacterias formadoras de esporas que pertenecen al género *Bacillus* han sido las más frecuentemente usadas para el control de plagas en agricultura. Estas son: *Bacillus popilliae*, que ataca larvas de cucarrones scarabaeid Coleoptera. *Bacillus sphaericus* usada para el control de mosquitos culicidas Diptera y una de las más conocidas *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* que afecta

Lepidopteros. *B. thuringiensis* var. *israeliensis* que afecta diferentes familias de Dípteros y *B. thuringiensis* var. *tenebriones* que afecta algunas larvas de Coleópteros. La mayor cantidad de estudios y trabajo se ha realizado en *B. thuringiensis* en las cuales se ha reportado más de 30 subespecies y muchas cepas se han aislado. Esta bacteria produce una proteína tóxica conocida como cristal paraesporal que es la que causa la enfermedad en el insecto. Aunque el uso de plantas GM con Bt es relativamente reciente, el uso de Bt como biopesticida comercial se remonta a 1950s, la mayoría de ellos están basados en Bt subespecies *kurstaki* HD-1, que representa el 95% del mercado de biopesticidas en el mundo (Cusson 2008).

Las familias de proteínas Cry por cristal y Cyt por citolíticas son un diverso grupo de proteínas con actividad contra insectos de diferentes órdenes—os Coleópteros, Dípteros. Su acción primaria es la lisis de las células epiteliales del intestino medio insertándose en las membranas y formando poros. Las toxinas Cry interactúan con receptores específicos localizados en la superficie de las células de los hospederos y son activadas por las proteasas del hospedero. Por el contrario las toxinas Cyt interactúan directamente con los lípidos de las membranas insertándose directamente (Bravo *et al.*, 2007).

Debido a que los genes de las toxinas *cry* se localizan en plásmidos (Moléculas de DNA circular separadas del DNA cromosómico y que estas bacterias pueden contener entre 2 y 12 genes *cry* es posible crear nuevas cepas de Bt, transfiriendo genéticamente los plásmidos de una cepa a otra por un proceso llamado conjugación (Harrison and Bonning 2000). Usando esta metodología ha sido posible desarrollar cepas de Bt comerciales que pueden dar protección contra larvas de lepidópteros y coleópteros sin modificar directamente los genes.

La última investigación en el mejoramiento de estas cepas incluye la modificación genética de las endotoxinas, como la endotoxina δ , esto ha llevado a ampliar el rango de los insectos hospederos y la actividad insecticida. Por ejemplo, la toxina cry4Ba una proteína específica de mosquito que no mostraba actividad insecticida contra *Culex quinquefasciatus* o *Culex pipiens* fue modificada de tal forma que se introdujeron aminoácidos sustitutos en tres loops putativos del dominio II de la proteína. La proteína modificada mostró actividad contra *C. quinquefasciatus* (Abdullah *et al.* 2003). Esta investigación abrió un nuevo campo en el uso de estas bacterias.

Para el caso de *B. popilliae* que ha sido usada desde hace más de 50 años para el control de *Popillia japonica* en USA (Stahly *et al.*, 1992) su baja esporulación en condiciones in vitro han sido la limitante para el uso comercial y posible mejoramiento de esta y una situación similar sucede en el caso de *B. sphaericus*.

Por otra parte bacterias y levaduras GM se han usado ampliamente para manufacturar medicamentos, productos para las industrias alimenticias y agrícolas, pero estos se producen generalmente en los laboratorios. *Escherichia coli* GM produce insulina humana que reemplaza a la animal con propósitos médicos y Rennet que se usa para la producción de quesos. La hormona para el crecimiento bovino que incrementa la producción de leche en granjas en USA también proviene de estas bacterias. También se han usado en procesos de biorremediación de compuestos tóxicos y para remover el exceso de CO₂ de la atmósfera. Se han realizado experimentos in campo liberando bacterias con marcadores visuales, biosensores de químicos tóxicos, con propiedades insecticidas y reducida virulencia.

Hongos modificados genéticamente para el control de insectos. Los hongos son formas eucarióticas, unicelulares o multicelulares con un núcleo claramente definido por una membrana.

Los primeros organismos que se identificaron como causante de enfermedad en insectos fueron los hongos, debido a que era posible observar su crecimiento en la superficie de los insectos.

Los insectos son usualmente infectados por las esporas o conidias (unidades reproductivas) de los hongos. El hongo penetra el insecto por ruptura del integumento y en algunos casos a través de sus aberturas naturales (cavidad bucal, espiráculos). El modo de penetración depende de las propiedades de la cutícula de los insectos, pero generalmente las esporas germinan y producen una hifa que a través de una fuerza física, que crea una presión mecánica y la producción de sustancias químicas como son las enzimas que rompen la cutícula. Las hifas se convierten en filamentos de micelio que penetran a través de la cutícula y dentro de la cavidad del cuerpo del insecto, y el hongo se multiplica en forma de cortos fragmentos o cuerpos hifales, los cuales son diseminados a todas partes del cuerpo del insecto, eventualmente destruyendo órganos internos. La muerte del insecto ocurre por deficiencias nutricionales, invasión y destrucción de sus tejidos y sustancias tóxicas que son producidas por el hongo. Luego el hongo produce estructuras reproductivas y sale del insecto.

Los hongos entomopatógenos están presentes en todas las clases de hongos conocidas, posiblemente los más ampliamente distribuidos ocurren en los Deuteromycetes y Entomophthorales. Los Deuteromycetes *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*, agentes causales de las enfermedades, conocidas como muscardina blanca y verde respectivamente; han sido reconocidos por tener un amplio potencial de aplicación como biocontroladores.

Transformación de hongos. El primer paso para la producción de un hongo mejorado a través de transformación genética es el desarrollo de métodos eficientes de transformación del hongo, entre los métodos de transformación se ha identificado la transformación empleando Pilielilén Glicol PEG/CaCl₂ (Pfeifer et al 1992). Los Eventos de co-transformación se han desarrollado mediante electroporación y biolística exitosamente para *Metarhizium* sp (St. Leger et al 1995) y Rodríguez 2003 compara los dos sistemas para *B. bassiana*, encontrando mayor eficiencia el PEG.

Sin embargo, los estudios genéticos de hongos entomopatógenos han estado tradicionalmente limitados por las bajas frecuencias de transformación de estos organismos. Esto ha sido corregido a través del uso del método de transformación mediada por *Agrobacterium*, el cual es relativamente sencillo tanto para *B. bassiana* como para *M. anisopliae* (Fang et al., 2006, Leclercq et al., 2004). Este método ha sido exitoso en diversos hongos incluyendo miembros de los Ascomycetes, Basidiomycetes, Zygomycetes y Oomycetes, lo cual demuestra el alto potencial de este sistema de transformación para introducir nuevas características a hongos patógenos de insectos y especies como *Erwinia* y *Lagenidium* las cuales no había sido posible transformar anteriormente. Métodos de genómica funcional usando *Agrobacterium* y evaluaciones de métodos para inducir mutagenesis e inserciones están siendo desarrollados en *M. anisopliae* con el fin de identificar genes involucrados en fenotipos particulares o procesos morfogénicos como por ejemplo: esporulación, formación de apresorios, atenuación de la virulencia.

La manera más apropiada de evaluar los métodos de transformación genética de un organismo es el uso de genes marcadores y genes de selección. Los genes marcadores codifican enzimas que no están presentes en las cepas no transgénicas. Los genes de selección confieren resistencia a sustancias tóxicas, codificando productos que permiten la supervivencia de los organismos transformantes en medios tóxicos, que generalmente contienen antibióticos o herbicidas. Solo los organismos transformantes tienen la habilidad de sobrevivir en estos medios. Como genes de selección, el gen *bar* ha sido usado en sistemas de transformación de hongos entomopatógenos. Este gen aislado de *Streptomyces hygroscopicus*, confiere resistencia a los herbicidas bialafós y

glufosinato de amonio. La selección se usa usando herbicidas. Como gen marcador, el cDNA que codifica la proteína verde fluorescente (GFP) (Chalfie *et al.*, 1994), aislado de *Aequorea victoria*; ha sido también exitosamente expresada en un amplio número de organismos.

La transformación de los hongos con genes de selección y marcadores no solo permite la identificación eficiente de las cepas transformadas, sino que también facilitará el seguimiento de los procesos de infección y patogenicidad de estas cepas en condiciones de laboratorio y campo. En laboratorio, un requerimiento clave en el estudio de la interacción entomopatógeno-hospedero es la habilidad de detectar el hongo dentro del tejido del insecto. Cepas transformadas conteniendo genes de selección o marcadores proveerán una nueva herramienta de detección y los medios para monitorear el desarrollo del hongo y la interacción con el hospedero. En el campo, estos genes permitirán la recuperación e identificación de cepas del hongo asperjadas en el campo, lo cual conllevará al entendimiento de los procesos de transmisión, infectividad y persistencia del hongo en el medio ambiente.

Ingeniería para incrementar la competencia saprofítica y mitigar la dispersión. La mayoría de estudios de patógenos de insectos se han enfocado en su virulencia. Sin embargo, si un patógeno se espera que funcione como un agente de biocontrol clásico y persista en el medio ambiente, entonces los factores climáticos como radiación solar, temperatura, disponibilidad de agua, precipitaciones y viento) condiciones edáficas (tipos de suelo) y condiciones bióticas (antagonistas) (Inglis *et al.*, 2001, Roberts y St. Leger, 2004). Deben ser muy tenidos en cuenta.

La Resistencia con una base genética a estos factores climáticos también podría ser una ventaja no solo durante la infección, sino también en la preparación del producto comercial y el almacenamiento. Existe una gran variabilidad entre taxas y cepas dentro de una especie en sus características de temperatura, requerimientos de humedad relativa y susceptibilidad a la radiación (Drummond *et al.*, 1987, Bidochka *et al.*, 2001, Rangel *et al.*, 2005). Estos genes se convierten en herramientas naturales disponibles para el desarrollo de tolerancia a limitantes medioambientales. Sin embargo, los mecanismos genéticos de la resistencia a parámetros medioambientales no están bien entendidos y están probablemente gobernados por factores poligenéticos que pueden ser difíciles de manipular genética. Sin embargo, se ha progresado en entendimiento de la susceptibilidad al daño causado por la luz UV-B (290-315 nm). Bragga et al (2006) mostraron que el grado de pigmentación de las conidias y los niveles de enzimas de reparación de ADN contribuyen a la tolerancia a la luz UV y que existe una relación entre la tolerancia y el origen geográfico de los insectos hospederos.

Ingeniería para Mejorar la Virulencia. A diferencia de los virus y las bacterias los cuales tienen que ser ingeridos para causar enfermedad, los hongos entomopatógenos actúan como insecticidas de contacto infectando a los insectos directamente a través de la cutícula. Los primeros genes que se emplearon para hacer transformaciones para incrementar virulencia fueron precisamente enzimas degradadoras de la cutícula del insecto (proteasas y quitinasas) y toxinas que codifican genes únicos ya que estos son fáciles de manipular y de ser usados para hacer transferencias genéticas. Muchas de las enzimas degradadoras de cutícula que actúan sinérgicamente para solubilizar las cutículas son productos de múltiples genes con distintos patrones de actividad. (St. Leger *et al.*, 1996 b,c, Bagga *et al.*, 2004). Además estas moléculas tienen especialización patogénica que las distingue de otras moléculas similares pero producidas por organismos saprofitos. Por ejemplo, en el caso de la proteasa tipo subtilisina Pr1 inicialmente identificada en *M. anisopliae* (St. Leger *et al.*, 1992), esta presenta fuertes uniones contra proteínas insolubles presentes en la cutícula del insecto. La proteasa Pr1 es también resistente a inhibidores de proteinasas (serpinas) en la hemolinfa del

insecto y a los sistemas de melanización rápida que simulan los mecanismos de defensa inmune del insecto. (St. Leger *et al.*, 1988)

M. anisopliae fue el primer hongo entomopatógeno MG para incrementar virulencia, copias adicionales del gen que codifican la proteasa Pr1 fueron insertadas dentro del genoma de bajo el control del promotor *gpd*, de tal forma que el gen se sobreexpresaba constitutivamente (St. Leger *et al.*, 1996^a). Al comienzo del experimento se esperaba que la sobreexpresión de una proteasa degradadora de cutícula tuviera un efecto en la virulencia, acelerando la penetración de la cutícula del insecto. Sin embargo, el efecto real de la sobreexpresión fue el de causar una melanización masiva en el cuerpo del insecto y se detuvo el consumo de alimento por parte de este 40 horas antes que en los insectos infectados con el hongo no modificado. En contraste con las cepas no modificadas, la cepa transgénica produjo continuamente la proteasa Pr1 en el hemocele de las larvas de *Manduca sexta* luego de la penetración de la cutícula. Esto, activo una enzima tipo tripsina en el insecto que está involucrada en una cascada metabólica que termino en la activación de la vía de profenoloxidación.

Los experimentos con microarreglos hoy en día, han mostrado que las cepas no transformadas de *M. anisopliae* detienen la expresión de los genes de proteasas en la hemolinfa del insecto, presumiblemente para prevenir este efecto de profenoloxidación (Wang *et al.*, 2005). Un producto afortunado de esta interacción entre las proteasas del patógeno y las vías metabólicas de las fenoloxidasas del hospedero es que los insectos infectados con las cepas transgénicas y que muestran melanización extensiva, son muy pobres substratos para el crecimiento del hongo y la esporulación. Con esta cepa de *M. anisopliae* GM se desarrollaron las primeras evaluaciones en campo y lo que se observo fue una baja transmisión y recombinación del hongo, siendo un obstáculo menos para la obtención de permisos para realizar evaluaciones de estos organismos a nivel de campo. (Hu y St. Leger 2002).

La patogenicidad de un hongo es una característica que depende de varios genes. La habilidad para penetrar la cutícula del insecto y la tolerancia al sistema inmune del hospedero pueden ser un común denominador, que las especies de hongos patógenos pueden haber alcanzado a través de diferentes vías metabólicas evolutivas. Los factores particularmente importantes para la virulencia como son: adhesinas, pigmentos, enzimas extracelulares u otros productos secretados, pueden ser muy específicos del patógeno. La disponibilidad de genes que codifican estos productos incrementa la posibilidad de crear nuevas combinaciones recombinando estos genes en otros hongos, bacterias o virus. De tal forma, que se pueda manipular la especificidad del patógeno al insecto y la virulencia creando patógenos mejorados. Empleando esta estrategia, en Cenicafé hemos mostrado que el gen Pr1 y un gen de esterasa provenientes de *M. anisopliae* pueden ser usados para incrementar la virulencia de *B. bassiana* (Góngora 2004 y Rodríguez y Góngora 2005). En el caso de la proteasa se logro un incremento en la mortalidad de la broca del café en un 30% comparado con las cepas no transformadas. Para el caso de la esterasa se pudo comprobar que es un factor de virulencia en cepas que muestran valores bajos de esta enzima.

Hoy en día, la clonación de genes basados en la hipótesis de que estaban involucrados en la patogenicidad ha sido remplazada por el estudio de Librerías de cDNA, EST y microarreglos que permite a los investigadores mirar como un todo el proceso de infección además de permitir que el patógeno informe que está haciendo durante este proceso (St. Leger 2007). La generación de cepas de hongos con lesiones en genes que están altamente expresados también ha permitido la identificación de diferentes proteínas: como es el caso de las adhesinas las cuales son esenciales en la unión del hongo a la cutícula de los insectos y también a la superficie de las plantas (Wang y St.

Leger, 2007b), de la peripilina la cual regula la lipólisis, presión osmótica y la formación de estructuras de infección (Wang y St. Leger, 2007c) y de un osmosensor que le indica a la hifa de penetración que ha alcanzado el hemocele (Wang y St. Leger, 2008). Todos estos genes tienen un potencial que no se había identificado anteriormente, para hacer ingeniería con respecto al rango de los insectos hospederos, incrementando o disminuyendo este potencial e ilustra el poder del estudio de los diferentes patrones de expresión ya que muestra estrategias en los procesos de infección que no se esperaban previamente.

Un gen que se identificó usando microarreglos fue el gen (*Mc1*), aislado de *M. anisopliae* atacando insectos. Este mostro la mayor expresión (5.6% de los transcritos totales), durante el crecimiento en la hemolinfa. Este gen codifica una proteína de pared celular con un dominio largo de colágeno. La proteína envuelve al hongo durante su crecimiento en la hemolinfa, y la supresión del gen confirmó que este *Mc1*, se requiere para la evasión de la respuesta inmune del insecto (Wang y St. Leger, 2006). Los mutantes en este gen son rápidamente atacados por los hemocitos y muestran una reducción de su virulencia en *Manduca sexta*. Por RT-PCR se confirmó que el gen *Mc1* se expresa durante el crecimiento del hongo en la hemolinfa de diferentes especies de insectos, lo cual es consistente con el amplio rango de insectos hospederos que muestra la cepa de *M. anisopliae* (ARSEF 2575) que fue de donde se obtuvo el gen. Sin embargo, el gen no se expresa en otros medios, lo cual demuestra su relación con patogenicidad (Wang y St. Leger, 2006).

El promotor del gen *Mc1* que se expresa altamente puede inducir expresión de transgenes que codifican toxinas que se expresen en la hemolinfa del insecto. Además de la posibilidad de incrementar virulencia, la regulación de la expresión de toxinas en la hemolinfa del insecto tiene consideraciones desde el punto de vista de bioseguridad, ya que de esta forma se limita la liberación casual de toxinas por el hongo en su forma saprofítica. Además, la especificidad es usualmente controlada por eventos de infección a nivel de la cutícula (St. Leger y Screen, 2001), así que alterar los eventos de pospenetración no debe reducir la selectividad de las especies creando problemas de bioseguridad en el medioambiente.

Nuevas Fuentes de Genes para Producir Agentes Biocontroladores Transgénicos Hipervirulentos.

Con el fin de desarrollar hongos recombinantes más potentes para el control de mosquitos, se pensó en combinar la habilidad natural de *Metarhizium* para penetrar el insecto con un péptido insecticida. Las toxinas mejor estudiadas de *M. anisopliae* son las destruxinas (Pal *et al.*, 2007). Desafortunadamente para los propósitos de ingeniería genética, las destruxinas son metabolitos secundarios codificados por genes bastante grandes (ca 20 Kb) lo cual dificulta su manipulación genética. Un problema adicional que puede aparecer por usar genes propios del patógeno y toxinas para mejorar virulencia es que los hospederos han tenido millones de años para evolucionar resistencia así que puede ser ventajoso tomar genes de toxinas de organismos heterólogos.

Las toxinas venenosas han mostrado un alto grado de especificidad y esto les permite ser consideradas estrategias medioambientalmente benignas para el manejo de insectos (Edwards y Gatehouse 2007). Sin embargo, ellas alcanzan sus receptores blanco únicamente cuando un escorpión pica a su presa y por sí sola no son capaces de penetrar la cutícula de los insectos y por lo tanto requieren un mecanismo que les permita llegar dentro del sistema circulatorio del insecto. Como ya se indicó anteriormente estas toxinas han permitido desarrollar el más importante baculovirus recombinante evaluado en pruebas de campo (Sun *et al.*, 2004, 2002). Sin embargo, los productos virales han sido únicamente producidos en masa en insectos vivos, un procedimiento bastante costoso y los virus son específicos de un reducido grupo de lepidópteros. Interesantemente, los lepidópteros son relativamente tolerantes a esta toxina al ser comparados

con saltamontes, cucarrones y grillos (Zlotkin *et al.*, 2000). Los baculovirus son principalmente patógenos de lepidópteros. Sin embargo, muchos insectos que no son susceptibles a los baculovirus son afectados por *M. anisopliae*. Estos estudios han aportado una oportunidad para: 1) Diversificar y dispersar sus usos, toxinas ampliamente estudiadas como las de *M. anisopliae* ya han superado varios obstáculos con respecto a sus regulación y 2) Directamente comparar la eficacia de las toxinas de hongos con las más frecuentemente estudiadas de artrópodos

Los alcances a los cuales la virulencia puede ser incrementada se mostraron al usar el promotor *Mcl1* para expresar AaIT in *M. anisopliae* (Wang *et al.*, 2007a). El hongo modificado alcanzo la misma tasa de mortalidad en el gusano cachón (*Manduca sexta*) con una dosis de 22 veces menos esporas que las cepas no transformadas, y los tiempos de supervivencia a algunas dosis se redujeron en 40%. Resultados similares fueron obtenidos en mosquitos (CL_{50} se redujo 9 veces) y en la broca del café (LC_{50} se redujo 16 veces) (Wang *et al.* 2007a, Pava-Ripoll *et al.*, 2008). A altas dosis de esporas la broca del café fue muerta en menos de 3 días y la dosis efectiva de esporas fue menos de 5 esporas.

Además, los científicos hoy en día no están limitados a la inmensa diversidad de secuencias de péptidos que existen en la naturaleza si no que también pueden desarrollar genes sintéticos multifuncionales que son híbridos de diferentes actividades.

Como sistema de expresión, *Metarhizium* y *Beauveria* son tan fáciles de usar como las levaduras comercialmente disponibles pero con la ventaja adicional de proveer un sistema de transporte dentro del insecto. Esto contrasta fuertemente con la transgénesis de insectos que requiere gran entrenamiento y habilidad. Los hongos patógenos de insectos proveerán sistemas modelo para la evaluación de nuevas sustancias efectoras productos de fusión producidos por inserciones o el cambio de posición de los genes, o que son híbridos de diferentes vectores. Después de las evaluaciones los efectores más potentes pueden ser transportados por el hongo, otro microorganismos y/o en un insecto o planta transgénicos

Hasta el día de hoy se espera que un patógeno recombinante de cualquier tipo debe ser aplicado como un insecticida inúndativo. La persistencia en el medio ambiente no es un requerimiento, o no es necesaria y ha sido vista más como un problema por las empresas productoras de biológicos que buscan ventas permanentes del producto y como una amenaza para el medioambiente.

Los sistemas regulatorios basado en hechos científicos actualmente tienen tres requerimientos para agentes biocontroladores mejorados: (i) limitaciones en su dispersión, (ii) baja persistencia y (iii) limitadas posibilidades de recombinación con otros patógenos. Con base en métodos desarrollados para plantas transgénicas, Gressel (2007 b) sugiere que podría ser posible desarrollar tecnologías que puedan bloquear la diseminación de los hongos transgénicos mas allá de las barreras naturales que ya existen. Estas tecnologías podrían involucrar el uso de un procedimiento en dos pasos con el fin de mitigar la dispersión y el flujo de genes del organismos insecticida hipervirulento: a) A través del uso de genes de mitigación de los transgénicos (MT) que en la forma de antisense suprimen esporulación u otras características y b) evitando las recombinaciones potenciales con cepas microbianas nativas por flanqueamiento del gen de hipervirulencia con los genes de mitigación del transgénico, de tal forma que los dos se hereden simultáneamente y sean detrimentales para cualquier organismo recombinante. De esta forma ligando un gen de hipervirulencia con uno o más genes antisense que supriman la esporulación se puede obtener un doble propósito: de bloqueo de dispersión y de bloqueo de recombinación. Se asume que por ligamiento de genes, el gen deletéreo será casi inseparable del transgen primario y no segregará. Los efectos deletéreos causaran al

organismo receptor del vector suficiente daño como para que no pueda competir con las formas no modificadas de esa especie y con otros organismos.

Esta aproximación no ha sido aplicada a los hongos pero ha sido extensivamente evaluada como medida de seguridad para mitigar la introgresión de transgenes de los cultivos transgénicos a malezas (Al-Ahmad *et al.*, 2004). La necesidad práctica de esto puede ser mínima en el caso de *M. anisopliae* ya que parece ser un organismo casi exclusivamente asexual; en el que la recombinación es rara y más probablemente limitada a la formación de heterokariones entre múltiples cepas relacionadas cercanamente.

Efecto ecológico de los entomopatógenos modificados genéticamente.

La sociedad de Ecología Americana en un artículo publicado en 2005 (Snow *et al* 2005) evaluó el efecto ecológico de los organismos modificados genéticamente (OMGs), indicando que pueden tener un importante papel positivo en agricultura sostenible, maderables, acuicultura, bioremediación y manejo ambiental en países desarrollados y en vías de desarrollo. Sin embargo, la liberación deliberada o inadvertida de OMGs en el ambiente puede tener efectos ecológicos negativos bajo ciertas circunstancias. Posibles riesgos de los OGMs incluyen: 1. Desarrollo de nuevas y más vigorosas plagas y patógenos, 2. Daño en especies no blanco tales como organismos del suelo, insectos no plagas, pájaros, y otros animales; 3. Cambios en comunidades bióticas incluyendo agroecosistemas y 4. Pérdidas o cambios irreparables en diversidad de especies o diversidad genética dentro de una especie. OGMs que presentan características novedosas necesitan especial escrutinio con respecto a los efectos ambientales.

La asociación avala las siguientes recomendaciones:

1. Los OMGs deben ser diseñados para reducir riesgo ambiental. (2) Se requiere hacer más estudios de los beneficios medioambientales y los riesgos asociados con OMGs. (3) Los efectos se deben evaluar en relación con los escenarios control. (4) La liberación de OMGs se debe prevenir, si el conocimiento científico acerca de los posibles riesgos es inadecuado. (5) En algunos casos el monitoreo luego de la liberación se requiere para identificar posibles manejo y mitigar los riesgos medioambientales. (6) Las regulaciones deben estar basadas en el conocimiento científico. (7) Los científicos de diferentes áreas (ecólogos, agrónomos biólogos moleculares y todo el personal involucrado), necesitan tener un mayor entrenamiento y amplia interrelación y trabajar en equipo para asumir estas recomendaciones.

En resumen la Sociedad dice que los OMG deben ser evaluados y usados dentro del contexto de una política regulatoria basada en los conceptos científicos que motive la innovación sin comprometer el medioambiente. La sociedad se compromete a proveer el “expertise” para la evaluación y predicción el efecto ecológico de la liberación de estos organismos.

Consideraciones finales.

El control Biológico es una alternativa segura y efectiva al uso de pesticidas para el control de muchas plagas agrícolas. Recientemente las modificaciones genéticas de los biocontroladores han incrementado la efectividad de varios entomopatógenos de insectos que incluyen bacterias, varios baculovirus y hongos. En general la mayoría de esfuerzos se han enfocado en incrementar la velocidad de acción de los agentes biocontroladores. La mayoría de trabajos en el tema se ha desarrollado en *Bacillus thuringiensis* y baculovirus también se han hecho trabajos con hongos entomopatógenos y nematodos (Gaugler *et al.* 1997). Debido a que los baculovirus se han usado con

éxito se ha tratado de incrementar su eficiencia sobreexpresando proteínas tóxicas como toxinas de escorpión, y hormonas. Las evaluaciones de campo han mostrado incremento en su velocidad de acción con algunos de estos genes y aunque han mostrado no causar daños en el medioambiente hasta ahora no se han registrado para uso comercial. En el caso de los hongos los estudios de transformación han servido para entender las interacciones hongo-insecto y se ha avanzado en la identificación de genes y promotores, se ha logrado la expresión de proteasas, esterases y quitinasas en *M. anisopliae* y *B. bassiana* al igual que la toxina de escorpión expresada también en baculovirus.

La aceptación de los microorganismos transgénicos involucra temas que también deben ser discutidos para el caso de otras tecnologías que se estén estudiando. Se cree que dependerá de las propiedades del microorganismo que se desarrolle y requerirá de tecnologías de mitigación para bloquear la dispersión de los patógenos y el flujo de genes a otros microorganismos. Sin embargo, si la expresión de transgénesis permite a un hongo rápidamente disminuir una población plaga de insectos y existen las bases científicas que permiten concluir que es seguro, entonces la tecnología puede ser considerada más aceptable por las personas cuya forma de sustento se ve amenazada por la plaga. Al final, su uso será decidido por las políticas de cada país, de cada cultivo y finalmente será una decisión de cada agricultor y por último del consumidor.

Literatura citada

- AL-AHMAD, H., GALILI, S., GRESSEL, J. 2004. Tandem constructs to mitigate transgene persistence: tobacco as a model. *Molecular ecology* 13: 697-710.
- ABDULLAH, M. A. F., ALZATE, O., MOHAMMAD, M., MCNALL, R. J., ADANG, M. J., DEAN, D.H. 2003. Introduction of *Culex* toxicity into *Bacillus thuringiensis* Cry4Ba by protein engineering. *Applied and Environmental Microbiology* 69: 5343-5353.
- ANDERSON, H.C., BARTSCH, D., BUHK, H.J., DAVIES, H., DELOOSE, M., GASSON, M., HENDRIKSEN, N., HERITAGE, J., KARENLAMPI, S., KRISPIN-SRENSSEN, I., KUIPER, K., NUTI M., O' GARA, F., PUIGDOMENECH, P., SAKELLARIS, G., SCHIEMAN, J., SEINEN, W., SESSITSCH, A., VANELSAS, J.D., WAL, G.M. 2006. Guidance document for the Scientific Panel on Genetically Modified Organisms for the risk assessment of genetically modified microorganisms and their derived products intended for food and feed use. *EFSA Journal* 374, 1-115 p.
- BLACK, B. C., BRENNAN, L.A., DIERKS, P. M., GARD, I.E., FRAENKEL, H. 1997. Commercialization of baculovirus insecticides IN: *The Baculoviruses* (L. K. miller ed.) Plenum Press. New York. 341-387 p.
- BRAGA, G.U., RANGEL, D. E., FLINT, S. D., ANDERSON, A. J., ROBERTS, D. W. 2006. Conidial pigmentation is important to tolerance against solar-simulated radiation in the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae*. *Photochemistry Photobiology* 82(2): 418-422.
- BRAVO, A., GILL, S.S., SOBERÓN, M. 2007. Mode of action of *Bacillus thuringiensis* Cry and Cyt toxins and their potential for insect control. *Toxicon*. 49 (4): 423-435
- BONNING, B.C., HOOVER, K., BOOTH, T.F., DUFFEY, S., HAMMOCK, B. D. 1995. Development of a recombinant baculovirus expressing a modified juvenile hormone esterase with potential for insect control. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology* 30:177-194.
- BIDOCHKA, M. J., KAMP, A. M., LAVENDER, T.M., DEKONING, J., DE CROOS, J. N. 2001. Habitat association in two genetic groups of the insect-pathogenic fungus *Metarhizium anisopliae*: uncovering cryptic species?. *Applied and Environmental Microbiology* 67:1335-1342.

- BUTT, T.M., JACKSON, C., MAGAN, N. 2001. Introduction-fungal biological control agents: progress, problems and potential. In: Butt, T.M., Jackson, C., Magan, N. (Eds) *Fungi as Biocontrol Agents*. CAB International, Wallingford, U.K. 1-8 p.
- BURGES, H. 1981. *Microbial control of pest and plant diseases 1970-1980*. London: Academic Press. 949 p.
- CARBONELL, L. F., HODGE, M. R., TOMALSKI, M. D, MILLER, L. K. 1988. Synthesis of a gene coding for an insect-specific scorpion neurotoxin and attempts to express it using baculovirus vector. *Gene* 73 (2): 409-418.
- CORY J. S. , HIRST M. L., WILLIAMS T., HAILS R. S., GOULSON D., GREEN B. M. , CARTY T. M. , POSSEE R. D., CAYLEY P. J., BISHOP, D. H. L. 1994. Field trial of a genetically improved baculovirus insecticide. *Nature* 370 (6485): 138-140.
- CORY, J. S. 2000. Assessing the risks of releasing genetically modified virus: progress to date. *Crop Protection* 19 (8-10): 779-785.
- CUSSON, M. 2008. The Molecular Biology Toolbox and Its Use in Basic and Applied Insect Science. *BioScience* 58 (8): 691-700.
- CHALFIE, C., TU, Y., EUSKIRCHEN, G., WARD, W.W., PRASHER, D.C., 1994. Green fluorescent protein as a marker for gene expression. *Science* 263: 802-805.
- DRUMMOND, J., HEALE, J., GILLESPIE, A. 1987 Germination and effect of reduced humidity on expression of pathogenicity in *Verticillium lecani*. *Annals of Applied Biology* 111:193-201.
- EDWARDS, M., GATEHOUSE, A. 2007 Biotechnology in crop protection: towards sustainable insect control. In: Vurro M, Gressel J, eds. *Novel Biotechnologies for biocontrol agent enhancement and management*. Netherlands: Springer: 1-24 p.
- GRESSEL, J., MEIR. S., HERSCHKOVITZ, Y. 2007a. Approaches to and successes in developing transgenically enhanced mycoherbicides. In: Vurro M, Gressel J, eds. *Novel Biotechnologies for biocontrol agent enhancement and management*. Netherlands: Springer. 277-296 p.
- GRESSEL, J. 2007b. Failsafe mechanisms for preventing gene flow and organism dispersal of enhanced microbial biocontrol agents. 2007 In: Vurro M, Gressel J, eds. *Novel Biotechnologies for biocontrol agent enhancement and management*. Netherlands: Springer: 353-362 p.
- FANG, W., PEI, Y., BIDOCHKA, M. J. 2006. Transformation of *Metarhizium anisopliae* mediated by *Agrobacterium tumefaciens*. *Canadian Journal of Microbiology* 52 (7): 623-626.
- GAUGLER, R., WILSON, M., SHEARER, P. 1997. Field release and environmental fate of a transgenic entomopathogenic nematode. *Biological Control* 9: 75-80.
- GONGORA, C. 2004 Transformacion de *Beauveria bassiana* cepa Bb9112 con les genes de la proteina verde fluorescente y la protease pr1A de *Metarhizium anisopliae*. *Revista Colombiana de Entomologia* 30:1-6.
- HARRISON, R. L., BONNING, B. C. 2000. Genetic engineering of biocontrol agents for insects. Chapter 9. Pag In: *Biological and biotechnological control of insect pests*. Editors: Jack E. Rechcigl, Nancy A. Rechcigl. Pp: 243-280. Lewis Publishers, Boca Raton, FL
- HARRISON, R. L, BONNING, B. C. 2001. Use of proteases to improve the insecticidal activity of baculoviruses. *Biological Control* 20 (3): .193-209.
- HU, G., ST LEGER, R. J. 2002 Field studies using a recombinant mycoinsecticide (*Metarhizium anisopliae*) reveal that it is rhizosphere competent. *Applied and Environmental Microbiology* 68:6383-6387.
- INCEOGLU, A. B., KAMITA, S., HAMMOCK, B. D. 2006. Genetically Modified Baculoviruses: A Historical Overview and Future Outlook. *Advances in Virus Research. Insect Viruses: Biotechnological Application Vol 68*. Elsevier 323-360 p.

- INGLIS, P.W., ARAGAO, F.J., FRAZAO, H., MAGALHAES, B.P., VALADARES-INGLIS, M.C. 2000. Biolistic co-transformation of *Metarhizium anisopliae* var. *acridum* strain cg423 with green fluorescent protein and resistance to glufosinate ammonium. FEMS Microbiology Letters 191, 249-254.
- INGLIS, G., GOETTEL, M., BUTT, T., STRASSER, H. 2001. Use of hyphomycetous fungi for managing insect pests. In: Butt T, Jackson C, Magan N, eds. *Fungi as Biocontrol Agents*. United Kingdom: CAB International. 253-287 p.
- LECLERQUE, A., WAN, H., ABSCHUTZ, A., 2004. *Agrobacterium*-mediated insertional mutagenesis (AIM) of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*. Current Genetics 45:111-119.
- MAEDA, S. 1989. Increased insecticidal effect by a recombinant baculovirus carrying a synthetic diuretic hormone gene Biochemical and Biophysical Research Communications.165(3) 1177-1183 p.
- MAEDA, S., VOLRATH, S.L., HANZLIK, T. N., MAJIM, K., MADDOX, D.W., HAMMOCK, B.D., FOWLER, E. 1991. Insecticidal effects of an insect-specific neurotoxin expressed by a recombinant baculovirus. Virology 184 (2) 777-780.
- McCLINTOCK, J.T., VAN BEE, N. A. M., KOUGH, J. L., MENDELSON, M.L., HUTTON, P. O. 2000. Regulatory aspects of biological control agents and products derived by biotechnology. In Rechcigl JE,RechciglNA, eds. Biological and Biotechnological Control of Insect Pests. Boca Raton (FL): Lewis. 305–357 p.
- MOSCARDI, F. 1999. Assessment of the application of baculoviruses for control of Lepidoptera. Annual Review of Entomology 44: 257-289
- PAL, S., ST LEGER, R.J., WU, L. P. 2007. Fungal peptide Destruxin A plays a specific role in suppressing the innate immune response in *Drosophila melanogaster*. Journal of Biological Chemistry 282: 8969-8977.
- PFEIFER, T. A., KHACHATOURIANS, G. G. 1992. *Beauveria bassiana* protoplast regeneration and transformation using electroporation. Applied Microbiology and Biotechnology, 38: 376-381.
- PAVA-RIPOLL, M., POSADA, F. J., MOMEN, B., WANG, C., ST. LEGER, RJ. 2008. Increased pathogenicity against coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: curculionidae) by *Metarhizium anisopliae* expressing the scorpion toxin (AaIT) gene. Journal of Invertebrate Pathology 99 (2): 220:226.
- PETRIK, D.T., ISELI, A., MONTELONE, B. A., VAN ETEN, J. L., CLEM, R. J. 2003. Improving baculovirus resistance to UV inactivation: increased virulence resulting from expression of a DNA repair enzyme. Journal of Invertebrate Pathology (83): 50-56
- RANGEL, D. E., BRAGA, G. U., ANDERSON, A. J., ROBERTS, D. W. 2005. Influence of growth environment on tolerance to UV-B radiation, germination speed, and morphology of *Metarhizium anisopliae* var. *acridum* conidia. Journal of Invertebrate Pathology 90 (1): 55-58.
- RIVKIN H., KROEMER, J A., BRONSHTEN, A., BELAUSOV, E., WEBB, B. A., CHEJANOVSKY, N. J 2006. Response of immunocompetent and immunosuppressed *Spodoptera littoralis* larvae to baculovirus infection. Journal of General Virology 87: 2217-2225.
- RODRIGUEZ, M. L, GONGORA, C.E. 2005. Transformación de *Beauveria bassiana* cepa Bb9205 con los genes pr1A, pr1J y ste1 de *Metarhizium anisopliae* y evaluación de su patogenicidad sobre la broca del café. Revista Colombiana de Entomología 31: 51–58
- ROBERTS. D. W., ST LEGER, R. J. 2004 .*Metarhizium* spp., cosmopolitan insect-pathogenic fungi: mycological aspects. Advance Applied Microbiology 54:1-70.

- STAHLY, D. P., KLEIN M. G. 1992. Problems with *in vitro* production of spores of *Bacillus popilliae* for use in biological control of the Japanese beetle. *Journal of Invertebrate Pathology*. 60 (3): 283-291
- STEWART, L. M. D., HIRST, M. J., FERBER, M. L. J., MERRYWEATHER, A. T., CAYLEY, P. J., POSSEE, R. D. 1991 Construction of an improved baculovirus insecticide containing an insect-specific toxin gene. *Nature* 352: 85-88.
- ST. LEGER, R. J., COOPER, R. M., CHARNLEY, A. K., 1988. The effect of melanization of *Manduca sexta* cuticle on growth and infection by *Metarhizium anisopliae*. *Journal of Invertebrate Pathology* 52: 459-470.
- ST. LEGER, R. J., FRANK, D. C., ROBERTS, D. W., STAPLES, R. C. 1992. Molecular cloning and regulatory analysis of the cuticle-degrading-protease structural gene from the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae*. *European journal of Biochemistry* 204: 991-1001.
- ST. LEGER, R. J., SHIMIZU, S., JOSHI, L., BIDOCHKA, M., ROBERTS, D. W. 1995. Co-transformation of *Metarhizium anisopliae* by electroporation or using the gene gun to produce stable GUS transformants. *FEMS Microbiology Letters*, 131: 289-294.
- ST. LEGER, R. J., JOSHI, L., BIDOCHKA, M. J., ROBERTS, D. W. 1996a. Construction of an improved mycoinsecticide over-expressing a toxic protease. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 93: 6349-6354.
- ST. LEGER, R. J., JOSHI, L., BIDOCHKA, M. J., RIZZO, N. W., ROBERTS, D. W. 1996b. Characterization and Ultrastructural Localization of Chitinases from *Metarhizium anisopliae*, *M. flavoviride*, and *Beauveria bassiana* during Fungal Invasion of Host (*Manduca sexta*) Cuticle. *Applied and Environmental Microbiology* 62: 907-912.
- ST. LEGER, R. J., JOSHI, L., BIDOCHKA, M. J., RIZZO, N. W., ROBERTS, D. W. 1996c. Biochemical characterization and ultra structural localization of two extracellular trypsins produced by *Metarhizium anisopliae* in infected insect cuticles. *Applied and Environmental Microbiology* 62: 1257-1264.
- ST. LEGER, R. J., SCREEN, S. 2001. Prospects for strain improvement of fungal pathogens of insects and weeds. In: Butt T, Jackson C, Morgan N, eds. *Fungal biocontrol agents: Progress, problems and potential*. United Kingdom: CAB International: 219-238.
- ST. LEGER, R. J. 2007. *Metarhizium anisopliae* as a model for studying bioinsecticidal host pathogen interactions. In: Vurro M, Gressel. J, eds. *Novel Biotechnologies for biocontrol agent enhancement and management*. Netherlands: Springer:179-204.
- SNOW, A. A., ANDOW, D. A., GEPTS, P. E., HALLERMAN, M. J., POWER, A., TIEDJE, J. M., WOLFENBARGER L. L., (2005) GENETICALLY ENGINEERED ORGANISMS AND THE ENVIRONMENT: CURRENT STATUS AND RECOMMENDATIONS. *Ecological Applications*: Vol. 15, No. 2, 377-404 p.
- SUN, X., WANG, H., SUN, X., CHEN, X., PENG, C., PAN, D., JEHLE, J. A., VAN DER WERF, W., VLAK, J. M., HU, Z. 2004. Biological activity and field efficacy of a genetically modified *Helicoverpa armigera* SNPV expressing an insect-selective toxin from a chimeric promoter. *Biological Control* 29: 124-137.
- SUNN, X., CHEN, X., ZHANG, Z. 2002. Bollworm responses to release of genetically modified *Helicoverpa armigera* nucleopolyhedroviruses in cotton. *Journal of Invertebrate Pathology* 81: 63-69.
- RODRIGUEZ, M. L., GONGORA, C. E. 2005. Transformación de *Beauveria bassiana* cepa Bb9205 con los genes pr1A, pr1J y ste1 de *Metarhizium anisopliae*. Y evaluación de su patogenicidad sobre la broca del café. *Revista Colombiana de Entomología* 31: 51-58.

- WANG, C., HU, G., ST. LEGER, R. J. 2005. Differential gene expression by *Metarhizium anisopliae* growing in root exudate and host (*Manduca sexta*) cuticle or hemolymph reveals mechanisms of physiological adaptation. *Fungal Genetics and Biology* 42: 704-718.
- WANG, C., ST. LEGER, R. J. 2006. A collagenous protective coat enables *Metarhizium anisopliae* to evade insect immune responses. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 103 (17): 6647-6652.
- WANG, C., ST. LEGER, R. J. 2007a. Expressing an insect-specific scorpion neurotoxin makes *Metarhizium anisopliae* hypervirulent to mosquitoes and caterpillars. *Nature Biotechnology* 25: 1455–1456.
- WANG, C., ST. LEGER, R. J. 2007b. The MAD1 adhesin of *Metarhizium anisopliae* links adhesion with blastospore production and virulence to insects, and the MAD2 adhesin enables attachment to plants. *Eukaryotic Cell* 6 (5): 808-816.
- WANG, C., ST. LEGER, R. J. 2007c. The *Metarhizium anisopliae* Perilipin Homolog MPL1 Regulates Lipid Metabolism, Appressorial Turgor Pressure, and Virulence. *Journal of Biological Chemistry* 282: 21110-21115.
- WANG, C., DUAN, Z., ST. LEGER, R. J. 2008. MOS1 Osmosensor of *Metarhizium anisopliae* is required for adaptation to insect host hemolymph. *Eukaryotic Cell* 7(2): 302-309.
- WOOD, H. A., HUGHES, P. R., SHELTON, A., 1994. Field Studies of the Co-Occlusion Strategy with a Genetically Altered Isolate of the *Autographa californica* Nuclear Polyhedrosis Virus. *Environmental Entomology* 23(2): 211-219
- WOOD, H.A. 1996. Genetically enhanced baculovirus insecticides. In *Molecular Biology of the biological control of Pests and diseases of plants* Editors: M. Gunasekaran and D.J Weber .Pp 91-104. CRC press. Boca Raton.
- ZLOTKIN, E., FISHMAN, Y., ELAZAR, M. 2000. AaIT: from neurotoxin to insecticide. *Biochimie* 82(9-10): 869-881.

Simposio Biología Evolutiva

Coordinadores:

**Angela Amarillo, Ph. D.
Pontificia Universidad Javeriana y**

**Carlos Sarmiento, Ph. D.
Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.**

Indirect competition facilitates widespread displacement of one naturalized parasitoid of imported fire ants (Diptera: Phoridae: *Pseudacteon*) by another

Edward G. LeBrun, Robert M. Plowes, Lawrence E. Gilbert

University of Texas at Austin, USA. elebrun@mail.utexas.edu.

Species abundances in natural systems are usually close to some equilibrium making mechanisms that maintain or prevent species co-existence difficult to discern. Biological control projects provide an opportunity to observe systems transition between equilibriums as a result of the influence of the newly introduced species. In the southeastern United States and Texas, species of phorid fly parasitoids are being sequentially introduced as biological control agents for imported fire ants. The first two species introduced, *Pseudacteon tricuspidis* and *P. curvatus*, partition the host niche based upon body size, and co-exist broadly in their native range in Argentina, indicating they would form a co-existing and complementary suite of parasitoids in North America. This study examines the interaction between these parasitoids at multiple temporal and spatial

scales. Surprisingly, data at all scales reveal that as *P. curvatus* establishes at a site it competitively displaces *P. tricuspidis*. However, the speed of this reduction appears to differ between ecoregions, suggesting that the rate of displacement depends on environment. At the site where *P. curvatus* has been established the longest, this population interaction approaches complete displacement. Tests of potential mechanisms causing this displacement reveal that direct competition for host workers alters the operational sex ratio of the *P. tricuspidis* population, but the strength of this effect is insufficient to explain the displacement. Experiments reveal the operation of a strong, indirect effect whereby locally common species preempt reproductive opportunities from rarer species by inducing host behavioral defenses. Finally, a re-examination of published data from their native range reveals that a previously overlooked negative relationship between the densities of these two species also exists there, suggesting that the same processes as those reported here also operate in South America.

Especiación en lepidópteros: *Spodoptera frugiperda* un caso particular de especiación simpátrica

Speciation in Lepidoptera: *Spodoptera frugiperda* – a particular case of sympatric speciation

Clara Inés Saldamando Benjumea

MSc, PhD. Profesor Asociado, Facultad de Ciencias, Departamento de Biociencias, Universidad Nacional de Colombia, UNALMED, Calle 59A No. 63 - 20. Medellín, Colombia. Edificio 11-208. Fax 4309344.
cisaldam@unal.edu.co.

Palabras clave: Especiación simpátrica, biotipos, aislamiento reproductivo, *S. frugiperda*

Los lepidópteros son un orden de insectos que se ha caracterizado por presentar una amplia radiación adaptativa (Prowell 1998) y uno de los aspectos más llamativos en su proceso de diferenciación es el efecto del cromosoma sexual (X) sobre los genes que controlan los caracteres que diferencian sus especies, entre los que se encuentran genes del comportamiento, la morfología y la fisiología de estos insectos. Otro aspecto importante de los lepidópteros, es su coevolución con sus plantas hospederas (Dres y Mallet 2002), ya que éstas son utilizadas por las hembras para la oviposición de sus huevos y en algunos casos usados durante el cortejo del macho y el apareamiento de la pareja. Un gran número de ejemplos han sido utilizados para argumentar la importancia de la especiación simpátrica en la evolución de los insectos (Dres y Mallet 2002, Feder 1998, Prowell 1998, Martel *et al.* 2003), en particular, las polillas de varios grupos de familias, como por ejemplo: *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera, Pyralidae, Pyraustinae) la cual ha evolucionado dos razas asociadas al maíz y a la artemisia en Francia (Bourget *et al.* 2000 a,b; Martel *et al.* 2003), *Yponomeuta padellus* (Lepidoptera, Yponomeutidae) con plantas de espino y el ciruelo en Estados Unidos (Raijmann y Menken 2000), *Zeiraphera diniana* (Lepidoptera: Tortricidae) en plantas de alerce y pino en Europa (Emelianov *et al.* 1995, 2001) y *Spodoptera frugiperda* en Norte y Sur América (Lepidoptera, Noctuidae) asociada a maíz y arroz (Pashley 1986). Sin embargo, es importante mencionar que otros órdenes de insectos han mostrado este mismo tipo de coevolución, como el díptero *Ragholetis pomonella* que presenta una fuerte asociación a plantas de artemisia y de manzano (Feder 1998). Este insecto ha sido utilizado como el mejor ejemplo de especiación simpátrica debido a que su planta hospedera era la artemisia, pero con la introducción de árboles de manzano en los Estados Unidos, el insecto empezó a utilizarlo como un nuevo hospedero y en un tiempo de 50 años, esta raza de *R. pomonella* se dispersó en este país (Bush *et al.* 1989).

Las asociaciones a plantas hospederas muy posiblemente obedecieron un proceso de evolución gradual y lenta en la que una población ancestral sufrió de una o varias mutaciones neutrales que permitió la divergencia en dos subpoblaciones en simpatría o en alopatría. En el caso de que ocurriera una separación geográfica, las dos poblaciones evolucionarían barreras de aislamiento reproductivo y al momento de producir un contacto secundario generarían híbridos, esto, solo si éstas especies fueran incipientes, ya que de lo contrario, no generarían individuos intermedios entre ellos (híbridos), puesto que representarían especies verdaderas (Harrison 1998). En el caso de que las poblaciones divergentes produjeran híbridos, formarían zonas de hibridación unimodales o zonas de tensión (Barton y Hewitt 1985, Jiggins y Mallet 2001) en las cuales las barreras de aislamiento reproductivo no son tan evidentes como en el caso de las zonas bimodales.

Las zonas bimodales o mosaicas se caracterizan por poseer especies incipientes con barreras de aislamiento reproductivo fuertemente establecidas entre ellas, ejemplos de ellas son las zonas de

hibridación entre *Chorthippus brunneus* y *C. jacobsi* en España en las que ambas especies se ubican en diferentes parches en el rango de distribución de ambas especies, y por ello se dice que su estructura es mosaica (Bridle *et al.* 2001, Saldamando *et al.* 2005).

Por otro lado, en el caso de que no se generaran barreras geográficas entre las poblaciones divergentes, éstas podrían evolucionar barreras de aislamiento *in situ* o en simpatria, produciendo nuevas especies en ausencia de aislamiento geográfico, un ejemplo muy claro de este tipo de especiación, es la asociación de los insectos a sus plantas hospederas debido a que éstos muestran preferencias por diferentes plantas contiguas en el espacio (Dres y Mallet 2002) que con el paso del tiempo producirían nuevas especies en el futuro si evolucionan mecanismos de aislamiento reproductivo entre ellas en una misma localidad (Mayr 1963).

La coevolución entre los insectos y sus plantas hospederas han permitido producir una clasificación de los insectos dentro de diferentes categorías biológicas tales como “biotipos”, “razas hospederas” y finalmente “especies” y su diferenciación se basa en varios argumentos (Dres y Mallet 2002). Los biotipos son reconocidos porque son: a) poblaciones que presentan polimorfismos en pocos genes neutrales con poca evidencia de asociación a una planta hospedera, b) razas hospederas que en simpatria se diferenciaron genéticamente, pero que presentan poca evidencia de hibridación o flujo genético, c) verdaderas razas hospederas con diferenciación genética comprobada y con niveles significativos de hibridación, d) especies hermanas con diferenciaciones genéticas marcadas que muestran bajas tasas de hibridación o cuya hibridación no ocurre entre ellas. Por el contrario que las razas son: a) poblaciones con asociación a plantas hospederas marcadas, b) poblaciones que muestran fidelidad a su hospedero, c) poblaciones que coexisten en simpatria o por lo menos en parte de su rango de distribución, d) se diferencian genéticamente en más de un locus, e) son temporalmente y espacialmente replicables, lo que significa que sus poblaciones muestran asociación a hospederos en un amplio rango de distribución en el espacio y en el tiempo, f) muestran una correlación entre la preferencia hacia el hospedero y apareamiento asociativo y g) muestran algún grado de hibridación demostrando que presentan flujo genético entre ellos (Dres y Mallet 2002, Coyne y Orr 2004).

Por todas estas razones, *S. frugiperda* podría ser considerada como una especie incipiente, ya que ha evolucionado dos poblaciones que muestran asociación a plantas hospederas: el maíz y el arroz y algunos autores las categorizar como razas, ya que cumplen con la mayoría de los requisitos establecidos por Dres y Mallet (2002) y Coyne y Orr (2004). Esta polilla es particularmente importante, debido a que es considerada una plaga principal en el maíz, arroz, sorgo y pastizales en los Estados Unidos (Prowell 1998, Nagoshi y Meagher 2003, 2004, Nagoshi *et al.* 2007 a, b, 2008). A pesar de ello, la presencia de sus biotipos (denominados de esta manera por Pashley-Prowell en 1985) o sus razas (denominados de esta manera por Dres y Mallet 2002) no fue detectada sino hasta 1985 cuando Dorothy Pashley Prowell utilizó aloenzimas para genotipificar poblaciones de este insecto que mostraron una diferencia en su comportamiento alimenticio y fisiología hacia el maíz y el arroz en condiciones de laboratorio. Estas poblaciones mostraron diferenciación genética en un tipo de aloenzima denominada esterasa, dado que la presencia de los alelos de ciertas esterases fue coincidente con cada población de *S. frugiperda* (maíz o arroz) respecto a la planta hospedera donde fueron colectados. Las esterases B, C y D predominaron en poblaciones de *S. frugiperda* muestreadas en cultivos de maíz, mientras que las esterases E y F en poblaciones colectadas en cultivos de arroz (Prowell *et al.* 2004). Sin embargo, la fidelidad exclusiva de estas dos poblaciones de la polilla al maíz y al arroz no es extrema. La raza o biotipo de maíz también se ha encontrado en cultivos de algodón y sorgo y en muy bajas proporciones en el cultivo de arroz y la raza o biotipo de arroz en cultivos de arroz, pastos y pastos de bermuda y muy bajas proporciones en el cultivo de

maíz (Prowell *et al.* 2004, Nagoshi y Meagher 2003, 2004, Vélez-Arango *et al.* 2008). Por ello, se cree que la evolución de estas dos poblaciones se encuentra dentro de los primeros estadios de especiación, a diferencia de la mosca *Ragoletis pomonella*, que muestra una fidelidad exclusiva hacia sus dos hospederos (Feder 1998).

La explicación sobre la evolución de estos dos biotipos de *S. frugiperda* posiblemente no se debe a una especiación simpátrica de tipo ecológico únicamente, puesto que en condiciones de laboratorio cruces entre estos biotipos permitieron la obtención de líneas parentales y progenie híbrida con la que se realizaron experimentos de selección divergente en los hospederos que fue inconclusiva y por ello Pashley (1986) afirma que su diferenciación genética se debe más a una reducción de su flujo genético causado por otras barreras de aislamiento reproductivo que a una asociación al hospedero, por ejemplo por aislamiento precigótico de tipo temporal (Pashley *et al.* 1992) o diferenciación de sus feromonas (Groot *et al.* 2008).

Posteriormente, otros estudios basados en la fisiología y el comportamiento demostraron diferencias significativas entre estos biotipos (Pashley 1988, Veenstra *et al.* 1995) y a pesar de ello, los marcadores moleculares han sido la manera más confiable para distinguirlos (Pashley 1998). Las esterasas son básicamente marcadores diagnóstico de estas poblaciones, pero otros marcadores también han sido exitosos en la identificación de los biotipos entre ellos, la PCR-RFLP que actúa sobre el gen mitocondrial de la citocromo oxidasa (COI) con la enzima de restricción *MSPI*, ya que ésta genera productos de digestión en el biotipo de maíz únicamente (Nagoshi y Meagher 2003, Vélez-Arango *et al.* 2008) y la región en tandem FR que produce amplificación mayores a 500 pb únicamente en el biotipo de arroz exclusivamente (Lu *et al.* 1994, Nagoshi y Meagher 2003, Vélez-Arango *et al.* 2008). Adicionalmente, otras enzimas de restricción también han sido utilizadas para identificar estos biotipos (Levy *et al.* 2002) y marcadores de AFLP's (McMichael y Prowell 1999).

Un análisis basado en la distinción de los biotipos de *S. frugiperda* con el uso de aloenzimas y secuenciación del ADN mitocondrial demostró que en general existe una diferencia sustancial en el uso del hospedero por parte de cada biotipo, ya que el biotipo de maíz rara vez se encuentra en cultivos de arroz, mientras que el biotipo de arroz se encuentra en cultivos de maíz con mayor abundancia que el primero (Prowell 1998). Este comportamiento diferencial de fidelidad al hospedero también fue encontrado en Colombia por Vélez-Arango *et al.* (2008) (Figura 1) en el departamento del Tolima. El biotipo de maíz se encontró en una baja frecuencia en el cultivo de arroz y en altas proporciones en el cultivo de maíz, seguido del cultivo de algodón y finalmente el de sorgo, mientras que por el contrario el biotipo de arroz se encontró más frecuentemente en arroz, seguido de maíz y en muy bajas proporciones en los cultivos de sorgo y algodón. Aunque, la asociación de cada biotipo a su planta hospedera es evidente y significativa (Tabla 1) demostrando que ambas poblaciones de la polilla han evolucionado una asociación a diferentes hospederos en Colombia y que además esta asociación es general, ya que en otros países como Estados Unidos, Puerto Rico, Honduras, Guadalupe y Guyana francesa (Prowell *et al.* 2004) también se han reportado ambos biotipos asociados a los mismos hospederos que en Colombia y a su vez, como ocurrió en Colombia, se encontraron híbridos entre estos dos biotipos, puesto que se hallaron individuos con combinaciones de marcadores nucleares y mitocondriales pertenecientes a cada biotipo (Vélez-Arango *et al.* 2008). Esta hibridación aparentemente es restringida en los Estados Unidos, ya que Nagoshi y Meagher (2004) genotipificaron larvas y adultos de la Florida, observando que los híbridos colectados en la naturaleza, fueron producto de cruces entre hembras del biotipo de arroz y machos del biotipo de maíz y no del cruce recíproco. Sin embargo, Vélez-Arango *et al.* (2008) encontraron que ambos tipos de hibridación ocurren en Colombia, significando que el aislamiento reproductivo entre ellos difiere entre estos países.

El aislamiento reproductivo precigótico en *S. frugiperda* se ha encontrado en varios niveles: a) temporal, debido a que el biotipo de maíz tiende a aparearse las 2/3 primeras partes de la noche, mientras que el biotipo de arroz, la última tercera parte (Pashley *et al.* 1992), b) comportamental ya que las hembras de maíz rara vez se aparean con machos de arroz (Pashley y Martin 1987), c) ecológico, debido a que sus poblaciones muestran asociación a diferentes plantas hospederas (Dres y Mallet 2002), d) químico, puesto que se diferencian en cuanto a la concentración de los ácidos grasos de sus feromonas (Groot *et al.* 2008) y además postcigóticas, ya que sus híbridos muestran reducciones en su fitness respecto a sus parentales (Pashley y Martin 1987). Este aislamiento reproductivo observado por Pashley y sus colaboradores en los Estados Unidos, no se ha encontrado en otros experimentos similares realizados por Whitford *et al.* (1988), Quisenberry *et al.* (1991) y Nagoshi y Meagher 2003 a, b) quienes argumentan que no existen dichas barreras entre estos biotipos generándose resultados poco contundentes respecto a este tipo de aislamiento.

En Colombia los resultados preliminares de una tesis de maestría en Entomología, realizada por Velásquez- Vélez (2009) basada en el aislamiento reproductivo precigótico y postcigótico entre dos poblaciones de *Spodoptera frugiperda*, de maíz (biotipo maíz) y arroz (biotipo arroz) en el departamento del Tolima, comprobó que en general los biotipos de *S. frugiperda* no presentaron las barreras de aislamiento reproductivo precigótico temporal. Aunque, la tendencia de sus resultados demostraron que los individuos de maíz se aparean más temprano en la noche que los de arroz y que el tiempo que permanecen apareándose difiere, ya que los individuos de maíz se demoran más tiempo apareándose (casi el doble del tiempo) que los individuos de arroz (Tabla 3 y 4). Por otro lado, los biotipos de *S. frugiperda* del Tolima presentaron barreras de aislamiento reproductivo postcigótico respecto al: tiempo incubación de masa de huevos, tiempo de desarrollo larval, tiempo de vida del adulto (longevidad) y peso de las pupas de cada cruce demostrando que en general las líneas F1(1) y F2(2) tuvieron una reducción en el fitness o éxito reproductivo respecto a las líneas de maíz y arroz colectadas en el departamento del Tolima (Tabla 4 y 5), lo cual corrobora los resultados obtenidos por Pashley y Martin (1987) en poblaciones de *S. frugiperda* de biotipos de maíz y arroz de Louisiana (Estados Unidos). Es importante recalcar que la generación F2 (1) no produjo progenie, este cruce no fue exitoso entre los parentales de la F1 (1) x F1 (1), demostrando incompatibilidad reproductiva entre ellos.

Debido a que la evolución del aislamiento reproductivo de los biotipos de *S. frugiperda* aparentemente difiere entre los Estados Unidos y Colombia, vale la pena seguir estudiando los mecanismos de aislamiento entre los biotipos de *S. frugiperda* en nuestro país, y a su vez evitar el uso de las mismas estrategias de manejo utilizadas en otros países. Estudios previos sobre la resistencia a insecticidas y la endotoxina Cry1AC en estos biotipos han demostrado que su comportamiento difiere, puesto que en condiciones de laboratorio las larvas del biotipo del maíz han mostrado tener una mayor tolerancia a componentes de insecticidas como el carbaril, diazinon, cipermetrinas, metil paration y metiomil, además de cultivos de algodón transgénico al que se le ha introducido la endotoxina Cry1AC del *Bacillus thuringensis* (Adamczyk *et al.* 1997).

Lo anterior es relevante para el manejo del insecto, dado que estudios sobre el comportamiento de resistencia de los biotipos de *S. frugiperda* a insecticidas de poblaciones del Tolima ha mostrado que ambos difieren en cuanto su tolerancia hacia los insecticidas y a su vez que el biotipo de maíz del Tolima difiere en su tolerancia respecto a poblaciones venezolanas de maíz de *S. frugiperda*. Estos son los resultados preliminares de una tesis de maestría en Entomología de Juan Diego Ríos Díez, quien encontró que la LC50 de la lambdacialotrina en el biotipo de arroz fue de 31.16 ppm, SE = 3.13 y IC 95% entre 25.43-37.94, la cual difiere con la LC50 de la lambdacialotrina encontrada para el biotipo de maíz de 45.01 ppm, SE = 7.16 y IC 95% entre 33.1-62.97, significando que el biotipo de

maíz es más tolerante a este componente de insecticida comparado con el de arroz. Adicionalmente, Juan Diego encontró que la LC50 del metomil en el biotipo de arroz fue de 445.14 ppm, SE = 48.11 y IC 95% entre 355.97-547.0, la cual difiere con la LC50 encontrada para el biotipo de maíz que fue de 380.01 ppm, SE = 55.21 y IC 95% entre 275.1-495.89, demostrando que el biotipo de arroz es más tolerante a este componente de insecticida comparado con el de maíz. Respecto a la población venezolana colectada en cultivos de maíz, las concentraciones letales medias fueron de 17.5 ppm y IC 95% entre 9.6-32.5 respecto a la lambdacialotrina y de 396.2 y IC 95% entre 322.1-466 para el metomil, siendo las poblaciones venezolanas de este insecto más susceptibles a ambos insecticidas respecto a las poblaciones de maíz provenientes del departamento del Tolima (Morillo y Notz 2001).

Los resultados anteriores corroboran la importancia en modificar las estrategias del manejo de *S. frugiperda*, particularmente en su monitoreo, debido a su alta capacidad de dispersión (Nagoshi y Meagher 2004), por ello una tesis de maestría en Entomología, realizada por Haydi Salinas Hernández, sobre la identificación de haplotipos de este insecto, por medio de la secuenciación de un fragmento de casi 600 pb del gen de la citocromo oxidasa I (COI). Esta secuenciación se llevo a cabo, en larvas colectadas en cultivos de maíz, sorgo, algodón y arroz de los departamentos del Meta, Córdoba, Antioquia y Tolima. Este trabajo comprobó que existen tres haplotipos muy frecuentes en el país, especialmente el haplotipo 1 (Figura 2), el cual es común en todos los departamentos y cultivos mencionados. Este haplotipo representa el blanco más importante en el control del insecto dada su presencia en todos departamentos. Este trabajo, además, refleja la relevancia en establecer nuevo sistema de monitoreo del insecto con el uso de la secuenciación de este gen, ya que el monitoreo de éste se ha basado en uso de feromonas comerciales de las cuales no se tiene conocimiento sobre su origen y por lo tanto podrían atraer diferencialmente a los biotipos de *S. frugiperda*, puesto que en investigaciones previas ya se estableció que la composición de sus feromonas difiere (Groot *et al.* 2008) y por lo tanto su atracción es diferencial entre biotipos, como lo comprobó Pashley *et al.* (1992) en poblaciones naturales de *S. frugiperda* de Estados Unidos.

Al comienzo de este manuscrito se discutió la importancia del cromosoma sexual (x) en la especiación de los lepidópteros y en particular argumento que la especiación de *S. frugiperda* se dio en simpatría. Este tipo de especiación es muy difícil de comprobar dado el antagonismo existente entre la recombinación y la selección natural. La recombinación separaría las combinaciones de genes que controlan la preferencia por el hábitat del insecto con los genes que proveen mayor fitness en ese hábitat escogido (Coyne y Orr 2004), lo cual sería necesario que evolucionara en una especie asociada a una planta hospedera y que se podría cumplir bajo un modelo de especiación alopátrica, debido a que en alopatría el efecto de la recombinación (cruces entre las dos poblaciones divergentes) no se daría. Sin embargo, en el caso de los lepidópteros, entre ellos *S. frugiperda*, se ha comprobado que los genes relacionados con características el comportamiento (por ejemplo: escogencia de planta hospedera) y la fisiología (por ejemplo: fitness de los individuos asociados al hospedero), se encuentran en el cromosoma sexual, el cual no sufre de recombinación (Prowell 1998), por lo tanto el ligamiento genético entre éstos genes es plausible en esta especie ya que la recombinación no disociaría estos dos tipos de genes y la especiación simpatría podría dar (Prowell 1998) en todo su rango de distribución. Hasta el momento no se ha comprobado que un fenómeno de vicarianza genero la separación de los biotipos de *S. frugiperda* en Norte y Sur América y por lo tanto la diferenciación genética de sus biotipos se pudo producir *in situ* sin embargo este fenómeno de especiación puede variar de localidad en localidad, ya que en Colombia las barreras de aislamiento reproductivo entre estos biotipos difirieron con las barreras encontradas en los Estados Unidos, e igualmente su resistencia a insecticidas respecto a poblaciones venezolanas, lo que lleva a

concluir que el manejo del insecto no debería ser extrapolado de un país a otro, debido a que el proceso de especiación y adaptación de la especie difiere por localidad.

Agradecimientos

La autora expresa sus agradecimientos a la Universidad Nacional de Colombia, por su programa de convocatorias internas para apoyo de investigación y a Colciencias por el apoyo económico al investigador principal Clara I. Saldamando. También al Dr. Rafael Arango Isaza y al grupo de investigación de Biotecnología vegetal CIB-UNALMED y a los estudiantes involucrados en estas investigaciones: Ana Maria Vélez Arango, Haidy Salinas Hernández, Juan Diego Ríos Díez, Maria Isabel Velásquez Vélez y Mariela Isabel Lobo Hernández.

Literatura citada

- ADAMCZYK, J. R.; HOLLOWAY, J. J.; LEONARD, J. W.; GRAVES, J. B. 1997. Susceptibility of fall armyworm collected from different plant hosts to selected insecticides and transgenic *Bt* cotton. *Journal of Cotton Science* 1 (1): 21-28.
- BOURGUET D.; BETHENOD M-T.; PASTEUR N.; VIARD F. 2000a. Gene flow in the European corn borer *Ostrinia nubilalis*: implications for the sustainability of transgenic insecticidal maize. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 267: 117–122.
- BOURGUET D.; BETHENOD M-T.; TROUVÉ C.; VIARD F. 2000b. Host-plant diversity of the European corn borer *Ostrinia nubilalis*: what value for sustainable transgenic insecticidal *Bt* maize? *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 267: 1177–1184.
- BRIDLE, J.R.; BAIRD, S.J.E.; BUTLIN, R.K. 2001. Spatial structure and habitat variation in a grasshopper hybrid zone. *Evolution* 55: 1832–1843.
- COYNE J. A; H. A. ORR. 2004. Speciation. Sinauer Associates. Publishers, Sunderland Massachusetts.
- EMELIANOV, I.; MALLET, J.; BALTENSWEILER, W. 1995 Genetic differentiation in the larch budmoth *Zeiraphera diniana* (Lepidoptera: Tortricidae): polymorphism, host races or sibling species? *Heredity* 75: 416–424.
- EMELIANOV, I.; DRES, M.; BALTENSWEILER, W.; MALLET, J. 2001. Host-induced assortative mating in host races of the larch budmoth. *Evolution* 55, 2002–2010.
- DRES, M.; MALLET, J. 2002. Host races in plant-feeding insects and their importance sympatric speciation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of Science* 357: 471-492.
- FEDER, J. L. 1998 The apple maggot fly, *Rhagoletis pomonella*: flies in the face of conventional wisdom. En *Endless forms. Species and speciation* (ed. D. J. Howard & S. H. Berlocher), pp. 130–144. New York: Oxford University Press.
- LEVY, C. H.; GARCÍA-MARUNIAK, A.; MARUNIAK, J. 2002. Strain identification of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) insects and cell line: PCR-RFLP of cytochrome oxidase c subunit I gene. *Florida Entomologist* 85 (1): 186-190.
- LÓPEZ-EDWARDS, M.; HERNÁNDEZ-MENDOZA, J. L.; PESCADOR-RUBIO, A.; MOLINA-OCHOA, J.; LEZMA-GUTIERREZ, R.; HAMM, J. J.; WISEMAN, B. R. 1999. Biological differences between five populations of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) collected from corn in Mexico. *Florida Entomologist* 82 (2): 254-262.
- LU, Y. J.; KOCHERT, G. D.; ISENHOUR, D. J.; ADANG, M. J. 1994. Molecular characterization of a strain-specific repeated DNA sequence in the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Insect Molecular Biology* 3: 123–130.
- MARTEL C.; RÉJASSE A.; ROUSSET F.; BETHENOD M-T.; BOURGUET D. 2003. Host-plant-associated genetic differentiation in northern French populations of the European corn borer. *Heredity* 90: 141–149.

- MAYR, E. 1963. Animal species and evolution. Belknap Press, Cambridge. Massachusetts.
- MCMICHAEL, M.; PASHLEY, D. P. 1999. Differences in amplified fragment-length polymorphism in fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) host strains. *Annals of the Entomological Society of America* 92 (2): 175-181.
- MEAGHER, R. L.; GALLO-MEAGHER M. 2003. Identifying host strains of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) in Florida using mitochondrial markers. *Florida Entomologist*. 86 (4): 450-455.
- NAGOSHI, R. D.; MEAGHER, R. L. 2003a. Fall armyworm FR sequences map to sex chromosomes and their distribution in the world indicate limitations in interstrain mating. *Insect Molecular Biology* 12 (5): 453-456.
- NAGOSHI, R. D.; MEAGHER, R. L. 2003b. FR Tandem-Repeat Sequence in Fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) Host Strains. *Annals of the Entomological Society of America* 96 (3): 329-335.
- NAGOSHI, R. D.; MEAGHER, R. L. 2004. Behaviour and distribution of the two fall armyworm host strains in Florida. *Florida Entomologist* 87 (4): 440-448.
- NAGOSHI, R. D.; MEAGHER, R. L.; NUESSELY, G.; HALL, D. G. 2007 a. Effects of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) interstrain mating in wild populations. *Environmental Entomology* 35 (2): 561-568.
- NAGOSHI, R. D.; SILVIE, P.; MEAGHER, R. L.; LOPEZ, L.; MACHADO, V. 2007 b. Identification and comparison of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) host strains in Brazil, Texas, and Florida. *Annals of the Entomological Society of America* 100: 394- 402.
- PASHLEY, D. P. 1986. Host-associated genetic differentiation in fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) a sibling species complex? *Annals of Entomological Society of America* 79: 898-904.
- PASHLEY, D. P.; MARTIN, J.A. 1987. Reproductive incompatibility between host strains of the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). *Annals of Entomological Society of America* 80: 731-733.
- PASHLEY, D. P.; HAMMOND, A.M.; HARDY, T.N. 1992. Reproductive isolating mechanisms in fall armyworm host strains (Lepidoptera: Noctuidae). *Annals of Entomological Society of America* 85: 400- 405.
- PROWELL, D. P. 1998. Sex linkage and speciation in Lepidoptera. In D. Howard and S. Berlocher (eds). *Endless forms: species and speciation*. Oxford. NY. 309 - 319 p.
- PROWELL, D. P.; MCMICHAEL M.; SILVAIN J. F. 2004. Multilocus genetic analysis of host use, introgression and speciation in host strains of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). *Annals of Entomological Society of America* 97 (5): 1034-1044.
- RAIJMANN, L. E.; MENKEN, S. B. J. 2000 Temporal variation in the genetic structure of host-associated populations of the small ermine moth *Yponomeuta padellus* (Lepidoptera: Yponomeutidae). *Biological Journal of the Linnean Society*. 70, 555-570.
- SALDAMANDO, C. I.; TATSUTA, H; R. K. BUTLIN. 2005. Hybrids between *Chorthippus brunneus* and *C. jacobsi* (Orthoptera: Acrididae) do not show endogenous postzygotic isolation. *Biological Journal of the Linnaean society* 84:195-203.
- VÉLEZ-ARANGO, A. M.; ARANGO R. E.; VILLANUEVA, D.; AGUILERA, E.; C. I. SALDAMANDO. 2008. Identificación de biotipos de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) mediante marcadores mitocondriales y nucleares. *Revista Colombiana de Entomología* 34: 145-150.

Tabla 1. Tablas de contingencia para los marcadores moleculares COI, FR y los dos marcadores en conjunto sobre la distribución diferencial de los biotipos de *S. frugiperda* y sus híbridos en los cultivos de maíz, algodón, sorgo y arroz (*Significativo al 0.005).

Biotipo por Marcador	Maíz	Algodón	Cultivo Sorgo	Arroz	Total	χ^2	gl
Marcador COI							
Maíz	80	57	31	11	179		
Arroz	22	10	6	36	74	63.5*	3
Marcador FRa							
Maíz	64	55	30	16	165		
Arroz	38	12	7	31	88	32.9*	3
Marcadores COI + FRa							
Maíz	60	48	28	7	143		
Arroz	17	3	3	26	49		
Hibrido ++	21	9	3	4	37		
Hibrido --	4	7	3	10	24	76.64*	9

Tabla 2. Aislamiento precigótico comportamental medido como tiempo de apareamiento de los biotipos de maíz y arroz de *Spodoptera frugiperda*.

Línea	N	Tiempo para primer apareamiento (min)		Tiempo de apareamiento (min)	
		Promedio	Error estándar	Promedio	Error estándar
Maíz	10	181,1	10,81	148	7,05
Arroz	10	239,70	15,96	101,50	4,37

Tabla 3. Análisis del aislamiento precigótico temporal entre poblaciones de maíz y arroz de *S. frugiperda*.

Característica	Prueba Normalidad	Prueba de Igualdad de Varianzas	Prueba de Comparación
	Kolmogorov-Smirnov	Levene	T-test
Tiempo necesario para el primer apareamiento	N = 20; KS = 0,096; P>0,15	Levene 1,83 ; P = 0,193	T= -0,96; GL = 18, P =0,349
Tiempo de duración del primer apareamiento	N = 20; KS = 0,153; P>0,15	Levene 0,91 ; P = 0,352	T= 1.77; GL = 18, P =0,093

Tabla 4. Características del aislamiento postcigótico evaluado en líneas de *S. frugiperda* de maíz y arroz mantenidas en condiciones de laboratorio (NA = no aplica).

Línea	Promedio	SE	Promedio	SE	Promedio	SE	Promedio	SE	Promedio	SE	Promedio	SE
	Maíz N=15		Arroz N= 20		F1(1) N= 4		F2 N= 4		F1(2) N=4		F2 N=4	
Característica/Localidad	San Felipe* San Luís		Buenos Aires		♀maíz, ♂arroz		F1(1) x F1(1)		♀arroz, ♂maíz		F1(2) x F1(2)	
Tiempo de preoviposición (días)	3,46	0,47	3,78	0,38	6,25	2,72	NA	NA	3,00	0,58	4,00	0,81
Número de Posturas por hembra	2,33	0,70	3,35	0,69	2,75	0,50	NA	NA	3,25	0,48	2,25	0,75
Porcentaje de eclosión (%)	0,77		0,73		0,45				0,85		0,75	
Número de masas de huevos por hembra	3,10	0,08	2,47	0,03	2,00	0,16	0	0	1,46	0,06	2,56	0,06
Tiempo de incubación (días)	3,00	0,01	2,83	0,01	3,60	0,11	NA	NA	3,00	0,06	2,63	0,09
Número de Larvas que alcanzaron 3er instar	39,97	1,48	42,76	0,85	18,55	2,63	NA	NA	59,38	4,62	29,67	4,77
Tiempo de desarrollo larval (días)	20,46	0,17	21,48	0,09	17,67	0,77	NA	NA	17,56	0,34	21,75	0,33
Numero de larvas muertas	42,62	9,25	42,94	7,28	33,80	12,80	NA	NA	59,90	15,20	29,70	10,70
Tiempo de pupación (días)	10,48	0,29	10,95	0,27	10,66	0,33	NA	NA	10,38	0,18	12,11	0,48
Numero de adultos por postura	9,68	0,25	8,59	0,17	7,00	0,63	NA	NA	17,88	2,93	5,56	1,09
Número de machos	5,24	0,78	4,47	0,66	3,40	1,03	NA	NA	10,50	4,66	3,88	2,49
Número de hembras	4,48	0,66	4,14	0,58	3,60	0,87	NA	NA	7,38	3,60	2,38	1,24
Tiempo de vida machos (días)	5,82	0,16	10,33	0,37	8,25	0,59	NA	NA	7,50	0,25	9,75	0,66
Tiempo de vida hembras (días)	7,36	0,15	12,40	0,30	12,25	1,48	NA	NA	11,75	0,38	11,25	1,25
Pesos pupas hembras (g)	0,1797	0,0012	0,1842	0,0016	0,1701	0,0020	NA	NA	0,1569	0,0006	0,1541	0,0018
Peso pupas machos (g)	0,1833	0,0007	0,1800	0,0010	0,1971	0,0030	NA	NA	0,1682	0,0005	0,1711	0,0009

Tabla 5. Análisis estadístico del aislamiento postcigótico entre poblaciones de maíz y arroz de *S. frugiperda*

Característica	Normalidad Kolmogorov-Smirnov (Ks)	Igualdad de Varianza Bartlett (B), Levene (L)	Prueba estadística KW = Kruskal Wallis o Anova 1 vía
Tiempo de preoviposición	Media= 3.514 ds=1.407 N=37 Ks=0.183 P<0.01	B=1.19 P=0.88 L=0.17 P=0.953	KW H= 2.74 GL= 4 P= 0.601
Número de posturas	Media= 2.72 ds= 2.76 N= 47 Ks= 0.82 P<0.01	B=8.0 P=0.75 L=0.7 P=0.90	KW H=2.9 GL=4 P=0.594
Número de masas de huevos	Media= 2.450 ds=2.219 N=149 Ks=0.225 P<0.01	B=45.55 P<0.0001 L=3.83 P=0.003	KW H=16.31 GL=5 P=0.006
Número de larvas 3er instar	Media= 40.78 ds=51.80 N=134 Ks=0.216 P<0.01	B=6.43 P=0.169 L=0.70 P=0.592	KW H=6.72 GL=4 P=0.151
Número de larvas muertas	Media= 42.41 ds=47.81 N=100 Ks=0.188 P<0.01	B=3.26 P=0.516 L=0.19 P=0.943	KW H=4.79 GL=4 P=0.310
Número total de adultos	Media= 9.281 ds=10.13 N=96 Ks=0.196 P<0.01	B=32.81 P=0.0001 L=2.01 P=0.099	KW H=8.20 GL=4 P=0.084
Tiempo de desarrollo larval	Media= 20.76 ds=3.942 N=91 Ks=0.157 P<0.01	B=2.75 P=0.6 L=.25 P=0.907	KW H=8.76 GL=4 P=0.067
			Anova 1 vía F= 2.92 GL = 131,37 P= 0.039
Relación macho/hembra	Media= 1.453 ds=1.128 N=95	B=8.84 P=0.065 L=0.72	KW H=2.40 GL=4

	Ks=0.182	P=0.579	P=0.66
	P<0.01		
Tiempo en pupa	Media= 10.87	B=11.14	KW
	ds=1.557	P=0.025	H=7.05
	N=85	L=2.79	GL=4
	Ks=.0159	P=0.032	P=0.133
	P<0.01		
Tiempo de incubación	Media= 2.919	B=0.651	KW
	ds=0.565	P=0.164	H=11.15
	N=99	L=2.01	GL=4
	Ks=0.355	P=0.099	P=0.025
	P<0.01		
Longevidad de adultos	Media= 9.353	B=23.01	KW
	dsL=3.780	P=0.006	H=28.85
	N=68	L=1.91	GL=9
	Ks=0.169	P=0.069	P=0.001
	P<0.01		
Peso de las pupas (gr)	Media= 0.1727	B=11.12	KW
	ds=0.03442	P=0.267	H=32.95
	N=321	L=1.04	GL=9
	Ks=0.070	P=0.410	P=0.0001
	P<0.01		
		Anova 1 vía	
		F= 4.01	
		GL = 9,311	
		P= 0.0001	

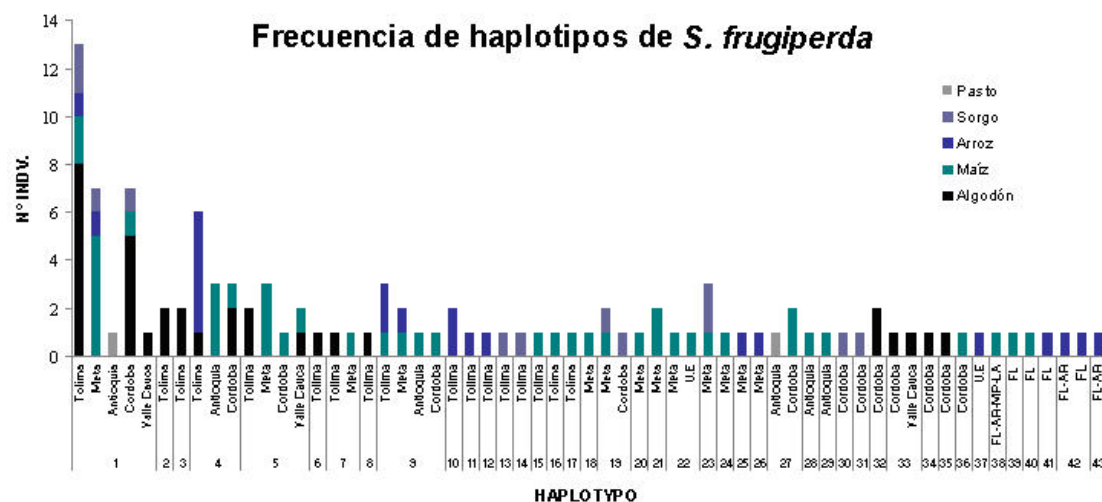


Figura 2. Distribución de haplotipos de *S. frugiperda* por cultivo muestreado en los departamentos de Tolima, Córdoba, Meta y Antioquia.

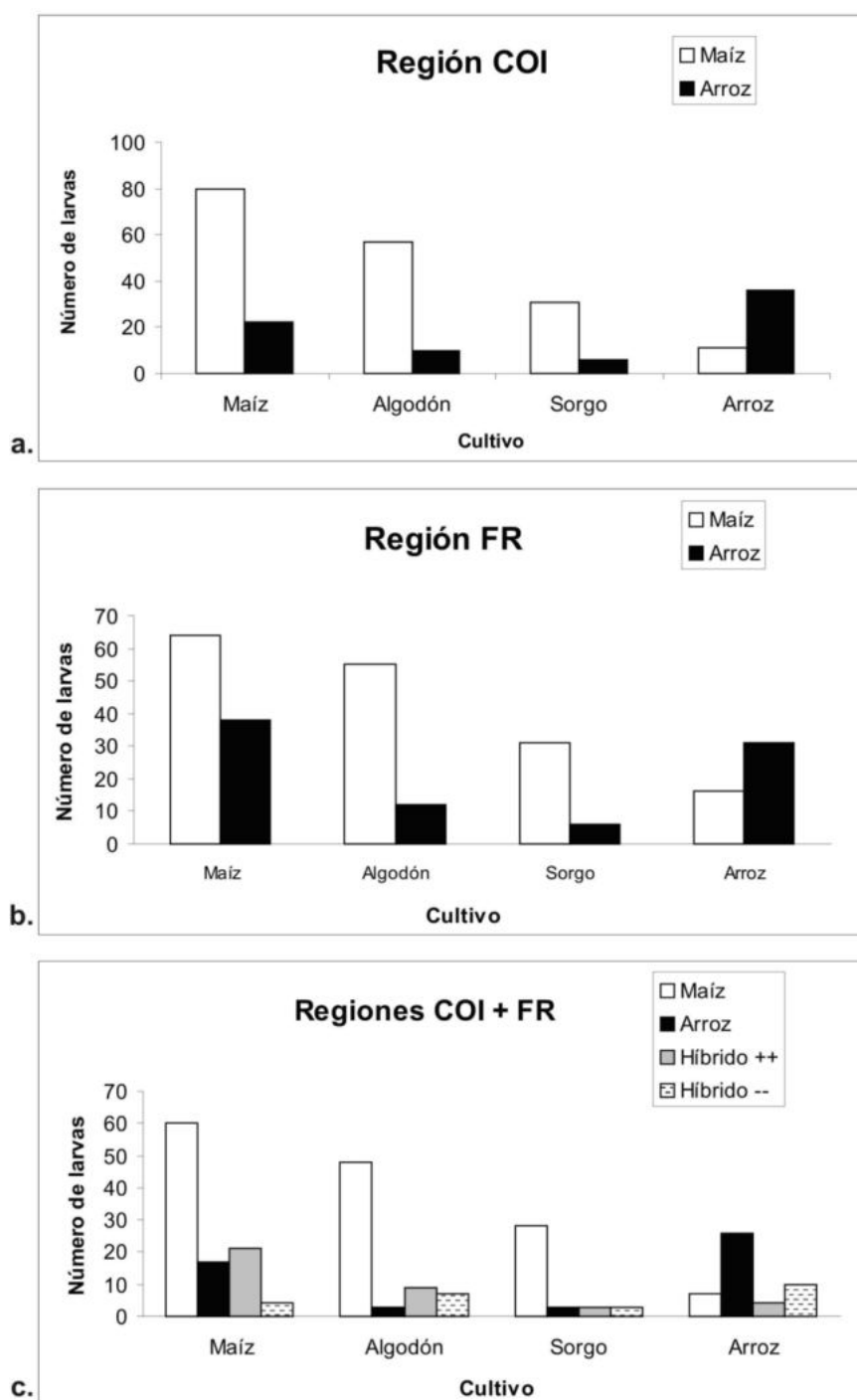


Figura 1. Individuos de *S. frugiperda* clasificados como biotipo de maíz y arroz. a) Distribución de biotipos por cultivo usando la región COI. b) Distribución de biotipos por cultivo usando la región FR. c) Distribución de biotipos e híbridos por cultivo usando las dos regiones. El biotipo de maíz se señala con color negro, el biotipo de arroz con color blanco, los híbridos positivos para ambos marcadores con color gris y los híbridos negativos para ambos marcadores con líneas punteadas.

Plasticidad fenotípica, adaptación local, y variabilidad: Posibilidades y restricciones de especiación en herbívoros

Phenotypic plasticity, local adaptation and variability: possibilities and restrictions in herbivore speciation

Angela R. Amarillo-Suárez

Departamento de Ecología y Territorio. Pontificia Universidad Javeriana-Bogotá. aamarillo@javeriana.edu.co

Las interacciones herbívoro planta son sin duda alguna el conjunto de interacciones más estudiadas en el campo de las interacciones ecológicas, representando el 75% de la biodiversidad global (Price, 2002), siendo los fitófagos aproximadamente la mitad de especies de insectos (Schoonhoven et al 2005). La herbivoría, entendida en su sentido más amplio como el consumo de material vegetal (tallos, raíces, semillas, hojas, flores, frutos, etc), puede generar relaciones que van desde el consumo de la planta de parte del herbívoro, en donde la planta sufre efectos negativos por el consumo de sus tejidos, hasta la conformación de asociaciones mutualistas en donde tanto la planta como el herbívoro se ven beneficiados de la interacción y en donde ésta es resultado de procesos coevolutivos. De hecho, algunos de los casos mejor documentados sobre coevolución corresponden a relaciones herbívoro-planta. Ejemplo de ello son las asociaciones de la polilla de la yuca (*Tegeticula yuccasella*) con plantas de Agave (*Yucca filamentosa*) (Thompson 1994, Olle y Liebmann-Mack 1999) las Acacias con sus especies de hormigas (Janzen 1966), y las avispas agaónidas y sus higos (Adicott et al 1990, Janzen 1979, Wiebes 1979), entre otros.

De acuerdo con el registro fósil, los primeros registros de herbivoría datan del Silúrico tardío al Devónico temprano hace 417 a 403 millones de años (Lavandeira, 2007).

El consumo de plantas por herbívoros está mediado por una serie de factores que determinan desde la posibilidad de encontrar la planta hospedera, pasando por el reconocimiento de ésta como una fuente de alimento, hasta su consumo efectivo, superando las barreras químicas y físicas que las plantas imponen. Esto conlleva a que tanto plantas como insectos hayan desarrollado una serie de estrategias que restringen o delimitan la interacción.

Desde el punto de vista evolutivo, la selección natural favorecerá aquellas plantas que protegen su potencial reproductivo. Es así como han evolucionado toda una serie de defensas (Agrawal, A Karban y Baldwin 1997), (constitutivas o inducidas, químicas o físicas, temporales o permanentes) que reducen la capacidad de los insectos para aprovechar el recurso. Así mismo, la selección natural favorecerá aquellos insectos que han evolucionado estrategias que les permiten sobreponerse a las defensas de las plantas y emplearlas como recurso alimenticio. Estas estrategias en los insectos comprenden procesos como la detoxificación de compuestos secundarios, la secuestración de compuestos secundarios y el consumo compensatorio (Karbon y Agrawal 2002) y el endurecimiento de estructuras bucales con mayores concentraciones de minerales como Magnesio y Zinc (Hillerton y Vincent 1982), entre otros.

Todas estas estrategias tanto de parte de los insectos como de las plantas han generado lo que en la literatura se conoce como “guerra armamentista” (Bercerra et al 2009) entre insectos y plantas, en donde el proceso de evolución de estas interacciones presupone que tanto plantas como insectos ejercen permanentemente selección sobre cada uno. Así, en las plantas surgen de manera continua

defensas que les permiten escapar a la presión de los insectos y por su parte, algunos insectos logran superar esas nuevas barreras aprovechamiento de nuevos recursos.

Esta guerra armamentista es tal vez el fenómeno que explica en mayor medida la altísima riqueza de herbívoros a través de procesos como el escape y radiación adaptativa y la coevolución de insectos y plantas. Procesos estos mediados por componentes biológicos, poblacionales y ecológicos dentro de los cuales la plasticidad fenotípica, la variabilidad genética y la adaptación local, juegan un papel fundamental.

La plasticidad fenotípica es entendida como la propiedad del genotipo para producir diferentes fenotipos bajo condiciones ambientales diferentes (Via, 1994). Se expresa mediante la norma de reacción que de manera gráfica representa las relaciones entre genotipo, fenotipo y ambiente. Contrario a la plasticidad, está el polimorfismo que representa la expresión de diferentes fenotipos como resultado diferentes genotipos. En el contexto de los herbívoros, la adaptación local hace referencia al proceso mediante el cual la adaptación a una planta como hospedero, restringe las posibilidades de adaptación de la población a otros hospederos. Esto, debido fundamentalmente a la evolución de “tarde-Foz”, que conllevarían a especialización en el uso de un recurso (Futuyma y Moreno 1988, Via 1991). Se esperaría entonces, que una población de herbívoro adaptada localmente a uno ó a un grupo de hospederos presentara efectos deletéreos en sus características de historias de vida cuando se someten al uso de nuevos recursos. Esto es, que se reduzcan su supervivencia y fecundidad, entre otros.

Sin embargo la manera como estos elementos se combinan es altamente variable, dependiendo de las particularidades de las especies involucradas en la interacción. A continuación se presentan dos estudios de caso que ejemplifican esta situación.

Caso 1. El áfido *Acyrtosiphon pisum*.

Es una especie generalista con poblaciones en los Estados Unidos que poseen como hospederos primarios dos especies: alfalfa (*Medicago sativa*) y trébol rojo (*Trifolium pratense*). Los áfidos se encuentran distribuidos en parches abiertos de granjas sin evidencia de barreras físicas a su movimiento entre hospederos (Via 2002). Análisis de la estructura de las poblaciones en simpatria demuestran que las poblaciones se encuentran localmente adaptadas a sus hospederos y que poseen un alto grado de diferenciación genética (Via 1991), facilitado por un escaso flujo génico entre ellas, un alto grado de especialización en el uso de cada hospedero y el apareamiento de los adultos en la planta hospedera (Via 1999, Via et al 2000). Estudios más recientes examinando poblaciones provenientes de ocho géneros diferentes en Inglaterra muestran patrones similares a los encontrados con las poblaciones y hospederos en Estados Unidos. Este alto grado de especialización y especificidad en el uso de hospedero ha llegado a que se considere la preferencia y fidelidad de hábitat como factores determinantes de la adaptación local y la posible especiación ecológica que pueda estarse dando en poblaciones de esta especie (Ferrari 2006).

Caso 2: El escarabajo *Stator limbatus*.

Considerada una especie generalista por que emplea cerca de 80 especies de leguminosas como hospedero a lo largo de su distribución (Sur occidente de Estados Unidos hasta noroccidente de Argentina) (Johnson et al, 1989, Morse 2005), las poblaciones en cada localidad sólo cuentan con unas pocas especies de hospederos disponibles. Pese a las diferencias genéticas encontradas entre poblaciones (Fox 1994, Fox et al 1994,) la alta variación en plasticidad fenotípica de este escarabajo (Fox 1994, Fox y Mousseau 1996, Fox et al 1999) genera patrones de diferenciación asimétricos en donde en

algunos casos hay evidencia de poblaciones localmente adaptadas a sus hospederos y en otros, las poblaciones no presentan evidencia de efectos deletéreos en la supervivencia ó fecundidad en hospederos alternativos (Amarillo-Suárez y Fox, 2006). Diferencias en las respuestas estarían mediadas por factores de la planta como la presencia de compuestos secundarios en las semillas, el tamaño y calidad de las semillas (Amarillo-Suárez *et al.* en preparación) y por factores de la biología del insecto tales como los efectos maternos, la plasticidad en el tamaño de los huevos que ovipositan (Czesak y Fox, 2003, Fox 2006, Fox *et al* 1997) y la detoxificación de compuestos secundarios. Análisis filogeográficos de las poblaciones muestran que la plasticidad fenotípica inicialmente pudo haber generado procesos de colonización de nuevos hospederos, que posteriormente dieron origen a una especie nueva, *Stator beali* (Morse y Farrel 2005), proponiéndose incluso la plasticidad en el tamaño de los huevos como un carácter ancestral que pudo facilitar la colonización de nuevos hospederos y en consecuencia la expansión de dieta en este escarabajo.

Literatura citada

- ADDICOTT, J.F, BRONSTEIN, J.L., KJELLBERG, F. 1990. Evolution of mutualistic life-cycles: yucca moths and fig wasps. In Gilbert F. (ed) Insect life cycles. Springer, Berlin Heidelberg New York. pp 143-161.
- AGRAWAL, A.A. 2007. Macroevolution of plant defense strategies. Trends in Ecology and Evolution 22:103-109.
- AMARILLO-SUÁREZ A.; FOX, C.W. 2006. Population differences in host use by a seed beetle: Local adaptation, phenotypic plasticity y maternal effects. Oecologia 150 (2): 247-258.
- BECERRA, J.; NOGE, K.; VENABLE, D.L. 2009. Plant and Insect Biodiversity Special Feature: Macroevolutionary chemical escalation in an ancient plant–herbivore arms race. Proceeding of the National Academy of Sciences. 106:18062-18066.
- CZESAK, M.E.; FOX, C.W. 2003. Evolutionary ecology of size and number in a seed beetle: Genetic trade-offs differ between environments. Evolution 57: 1121-1132.
- FERRARI, J.; CHARLES, H.; GODFRAY, J. FAULCONBRIDGE, A.S.; PRIOR, K.; VIA, S. 2006. Population differentiation and genetic variation in host choice among pea aphids from eight host plant genera. Evolution, 60(8): 1574-1584.
- FOX, C.W. 2006. Colonization of a new host by a seed-feeding beetle: Genetic variation, maternal experience, and the effect of an alternate host. Annales Zoologici Fennici 43: 239-247.
- FOX, C.W. 1994. Maternal and genetic influences on egg size and larval performance in a seed beetle: Multigenerational transmission of a maternal effect? Heredity 73: 509-517.
- FOX, C.W.; THAKAR, M.S; MOUSSEAU, T.A. 1997. Egg size plasticity in a seed beetle: An adaptive maternal effect. The American Naturalist 149: 149-163.
- FOX, C.W.; MOUSSEAU, T.A. 1996. Larval host plant affects the fitness consequences of egg size in the seed beetle *Stator limbatus*. Oecologia 107: 541-548.
- FOX, C.W.; Waddell, K.J.; Mousseau, T.A. 1994. Host-associated fitness variation in a seed beetle (Coleoptera: Bruchidae): Evidence for local adaptation to a poor quality host. Oecologia 99: 329-336.
- FOX, C.W, CZESAK, ME.; MOUSSEAU, T.A.; ROFF, D.A. 1999. The evolutionary genetics of an adaptive maternal effect: Egg size plasticity in a seed beetle. Evolution 53: 552-560.
- FUTUYMA, D.J. 2001. Ecological specialization and generalization. In: Fox CW, Roff DA, Fairbairn DJ (eds) Evolutionary ecology. Concepts and case studies. Oxford University Press, Oxford, pp 177–189.
- FUTUYMA, D.J.; MORENO, G. 1988. The evolution of ecological especialization. Annual Review of Ecology and Systematics. 19: 207-233.

- HILLERTON, J. E; VINCENT, J.F.V. 1982. The specific location of zinc in Insect mandibles. *Journal of experimental Biology*, 101:333-336.
- KARBAN, R.; BALDWIN, I.T. 1997. *Induced Responses to Herbivory*, University of Chicago Press.
- JANZEN, D. 1966. Coevolution of *mutualism between ants and acacias in Central America*. *Evolution* 20 (3): 249- 275.
- JANZEN, D. 1979. How to be a Fig. *Annual Review Ecology and Systematics* 10: 13-5.
- JOHNSON, C.D.; KINGSOLVER, J.M; TERAN, A.L. 1989. Sistemática del género *Stator* (Insecta: Coleoptera: Bruchidae) en Sudamérica. *Opera Lilloana* 37 J. M.105 p.
- KARBAN, R. AGRAWAL, A. 2002. Herbivore offense. *Review Ecology and Systematics*: 641-664.
- LABANDEIRA, C. 2007. The origin of herbivory on Land: initial patterns of plant tissue consumption by arthropods. *Insect Science* (2007) 14: 259-275.
- MORSE, G.; FARREL, B. 2005. Interspecific phylogeography of the *Stator limbatus* species complex: The geographic context of speciation and specialization. *Evolution* 59 (6): 1165-1388.
- OLLE, P.; LEEBENS-MACK, J. 1999. Forty million years of mutualism: Evidence for Eocene origin of the yucca-yucca moth association. *Proceeding of the National Academy of Sciences*. 96: 9178–9183.
- PRICE, P. 2002. Resource-driven terrestrial interaction webs. *Ecological Research*. 17 (2): 241-247.
- SCHOONHOVEN, L. M.; Van LOON, J.J.A.; DICKE, M. 2005. *Insect-Plant Biology*. Second edition. Oxford University Press. 421 p.
- THOMPSON, J. N. 1994. *The Coevolutionary Process*. University of Chicago Press. 376 pp.
- VIA, S. 1994. The evolution of phenotypic plasticity. What do we really know?. In: Real L.A (eds) *Ecological genetics*.
- VIA, S. 1991. The Genetic Structure of Host Plant Adaptation in a Spatial Patchwork: Demographic Variability among Reciprocally Transplanted Pea Aphid Clones. *Evolution* 45 (4): 827-852.
- VIA, S. 1999. Reproductive isolation between sympatric races of pea aphids. I. Gene flow restriction and habitat choice. *Evolution* 53 (5): 1446-1457.
- VIA S.; BOUCK, A.C.; SKILLMAN, S. 2000. Reproductive isolation between divergent races of pea aphids on two hosts. II. Selection against migrants and hybrids in the parental environments. *Evolution* 54(5): 1626-37.
- VIA, S.; HAWTHORNE, D.J. 2002. The Genetic Architecture of Ecological Specialization: Correlated Gene Effects on Host Use and Habitat Choice in Pea Aphids. *The American Naturalist*. 159 (Supplement march): S76-S88.
- WIEBES, J.T. 1979. Co-evolution of figs and their insect pollinators. *Annual Review Ecology and Systematics* 10: 1-12.

Especiación y morfología en insectos: Mucho que decir en una era de moléculas

Insect speciation and morphology: much to say in an era of molecules

Carlos E. Sarmiento

Ph. D. Profesor asistente. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia. A.A. 7495 Bogotá, Colombia. cesarmientom@unal.edu.co

Resumen: Dado que los procesos evolutivos y particularmente la especiación tienen su base en los caracteres heredados, pareciera que su comprensión solamente puede darse a través del estudio del ADN. En este trabajo se presentan tres áreas donde la morfología es particularmente importante para entender los fenómenos evolutivos que están ocurriendo: 1. La delimitación de especies, 2. El sustrato de la selección, y 3. La diferenciación de las especies. Estas consideraciones respaldan el desarrollo de líneas de investigación sobre especiación que hagan más integral la comprensión de estos fenómenos y donde los análisis morfológicos son requeridos.

Palabras clave: Taxonomía integrativa. Morfometría geométrica. Morfología funcional. Desplazamiento de carácter.

Abstract: Given that evolutionary processes, and specifically speciation, are based on heritable characters, it appears that only through the study of DNA these processes can be understood. This work presents three areas where morphology is particularly important to fully understand the evolutionary phenomena occurring: 1. species delimitation, 2. the substrate for selection, and 3. species differentiation process. These considerations back the development of research programs about speciation that provide a more integrative view of these phenomena and where morphological studies are required.

Key words: Integrative taxonomy. Geometric morphometrics. Functional morphology. Character Displacement.

Introducción

La malaria afecta cerca de 500 millones de personas en el mundo, es responsable por la muerte de alrededor de 2,7 millones al año y cerca de 40 especies de mosquitos del género *Anopheles* son responsables de su transmisión. Prácticamente cada una de estas especies presenta un cuadro de comportamientos, fisiologías y características que les son únicos de manera que su control sólo es posible si se conoce su biología con precisión, sobretodo, si se puede asignar a cada individuo a una entidad taxonómica definida. En otras palabras, para manejar esta problemática debe haber una base taxonómica sólida.

La identificación de las especies de *Anopheles* inicialmente dependió de la diferenciación morfológica pero con el tiempo fue cada vez más evidente que las descripciones tradicionales no coincidían con patrones de comportamiento y, más importante aún, con la capacidad vectorial de los mosquitos. Nos enfrentábamos a un caso más donde la aproximación morfológica tradicional no es suficiente y donde los estudios de ADN ofrecían una respuesta contundente; la caracterización molecular de las especies ofrecía límites evidentes para separar lo que en biología evolutiva y en sistemática conocemos como especies crípticas (Krzywinski y Besansky 2003). Este éxito del ADN para solventar problemas

sistemáticos se extendió al punto de existir hoy iniciativas como la del código de barras que busca sintetizar la diferenciación de las entidades biológicas a partir de las diferencias en las secuencias de pequeños fragmentos de ADN (Barcode of life 2010).

Otro factor que ha contribuido a desarrollar fuertemente el estudio de la especiación y de la evolución como un problema de ADN está en el núcleo de las explicaciones evolutivas del origen de las especies donde la interrupción del flujo génico es el factor determinante de la especiación y por tanto medir el flujo génico es acceder al núcleo del proceso (Futuyma 2005). De hecho, para algunos autores evolución se definía como cambio en las frecuencias alélicas. Este panorama lleva a plantear si tiene validez continuar haciendo estudios morfológicos en trabajos orientados a entender la especiación y evolución. En este documento se muestran tres consideraciones que destacan el papel de la morfología como un área que tiene un valor intrínseco en la comprensión de la especiación.

La delimitación de las especies

Las extensas discusiones acerca de la especie han llevado a múltiples posiciones, en ocasiones irreconciliables, sobre cómo establecer los límites entre estas unidades taxonómicas. Los últimos desarrollos tecnológicos proponen incluso que la delimitación de especies puede simplificarse a la aplicación de un índice de similitud arrojado a partir de las secuencias de un pequeño fragmento de ADN. La iniciativa del código de barras ha llegado a tener fuertes proponentes que califican los trabajos morfológicos como actividades mediocres (Packer *et al.* 2009); sin embargo, es interesante anotar que incluso en los mejores ejemplos de identificación de especies que usan la estrategia de código de barras como el estudio con la mariposa *Astraptes fulgerator* (Hesperiidae) o de los dípteros taquínidos del género *Belvosia* se han apoyado en evidencia adicional como variación morfológica y aspectos de biología y ecología (Smith *et al.* 2006). Por otra parte, además de las críticas conceptuales sobre esta aproximación del código de barras (Holynski 2010), también hay trabajos que demuestran situaciones donde esta joven metodología no es precisa o peor aún incorrecta (Song *et al.* 2008; Trewick 2008): Dayrat (2005) toma en su lugar una posición mucho más holística y quizás prudente sugiriendo que la definición de las unidades de la evolución debe seguir una aproximación que integre evidencia de diversas fuentes, ecología, comportamiento, fisiología, morfología y por supuesto datos moleculares.

El análisis de datos morfológicos ha sufrido una revolución en los últimos treinta años. Después de las descripciones cualitativas de la forma, las cuales dependían fuertemente del juicio o capacidades perceptuales de los investigadores, hemos pasado a desarrollar herramientas altamente refinadas que permiten analizar la variación en la forma. La morfometría geométrica es quizás una de estas áreas y existen muy buenos ejemplos donde esta herramienta ha logrado identificar diferencias entre entidades difíciles de separar a primera vista.

Mientras que Gómez y colaboradores (2010) detectan serios problemas para identificar en Colombia especies de *Anopheles* usando las claves tradicionales, Calle y colaboradores (2008), a partir de un análisis de morfometría geométrica de las alas, diferencian exitosamente 11 especies del género *Anopheles* que regularmente presentan problemas de solapamiento. El poder de estas nuevas herramientas es más evidente en un contexto que casi por definición sugeriría su exclusión, las especies crípticas. Tres ejemplos son dicientes: por un lado McNamee (1993) identifica diferencias morfométricas consistentes en lo que hasta la fecha era considerado un campo imposible, la distinción entre las hembras de *Drosophila melanogaster* y *D. simulans*. Otro caso es desarrollado por Yukilevich y True (2008) quienes utilizan fuertes elementos de diferenciación morfológica, además de comportamiento y feromonas, para identificar procesos de apareamiento selectivo y diferenciación entre poblaciones de, una vez más, *Drosophila melanogaster*. Por su parte, Adams y Funk (1997) estudiando mediante

morfometría geométrica una especie de Chrysomelidae hasta la fecha señalada como variable y polífaga, encuentran fuerte evidencia de especies crípticas. Es entonces claro que análisis morfológicos rigurosos adelantados con metodologías precisas pueden ofrecer información valiosa acerca de la individualidad de las especies y de sus niveles de diferenciación incipiente.

Es esta conclusión la que permite identificar diferencias poblacionales relacionadas con factores clave en los procesos de especiación. Prieto y Polanco (2008) han identificado cambios poblacionales en especies de *Drosophila* a lo largo de rangos geográficos que sugieren procesos incipientes de separación. Así mismo, García *et al.* (2008) identifican que hay diferenciación morfológica entre poblaciones de especies de avispas sociales y que estas diferenciaciones están relacionadas con la estructura social de estas especies y no con su distanciamiento geográfico.

El sustrato de la selección

Dos aspectos muestran la importancia de considerar las diferencias fenotípicas y no solo las diferencias genéticas cuando se comparan poblaciones con miras a identificar procesos incipientes de separación de poblaciones. Por un lado la relación entre genotipo y fenotipo y por el otro la relación entre fenotipo y funcionalidad. Estas dos están conectadas en lo que se convertirá en el sustrato de la Selección Natural.

El modelo gradualista o infinitesimal del proceso evolutivo desarrollado a comienzos de siglo XX por personajes como Ronald Fisher establecía una relación lineal simple entre un alelo y su fenotipo donde cada variante y cada gen aportan aditivamente a la variación del fenotipo (Orr 2005). No obstante, esas relaciones fenotipo-genotipo son mucho más complejas pues descubrimientos recientes indican que hay desde cambios puntuales con efectos dramáticos en el fenotipo, hasta extensivos cambios en el genoma que apenas se expresan (Barton y Partridge 2000; Minelli 2003; Orr 2005). Es el caso de los genes homeóticos Hox del pez *Gasterosteus aculeatus* L., 1758 que a pesar de tener la mayor importancia en grandes regiones corporales, muestran altos niveles de variación en los dominios de expresión que no se reflejan en el fenotipo (Minelli 2003).

Esta complejidad en la interacción entre los genes requeridos para la expresión de un fenotipo, permitió a Schlosser (2002) plantear que las unidades de selección no son solamente los genes individuales y sus mutaciones puntuales sino también los grupos de genes que interactúan modularmente. Esta visión modular tiene al menos dos consecuencias importantes que pueden cuestionar la relación directa que algunos autores sugieren cuando relacionan diferenciación genética con procesos incipientes de diferenciación de nicho: por un lado, el efecto de genes individuales puede verse oscurecido por el módulo de genes en el que se encuentren y por el otro, cambios en la interacción de los módulos pueden tener fuertes efectos en los fenotipos a pesar de que los genes cambien poco. Esto significa además que una estructura puede aparecer más de una vez en la historia evolutiva de un taxon como ocurrió con los insectos palo o phásmidos donde se identificó que las alas han aparecido y desaparecido repetidas veces a lo largo de su filogenia (Whiting *et al.* 2003). Así mismo los trabajos de Gompel *et al.* (2005) sugieren que el surgimiento de una misma morfología de las alas de *Drosophila* puede resultar de reorganizaciones de los mismos genes.

Por otra parte, hay abundante evidencia que relaciona procesos de formación de especies y su diferenciación morfológica. Sandoval y Crespi (2008) muestran como cada especie del género *Timema* de insectos palo presenta cambios en sus patrones de coloración asociados al ambiente donde se desenvuelven, de manera que las modificaciones de coloración son una adaptación manifiesta a los cambios de hábitat; especies que habitan en plantas con hojas lanceoladas tienen delgadas bandas de color mientras que las especies que habitan en plantas de hojas anchas tienen coloración uniforme.

Por otra parte, en tanto que el desempeño de las estructuras es responsable del éxito reproductivo del individuo, es vital que se comprenda la funcionalidad de las estructuras a fin de determinar posibles fuentes de diferenciación y el papel de la selección en ella. Ferry-Graham y colaboradores (2002) demuestran como la morfología funcional debe ser un componente principal en el estudio de procesos incipientes de especiación pues así es posible entender las implicaciones de la diferenciación morfológica observada. Estos autores concentran sus esfuerzos precisamente en el origen de la especialización aunque desafortunadamente su objeto de estudio son los peces y no se conocen trabajos específicos en insectos. Quizás los estudios más cercanos son aquellos desarrollados en hormigas donde se han establecido relaciones entre las variables morfométricas y los gremios alimentarios (Silva y Brandao 2010)

La diferenciación de especies

Esta sección está cercanamente relacionada con la anterior pues la teoría establece que grupos de especies incipientes sufren procesos de diferenciación bien sea por competición o por selección disruptiva en aras a reducir competencia, es decir que aquellos individuos más diferenciados pueden tener mayor eficacia reproductiva (Pfennig *et al.* 2007). Esto implica que la identificación de procesos de especiación puede recurrir a eventos de diferenciación morfológica como una fuente importante de evidencia. De hecho, hay muchos casos de múltiples eventos de especiación que están relacionados con cambios en la morfología; es clásico el estudio de la radiación adaptativa de los peces cíclidae del lago Victoria en África (Verheyen *et al.* 2003) o el reciente trabajo de Carlson *et al.* (2009) con peces del género *Percina* donde se muestra que la diferenciación morfológica es mayor en simpatría.

Son muchos los trabajos en insectos que han identificado procesos de diferenciación morfológica que son plenamente consistentes con eventos de especiación incipiente. Leys y colaboradores (2003) documentan que las comunidades de Dytiscidae (Coleoptera) que habitan en una intrincada región de acuíferos subterráneos de Australia manifiestan múltiples eventos de diferenciación morfológica cuando se encuentran en simpatría lo que sugiere procesos de selección disruptiva. Un estudio particularmente interesante es el de Kawano (2002) quien fundamenta en evidencia geográfica y morfológica todos sus hallazgos y premisas sobre un proceso de desplazamiento de carácter y en últimas especiación en escarabajos cornudos. Luego de un muestreo intensivo en muchas localidades, Kawano muestra como las poblaciones se diferencian más en sitios simpátricos que en lugares alopátricos.

Tynkkynen *et al.* (2004) documentan un caso muy interesante en la libélula *Calopteryx splendens* (Harris, 1780) (Calopterygidae). Estos autores muestran como fallas en el reconocimiento de especies generan diferenciaciones y desplazamiento de caracteres que reducen hibridaciones no deseadas. Los machos de *C. splendens* presentan manchas alares que son fundamentales en la atracción de las hembras y el tamaño de estas manchas tiene fuerte influencia en sus posibilidades reproductivas de manera que los machos son seleccionados a favor de un aumento en el tamaño de las manchas alares; no obstante, en sitios donde esta especie se encuentra con machos de *Calopteryx virgo* (L., 1758), la situación cambia radicalmente pues tienen manchas grandes en sus alas y son mucho más agresivos con lo que desplazan a los machos de *C. splendens*. La respuesta en las poblaciones de *C. splendens* es a una reducción en el tamaño de las manchas alares en condiciones de maximizando las posibilidades de reconocimiento inter e intraespecífico.

En un sentido diferente, los estudios alrededor de procesos de hibridación también han utilizado fuertemente caracteres morfológicos como fuente de evidencia. Gatto y colaboradores por ejemplo

(2008) encuentran cambios morfológicos consistentes con un proceso de hibridación entre especies Chrysomelidae del género *Gonioctena* en los que los genitales de los individuos híbridos muestran evidencias de este proceso que son consistentes con la diferenciación genética hallada.

No obstante, este proceso no es siempre universal y quizás el estudio más riguroso publicado es el de Adams y colaboradores (2009) quienes encuentran que la tasa de diferenciación morfológica no necesariamente está de la mano con la tasa de especiación de un grupo. Por otro lado, detalladas simulaciones establecen que la fuerza del proceso de competición no es directamente proporcional a la intensidad de la separación de las poblaciones pues el efecto de la selección disruptiva y de otros factores puede alterar seriamente las tendencias iniciales (Burger *et al.* 2006). Una consecuencia interesante y paradójica de este estudio es que la diferenciación entre poblaciones no necesariamente implica que solo las entidades bajo competencia mostrarán diferenciación morfológica. Por esta razón es necesario hacer estudios cuidadosos que contemplen otras fuentes de evidencia adicional a la diferenciación morfológica.

A modo de cierre

Este documento presenta abundante evidencia que muestra la plena vigencia de los análisis morfológicos para estudiar un tema clave en la biología moderna como es la especiación. Desde los estudios morfométricos modernos que permiten reconocer rigurosamente incluso especies crípticas, pasando por la relación indiscutible entre selección y fenotipo y llegando a un concepto tan central al tema de especiación como es el de desplazamiento de carácter, podemos afirmar que los estudios morfológicos son una parte importante e ineludible para el entender la especiación. Claro está que en esta propuesta no desea, desde la otra orilla, llegar a afirmaciones tan absurdas como aquella que califica la morfología como una actividad mediocre (Packer *et al.* 2009). Existen múltiples casos donde las herramientas moleculares son la mejor opción para separar especies, y es la visión integradora del trabajo taxonómico, como planteamos originalmente, la aproximación más madura. Es claro también que la relación forma función puede tener muchos elementos que hacen compleja su comprensión y de eso da cuenta un concepto como el de equivalencia funcional propuesto por Wainwright (2007) el cual define que una estructura compleja puede desempeñar la misma función a partir de diversas combinaciones de sus partes. Además las especies pueden presentar diferencias que no se aprecien en su morfología; no obstante, la abrumadora cantidad de evidencia sugiere fuertemente que los estudios morfológicos mantienen plena vigencia en temas de punta dentro de las ciencias de lo viviente.

Literatura citada

- ADAMS, D.; C. M. BERNIS; K. H. KOZAK; J. J. WIENS. 2009. Are rates of species diversification correlated with rates of morphological evolution? *Proceedings of the Royal Society of London, Series B* 276:2729–2738
- ADAMS, D.; D. FUNK. 1997. Morphometric inferences on sibling species and sexual dimorphism in *Neochlamisus bebbianae* leaf beetles: multivariate applications of the thin-plane spline. *Systematic Biology* 46 (1): 180-914.
- BARCODE OF LIFE. 2010. The barcode of life. <http://www.barcodeoflife.org/what-is-dna-barcoding/> [Fecha de revisión 18 junio 2010]
- BARTON N.; L. PARTRIDGE. 2000. Limits to natural selection. *Bioassays* 22: 1075-1084.
- BURGER, R.; K. A. SCHNEIDER; M. WILLENSDORFER. 2006. The conditions for speciation through intraspecific competition. *Evolution* 60 (11): 2185–2206

- CALLE, D.; QUIÑONES M.; ERAZO H.; N. JARAMILLO. 2008. Diferenciación morfométrica de *Anopheles*. Discriminación por morfometría geométrica de once especies de *Anopheles* (*Nyssorhynchus*) presentes en Colombia. *Biomédica* 28: 371-85.
- CARLSON, R.L.; WAINWRIGHT, P.C.; T.J. NEAR. 2009. Relationship between species co-occurrence and rate of morphological change in *Percina* darters (Percidae: Etheostomatinae). *Evolution* 63 (3): 767-778.
- DAYRAT B. 2005. Towards integrative taxonomy. *Biological Journal of the Linnean Society* 85: 407–415.
- DE POLANCO, M.; R. PRIETO; L. F. GALINDO; L. A. LOZANO; M. ORDÓÑEZ. 2008. Análisis morfométrico en especies de *Drosophila* (Diptera: Drosophilidae) del grupo repleta de ecosistemas semiáridos colombianos. *Revista Colombiana de Entomología* 34 (1): 105-109.
- FERRY-GRAHAM, L.; D. BOLNICK, P. C. WAINWRIGHT. 2002. Using Functional Morphology to Examine the Ecology and Evolution of Specialization. *Integrative and Comparative Biology* 42: 265-277.
- FUTUYMA, D. *Evolution*. Sinauer. Sunderland; 2005. 603pp.
- GARCÍA, Z; C. E. SARMIENTO; S. ROJAS. 2008. Social Organizational Influences on the Morphologic Differentiation in Polistinae Wasps (Hymenoptera: Vespidae). 51 (2): 473- 489.
- GATTO, L.; P. MARDULYN; J. M. PASTEEL. 2008. Morphological and mitochondrial DNA analyses indicate the presence of a hybrid zone between two species of leaf beetle (Coleoptera; Chrysomelidae) in Southern Spain. *Biological Journal of the Linnean Society* 94: 105–114.
- GÓMEZ, G; A. V. CIENFUEGOS; L. A. GUTIÉRREZ; J. CONN; M. CORREA. 2010. Análisis morfológico y molecular evidencia problemas al identificar *Anopheles nuneztovari* (Diptera: Culicidae) por claves dicotómicas Morphological. *Revista Colombiana de Entomología* 36 (1): 68-75.
- GOMPEL, N; PRUD'HOMME, B; WITTKOPP, P; KASSNER, V; CARROLL S. 2005. Chance caught on the wing: cis-regulatory evolution and the origin of pigment patterns in *Drosophila*. *Nature* 433:481-487.
- HOŁYŃSKI R. 2010. Taxonomy and the Mediocrity of DNA Barcoding – Some Remarks on PACKER *et al.* 2009: DNA Barcoding and the Mediocrity of Morphology *Arthropod Systematics & Phylogeny* 68 (1) 143 – 150
- KAWANO, K. 2002. Character Displacement in Giant Rhinoceros Beetles. *The American naturalist* 159 (3): 255-271.
- KRZYWINSKI J; N. J. BESANSKY. 2003. Molecular systematics of *Anopheles*: From Subgenera to Subpopulations. *Annual Review of Entomology* 48: 111-139.
- LEYS, R.; C. H. S. WATTS; S.J. B. COOPER; W. F. HUMPHREYS. 2003. Evolution of subterranean diving beetles (Coleoptera: Dytiscidae: Hydrophilini, Bidessini) in the arid zone of Australia. *Evolution* 57(12): 2819-2834
- MACNAMEE, S. 1993. Morphometric discrimination of the sibling species *Drosophila melanogaster* (Meigen) and *D. simulans* (Sturtevant) (Diptera, Drosophilidae). *Systematic Entomology* 18 (3): 231-236.
- MINELLI, A. 2003. *The development of animal form*. Cambridge Univ. Press. Cambridge. 321p.
- ORR, A. 2005. The genetic theory of adaptation: a brief history. *Nature Review Genetics* 6: 119-127.
- PACKER, L.; J. GIBBS; C. SHEFFIELD; R. HANNER. 2009. DNA barcoding and the mediocrity of morphology. *Molecular Ecology Resources* 9 (Suppl. 1): 42–50.
- PFENNIG, D; A. M. RICE; R. A. MARTIN. 2007. Field and experimental evidence for competition's role in phenotypic divergence. *Evolution* 61 (2): 257-271.
- SANDOVAL, C.; B. CRESPI. 2008. Adaptive evolution of cryptic coloration: the shape of host plants and dorsal stripes in *Timema* walking-sticks. *Biological Journal of the Linnean Society* 94: 1–5.
- SCHLOSSER, G. 2002. Modularity and the units of evolution. *Theory in Bioscience* 121: 1-80.
- SILVA, R.; C. R. F. BRANDAO. 2010. Morphological patterns and community organization in leaf-litter ant assemblages. *Ecological Monographs*, 80(1): 107–124

- SMITH, A; N. WOODLEY; D. H. JANZEN; W. HALLWACHS; P. D. N. HEBERT. 2006. DNA barcodes reveal cryptic host-specificity within the presumed polyphagous members of a genus of parasitoid flies (Diptera: Tachinidae). *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*. 103 (1): 3657-3662.
- SONG H.; J. E. BUHAY; M. F. WHITING; K. A. CRANDALL. 2008. Many species in one: DNA barcoding overestimates the number of species when nuclear mitochondrial pseudogenes are coamplified. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*. 105 (36): 13486-13491.
- TREWICK S. 2008. DNA Barcoding is not enough: mismatch of taxonomy and genealogy in New Zealand grasshoppers (Orthoptera: Acrididae). *Cladistics* 24: 240–254.
- TYNKKYNEN, K.; M. J. RANTALA; J. SUHONEN. 2004. Interspecific aggression and character displacement in the damselfly *Calopteryx splendens*. *Journal of Evolutionary Biology* 17: 759–767
- VERHEYEN, E.; W. SALZBURGER; J. SNOEKS; A. MEYER. 2003. Origin of the Superflock of Cichlid Fishes from Lake Victoria, East Africa. *Science* 300 (5617): 325 - 329
- WAINWRIGHT P. 2007. Functional versus morphological diversity in macroevolution. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics* 38: 381-401.
- WHITING, M; BRADLER, S.; MAXWELL T. 2003. Loss and recovery of wings in stick insects. *Nature* 421: 264-267.
- YUKILEVICH, R.; TRUE J.R. 2008. African morphology, behavior and pheromones underlie incipient sexual isolation between us and Caribbean *Drosophila melanogaster*. *Evolution* 62 (11): 2807-2828

Simposio MIP ornamentales de corte

Coordinador:

**Edison Torrado-León, M.Sc.
Director General NaturaVisión Ltda**

Manejo integrado de plagas en flores de corte

Integrated pest management in cut flower

Fabiola Valcárcel Calderón

Bióloga Universidad Nacional de Colombia, Especialización en Liderazgo y Gestión Estratégica-Universidad de los Andes, Experiencia de 20 años en Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades en Cultivo ornamentales,
fvalcarcel@hotmail.com

En la industria de flores en Colombia el Manejo Integrado de plagas, MIPE, es una práctica cada vez más extendida. La reducción del uso de pesticidas, especialmente los de amplio espectro, es uno de los mayores beneficios, ya que con la aplicación de los conceptos base de la estrategia MIPE se logra extender la vida útil de los pesticidas y minimizar su impacto al medio ambiente, la salud y los organismos benéficos. Adicionalmente se perciben beneficios para el cultivo ya que menos aplicaciones pueden contribuir a mejorar el crecimiento de las plantas y su calidad al minimizar efectos fitotóxicos.

La implementación de métodos integrados de control es además una necesidad para satisfacer la creciente demanda de “productos limpios” por parte de los mercados actuales. Una condición para la libre venta de nuestras flores en algunos supermercados, es el porte de un sello que garantice los procesos de producción, un respetuoso manejo tanto al ambiente como a los trabajadores.

Un programa de Manejo Integrado se basa en el conocimiento, experiencia, observación e integración armónica de múltiples tácticas de control que incluyen diagnóstico de problemas, monitoreo regular, conocimiento de la biología de las plagas, el control biológico, uso de mecanismos de prevención, prácticas de control cultural, control mecánico y físico, prácticas regulatorias cuando las hay, uso de pesticidas y resistencia de variedades (Dufour,2009). Para cada sistema de producción se puede diseñar un programa de manejo integrado que puede especificarse incluso para cada plaga.

A continuación están las definiciones para cada uno de los componentes de la estrategia MIPE con aplicación directa a los cultivos de flores de corte.

Monitoreo

Es la base para establecer un programa de manejo integrado, aporta información sobre la presencia de una plaga, su distribución, fluctuaciones de población, relación con condiciones ambientales. Un buen monitoreo implica un muestreo sistemático del cultivo a intervalos preestablecidos, puede resultar costoso pero a su vez implica una gran compensación ya que su resultado podrá ser la reducción de aplicaciones y una significativa mejora en el control (Dufour,2001).

El monitoreo puede ser directo o indirecto o incluir los dos métodos dependiendo de la plaga. Puede consistir en recorridos de observación por el cultivo, uso trampas con adhesivas, feromonas, conteo de plantas afectadas, etc., registrar los resultados es parte importante del proceso ya que esta información constituye la memoria del cultivo y permite el análisis de la información que guiará las decisiones de control (Graham, 2002).

Identificación de las plagas

Un paso importante en cualquier MIPE es identificar la plaga. La efectividad de las prácticas de control depende de la correcta identificación, un error en la identificación puede ser incluso más dañino que la misma plaga. Si no se cuenta con suficiente información para su identificación, es necesario acceder a servicios especializados.

Además de la correcta identificación es necesario entender los factores que favorecen su presencia, los hábitos, cuál o cuáles estados de desarrollo son los causantes del daño, cuáles son los signos claros del daño causado, sus mecanismos de reproducción y sobrevivencia y a través del monitoreo cuáles condiciones ambientales y/o de cultivo estimulan su establecimiento (UofC, 2001).

Control Cultural

Se considera una estrategia proactiva (Dufour, 2001), que pretende reducir los problemas causados por plagas. Incluye prácticas de rotación de cultivo, promoción de suelos biológicamente equilibrados, saneamiento (eliminación de plantas o partes de plantas afectadas), estimulación del establecimiento de comunidades de organismos benéficos (siembras de plantas hospederas), manejo adecuado de residuos, variación de las densidades de siembra, uso de variedades resistentes, uso de coberturas (mulch) sobre suelos, uso de material vegetal de fuentes certificadas como libre de plagas y enfermedades, mantener el cultivo en óptimas condiciones de crecimiento y el uso de mallas anti-insectos

Variedades resistentes

Es importante recibir del hibridador información sobre el grado de susceptibilidad de nuevas variedades y decidir los sitios de siembra para mantener esta característica. Si no es posible obtener variedades resistentes a los principales problemas fitosanitarios de un cultivo o lugar, se deben seleccionar del cultivo las mejores plantas, las que muestren la mejor tolerancia y obtener de aquí lotes de plantas con algún grado de resistencia, esta debe ser una labor dinámica ya que los sistemas de producción también lo son (Dufour, 2001).

Control biológico:

El control biológico, es una práctica no muy extendida en la floricultura actual, aunque existen algunos exitosos ejemplos. Consiste en el uso de organismos vivos, parasitoides, predadores o patógenos, para mantener las poblaciones de plagas por debajo de los umbrales de daño (UofC, 2001). Para el caso de parasitoides es importante que el sistema ofrezca un hábitat para su establecimiento y asegurar el uso de pesticidas selectivos que no afecten las poblaciones de parasitoides y predadores (Dufour, 2001). Los ejemplos más frecuentes en la floricultura son el uso de predadores para el control de araña *Tetranychus* sp y la liberación de *Diglyphus* spp para el control de minador de hoja. Una práctica más extendida es el uso de hongos entomopatógenos, por su facilidad de implementación y oferta.

Control químico

Incluye el uso de productos botánicos y pesticidas sintéticos. Deben ser el último componente en un programa de manejo integrado y usarse solo cuando las demás prácticas no llevan al resultado esperado, por sus implicaciones al ambiente y a la salud.

El uso de pesticidas está regulado en las guías de certificación internacional e incluso por algunos de nuestros clientes, lo que hace que se escojan solo aquellos aprobados por ley y con menor impacto al entorno.

Considerando las restricciones para su uso es importante asegurar el éxito su aplicación escogiendo muy bien el momento, dosis y técnica de aspersión(Labuschangne,2010). El monitoreo de estos aspectos y del mismo cultivo cobran vital importancia para evitar aplicaciones innecesarias.

Adicional a los pesticidas está el grupo de los productos bioracionales que abarcan formulaciones de origen botánico que pueden usarse junto o de manera alterna con los pesticidas y cumplen función insecticida como tal o actúan como repelentes o antialimentarios. Es importante cuidar la calidad y estabilidad de estas formulaciones ya que una mala selección puede llevar a un fracaso en el control y en algunos casos generar fitotoxicidad.

Literatura citada

- DUFOUR, REX, 2001 Biointensive Integrated Pest Management (IPM) Fundamentals of Sustainable Agriculture, ATTRA Publication #IP049
- GRAHAM, JACK; DRAMM & ETCHER, 2002. Starting an IPM Program in Greenhouse Ornamentals. Proceedings Society of American Florist 18th Annual Conference on Insect and Diseases Management on Ornamentals, pg 47-50. San Diego CA.
- LABUSCHANGNE, LOUISE, 2010 Make every drop count. Spray techniques, Floraculture International Magazine, March
- LESLIE, ANNE R. AND GERRITT CUPERUS. 1993. Successful Implementation of Integrated Pest Management for Agricultural Crops. CRC Press, Boca Raton, FL 193 p.
- UNIVERSITY OF CALIFORNIA, 2001. Integrated Pest Management for Floriculture and Nurseries, Division of Agricultural and Natural Resources, Publication 3402, 420 p.

Control biorracional de plagas de ornamentales de corte

James Alberto Jiménez

Ing. Agrónomo. Gerente I+D+i. EcoFlora S.A.S. ide@ecoflora.com

Introducción

La floricultura en Colombia es un importante renglón para la economía del país, en el 2008 se exportaron flores por un valor de US\$ 1.094 millones de dólares, 99.000 empleos directos y 84.000 indirectos, aportando aproximadamente el 25% del empleo rural femenino en el país[1].

La floricultura se desenvuelve en agroecosistemas altamente intervenidos, buscando el control de las condiciones ambientales que favorezcan el desarrollo de las plantas, se llega también a la situación de beneficiar la presencia plagas y enfermedades, las cuales llegan a ambientes protegidos y encuentran plantas con excelente nutrición, situación ideal para el desarrollo de sus ciclos de vida.

En su afán de mantener cultivos sanos, los floricultores han recurrido al uso de herramientas principalmente de origen químico, situación que se ha tratado de mejorar en los últimos años. Se estima que en 1999 se aplicaban 72Kg de ingrediente activo químico por hectárea en una finca de producción de crisantemo, en el 2003 se aplicaron casi 62Kg[2]. Esto se ha logrado gracias a un cambio de mentalidad de los productores, quienes han empezado a creer en otros tipos de manejo, abriendo espacios para la utilización de herramientas como los extractos botánicos, los productos biológicos, las trampas, en fin un amplio número de alternativas, todas bajo la calificación estricta de un buen sistema de monitoreo.

La oferta inicial de bioinsumos en Colombia fue desordenada y de baja calidad, preocupados por esta situación, el Instituto Colombiano Agropecuario en conjunto con empresas del sector privado, principalmente productores e importadores de insumos emprendieron la tarea de crear una norma que cobijara este tipo de herramientas, fue así como a partir del 27 de febrero de 2004 entró a regir la resolución 00375 “Por la cual se dictan las disposiciones sobre Registro y Control de los Bioinsumos y Extractos Vegetales de uso agrícola en Colombia”, lo cual fue un hito en la producción y comercialización de bioinsumos en nuestro país. Bajo esta norma se encuentran registrados, a enero 30 de 2010, en nuestro país 97 bioinsumos, de los cuales 46 corresponden a la categoría de agentes microbiales, 24 a inoculantes biológicos, 13 extractos vegetales, 10 a productos bioquímicos, 3 a parasitoides [3] y 1 predador. Mientras que desde 1959 hasta octubre 30 de 2009 se han registrado aproximadamente 4553 productos químicos[4], muchos de ellos fuera del mercado por diferentes causas.

Se han documentado experiencias en las que demuestran la eficacia de los bioinsumos para el manejo de diferentes complejos de plagas y enfermedades en los cultivos de ornamentales de corte.

Principales plagas en ornamentales de corte en Colombia

En diferentes estudios de identificación de plagas en cultivos de flores [5-8], se ha determinado que las principales plagas del crisantemo son ácaros de la familia Tetranychidae, principalmente *Tetranychus urticae* Koch; trips de las especies *Frankliniella occidentalis* (Pergande), *F. helianthi* Multon, *F. brunnescens* Priesner; gusano soldado *Spodoptera exigua* (Hübner); mosca blanca *Trialeurodes*

vaporariorum (Westwood); áfidos *Aphis gossypii* Glover y *Macrosiphum rosae* (L.); y los minadores *Liriomyza huidobrensis* (Blanchard) y *Liriomyza sativae* (Blanchard).

Ácaros: *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae):

Es considerado actualmente como una de las plagas más importantes en cultivos bajo invernadero[9], ya que estos alteran los procesos fisiológicos de las plantas como la fotosíntesis y la respiración, y afectan el crecimiento, la floración y la fructificación en las plantas que infestan[10]. Densidades entre 10 y 50 ácaros por hoja de rosa causan una reducción de la longitud del tallo de la flor del 17% y 26%, respectivamente, cuando se comparan con plantas que no tienen presencia de ácaros fitófagos[11]

Fuente: <http://www.flickr.com/photos/fitopatologia/2962238560/>



Thrips: *Frankliniella occidentalis* Pergande (Thysanoptera: Thripidae) :

Es un insecto polífago nativo de la parte oeste de norte américa, que fue reportado inicialmente en 1895[12] y tiene un amplio rango de plantas hospedantes al rededor del mundo. Su biología y comportamiento los hace especialmente difíciles de controlar, adultos e ínstares larvales se alimentan prácticamente de cualquier parte de la planta (excepto raíces) pero tienen una marcada preferencia por los tejidos tiernos, flores y yemas terminales, donde utilizan el estilete para succionar el contenido celular, se protegen en los botones florales e incluso entre los pétalos de flores desarrolladas, donde cumplen su ciclo protegidos de las condiciones ambientales externas. Llegar hasta estos sitios con los productos que actúan por contacto es virtualmente imposible, lo cual ha hecho de esta plaga un problema difícil de controlar.

Fuente: EcoFlora S.A.S.



Minador de las hojas: *Liomyza* sp. (Diptera: Agromyzidae)

Existen mas de 370 especies pertenecientes al género *Liriomyza*, Las larvas se alimentan del mesófilo de las hojas dejando intactas las capas externas o epidémicas. Las hojas afectadas presentan "minas", perdiendo de esta manera su capacidad fotosintética, defoliándose total o parcialmente.

Dada su biología, el control de las larvas se hace complejo a menos que se pueda usar un producto translinar, los mayores esfuerzos se hacen para el control de los adultos.

Fuente:

<http://www.fera.defra.gov.uk/plants/publications/plantHealth/documents/liriomyza.pdf>



Mosca blanca *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Homoptera: Aleyrodidae):

Es una de las plagas más importantes a nivel mundial. La importancia económica de este insecto se debe a su amplia distribución geográfica en el trópico, subtropical y zonas templadas del mundo, el gran número de especies cultivadas que afecta y su amplio rango de hospederos cultivados y silvestres. Los adultos y ninfas de este insecto succionan la savia del floema. Este es un daño directo que reduce los rendimientos. La producción de secreciones azucaradas por adultos y ninfas afecta indirectamente la producción porque favorece el desarrollo de hongos (fumagina) que interfiere con la fotosíntesis. En cultivos como habichuela *T. vaporariorum* puede causar pérdidas cercanas al 50%. [13]

Fuente:

<http://hadianarrahmi.files.wordpress.com/2009/07/trialeurodes-vaporariorum-2.jpg>



Mosca blanca es un problema de gran importancia mundial, dado el abuso en el uso de herramientas químicas para su control, lo cual conlleva al incremento de los costos de producción y riesgos para la salud humana, tanto de los operarios agrícolas como de los consumidores y un alto costo ambiental.

Con esta identificación inicial, nos damos cuenta que la floricultura colombiana se enfrenta a los problemas más complejos de manejar, en cuanto a plagas se refiere. Recordando lo escrito anteriormente que nuestras condiciones ambientales en el trópico, favorecen el establecimiento de poblaciones de estos individuos en cantidades perjudiciales y que las condiciones semicontroladas en los invernaderos se convierten en un ambiente aún mas propicio para su desarrollo.

Control Biorracional

Ampliamente se ha hablado del tema de control químico de estos problemas, dedicaremos el siguiente espacio al control biorracional. Empezando por definir que el control biorracional es aquel que recoge todas las herramientas para control, pero que se enfoca en el uso de productos biológicos y a partir de extractos vegetales.

Los bioinsumos por su parte son definidos en la resolución 00375 del ICA como “Producto de origen biológico utilizado con fines de nutrición vegetal, manejo integrado de plagas o mejoramiento de las características biológicas del suelo. Incluye: Agentes Biológicos para el Control de Plagas, Inoculantes biológicos, Bioabonos, Inóculos microbiales para compostaje y Productos Bioquímicos” [14].

Un extracto vegetal se define como “Preparado de origen natural, obtenido de una (s) especie (s) botánica(s) que conserva sus propiedades esenciales y que se utiliza con fines de fitoprotección agrícola [14].

Gracias a un esfuerzo sectorial, los floricultores ahora tienen al alcance de su mano una cantidad importante de productos, alternos a los químicos, con los cuales pueden armar una estrategia de manejo integrado de plagas. Son ellas los extractos vegetales de uso agrícola y los biológicos.

Desde hace mas de 10 años, se han documentado trabajos rigurosos que buscan demostrar la eficacia de los bioinsumos (extractos vegetales y biológicos) en el sector floricultor colombiano.

Experiencias en el manejo de Ácaros:

El hongo *Paecilomyces fumosoroseus* tiene una reconocida actividad contra ácaros, es así como al aplicarlo bajo condiciones de invernadero sólo o alternado con otros productos químicos se obtiene un mejor resultado en el control de las poblaciones, respecto al manejo tradicional con productos químicos (Figura 1).

También los extractos vegetales han demostrado tener una eficacia elevada para el control de ácaros. Algunos extractos mezclados con productos químicos pueden mejorar la eficacia de las aplicaciones. Como se observa en la figura 2, la mezcla del extracto ayudó a mejorar la eficacia del producto convencionalmente usado.

Estos resultados muestran que los bioinsumos son ideales para establecer planes de manejo integrado ácaros, cuando se usan individualmente, en rotación o incluso en mezcla con productos químicos.

Otras experiencias han demostrado resultados similares con mezclas entre productos biológicos y extractos vegetales.

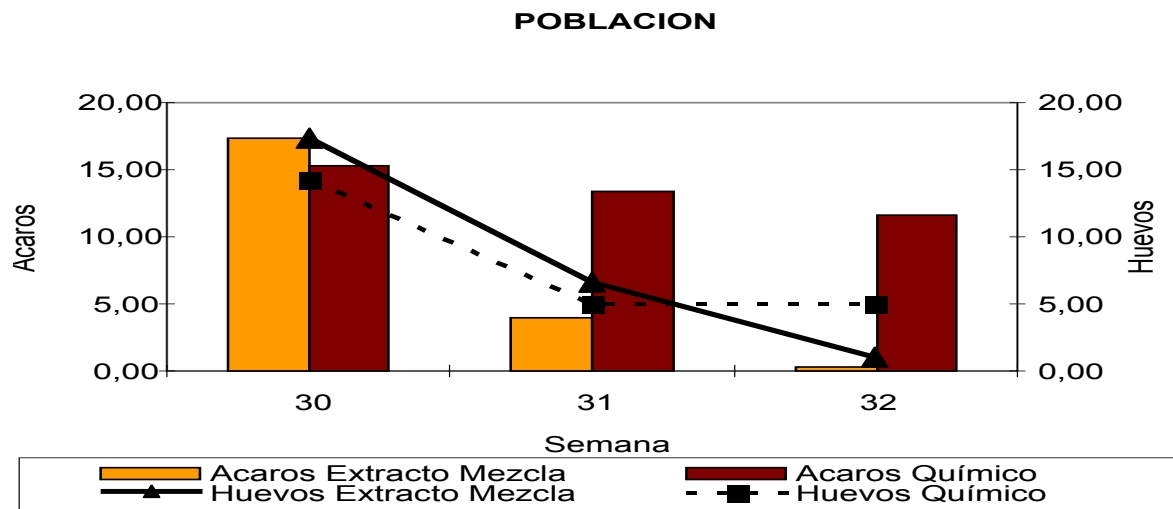
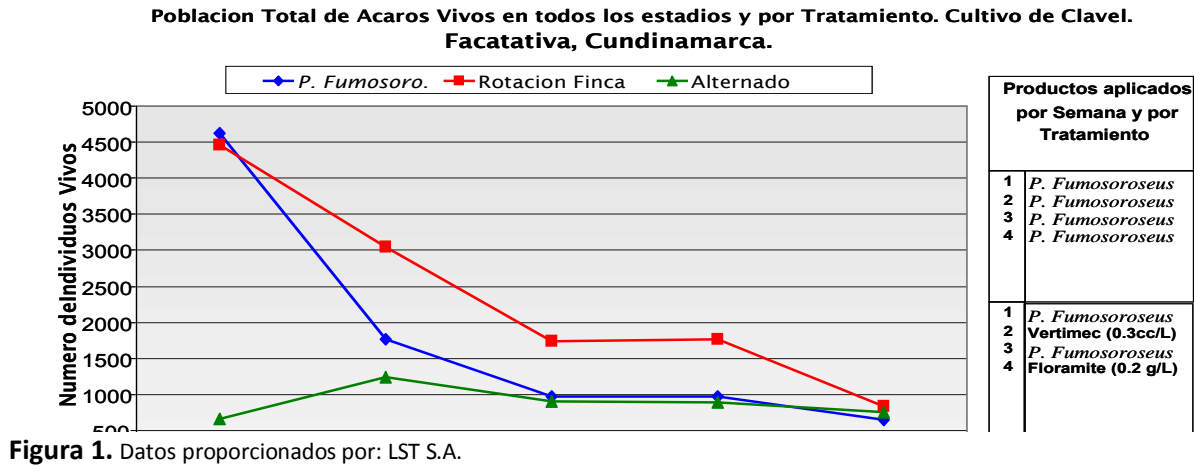


Figura 2. Mezcla de extractos con químicos para el control de ácaros. Datos proporcionados por: EcoFlora S.A.S.

Experiencias en el manejo de Thrips:

Para esta plaga también se ha demostrado la eficacia de los extractos vegetales, en la figura 3 se muestra que después de tres aplicaciones se logra el control de las poblaciones de thrips entre un 89,7% y un 97%, según la dosis utilizada.

La figura 4 muestra la comparación en la eficacia de tres esquemas de manejo de thrips con énfasis en *Beauveria bassiana*, usando el hongo sólo, el hongo en rotación con productos químicos y una rotación

de productos químicos. Se observa que después de 4 aplicaciones se obtienen niveles de control semejantes entre los tratamientos.

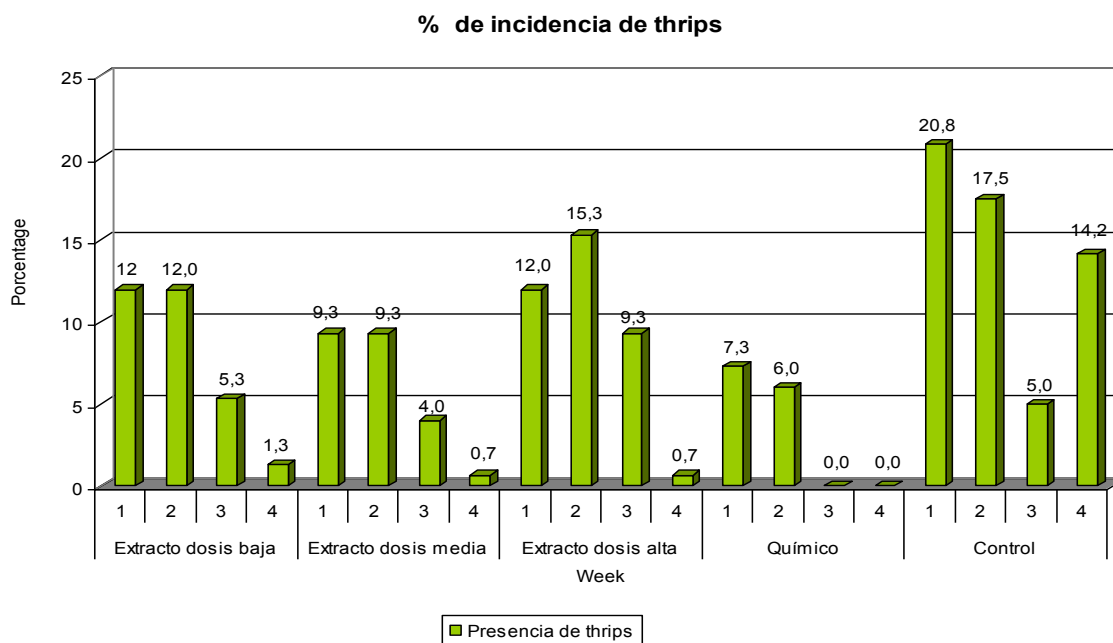


Figura 3. Incidencia de thrips bajo el efecto 4 tratamientos y un testigo absoluto, Datos proporcionados por: EcoFlora S.A.S.

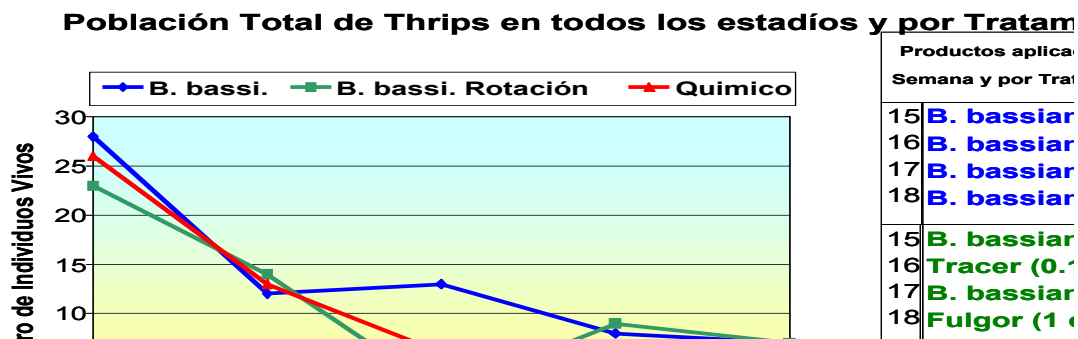


Figura 4. Datos proporcionados por: LST SA

Experiencias en el control de Minador de las hojas

El uso de continuo de extractos vegetales para el control de minador en cultivos de crisantemo, se ha convertido en una herramienta de estructural en los planes de manejo integrado, la figura 5 muestra una

gran variación poblacional cuando el manejo se basa sólo en el uso de productos químicos, mientras que cuando se enfoca en el uso de extractos vegetales las variaciones poblacionales son menores y por ende el manejo menos complicado. Cabe resaltar que en el manejo de esta plaga, los floricultores han implementado medidas adicionales como el uso de trampas de colores y de aspiradoras mecánicas, que buscan reducir la cantidad de adultos circundando la plantación.

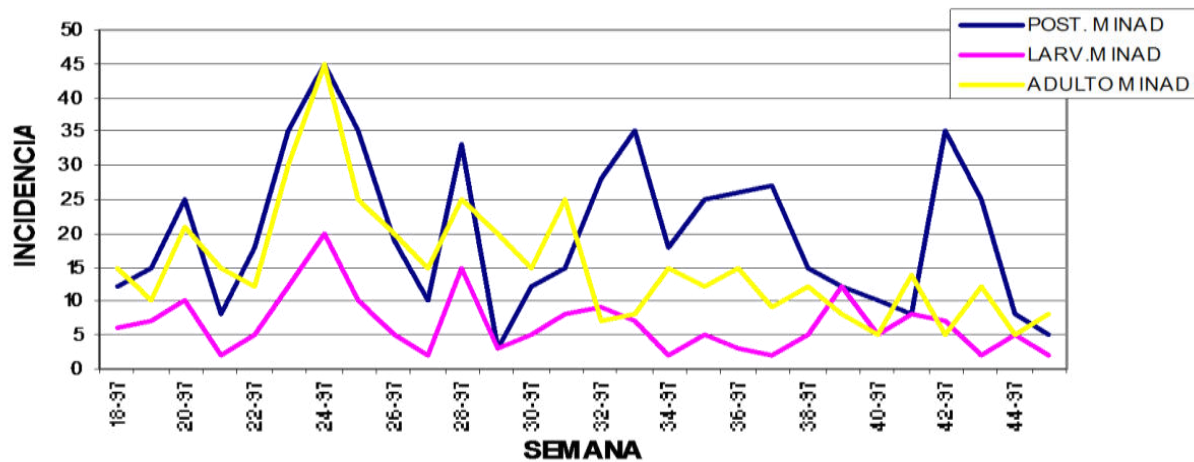


Figura 5. Población de minador en un programa de manejo químico. Tomado de: ESTUDIO DE CASO EN FLORES DE CORTE “ESTUDIO DE CASO EN FLORES DE CORTE” UTILIZACION DE BIOINSUMOS EN COLOMBIA

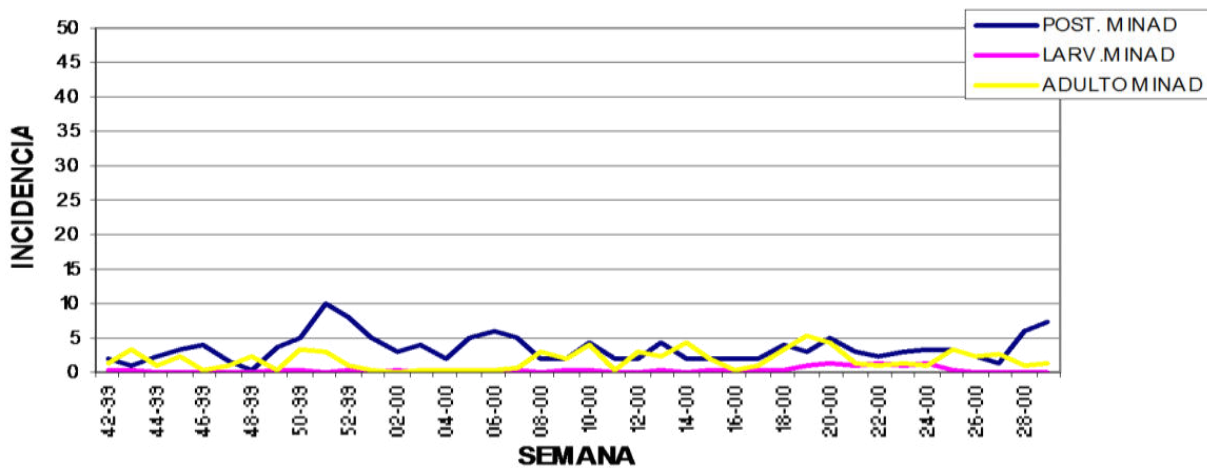


Figura 6. Población de minador en un programa de manejo con énfasis en extractos vegetales. Tomado de: ESTUDIO DE CASO EN FLORES DE CORTE “ESTUDIO DE CASO EN FLORES DE CORTE” UTILIZACION DE BIOINSUMOS EN COLOMBIA

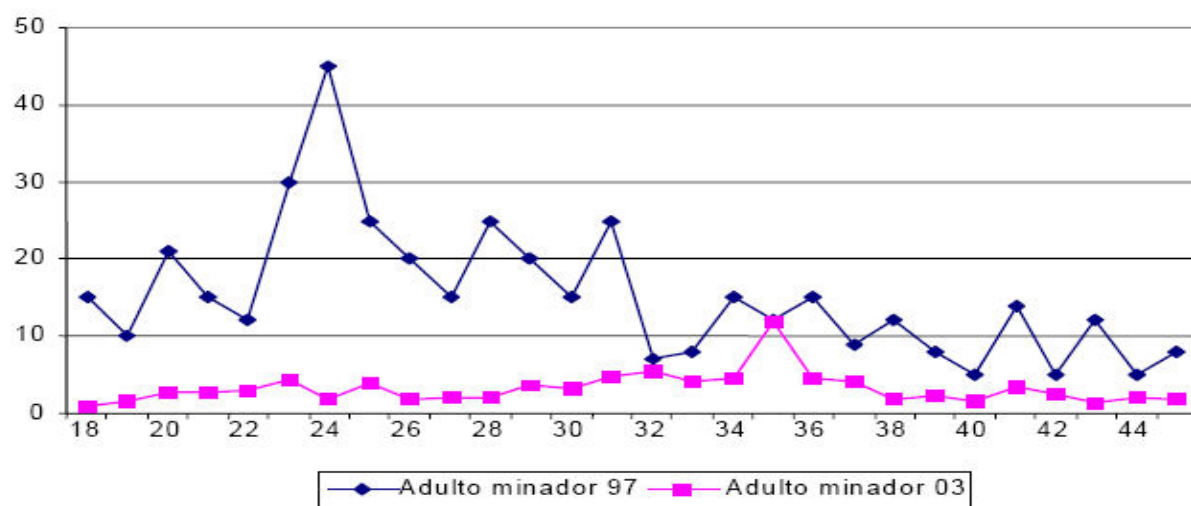


Figura 7. Comportamiento de las poblaciones de adultos de minador entre 1997 y 2003.



Figura 8. Aspiradora para el control de adultos de minador.

Experiencias en el control de Mosca Blanca

La experiencia en el control de esta plaga muestra que el manejo debe iniciarse desde cuando las poblaciones se presentan bajas, dado que por su biología es un insecto que puede disparar súbitamente. *Beauveria bassiana* es un entomopatógeno que ha demostrado ser eficaz para el control de *T. vaporariorum*, como se muestra en la figura 8 las ninfas son estadios muy susceptibles de ser controlados por este hongo.

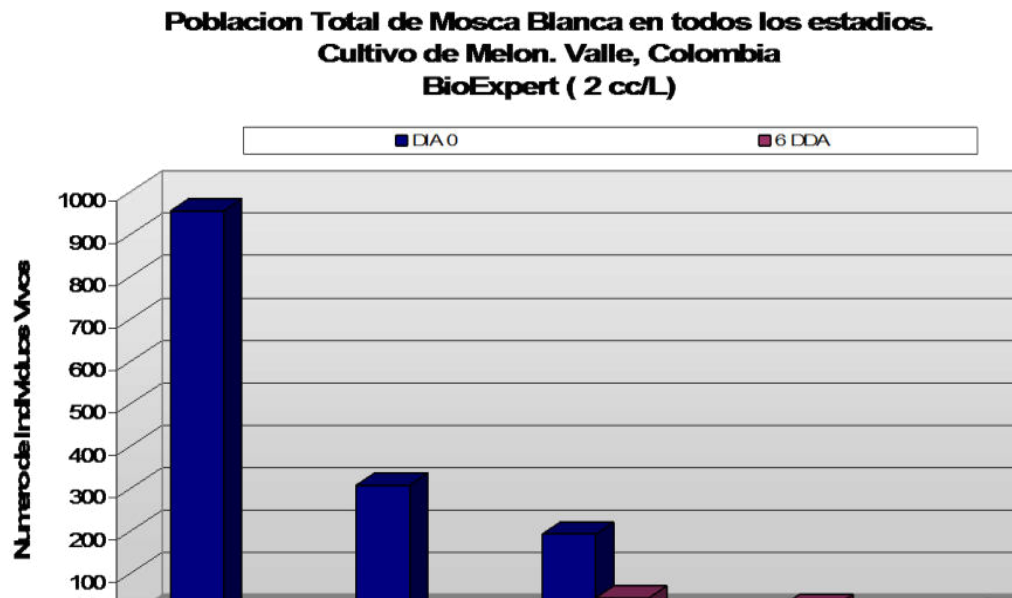


Figura 8. Uso de *Beauveria bassiana* para el control de mosca blanca. Datos proporcionados por: LST SA.

La premisa de iniciar el manejo de mosca blanca cuando aún sus poblaciones sean bajas, también es válida para el uso de extractos vegetales, esto permitirá mantener bajas las poblaciones tanto de adultos como de ninfas en el cultivo Figura 9.

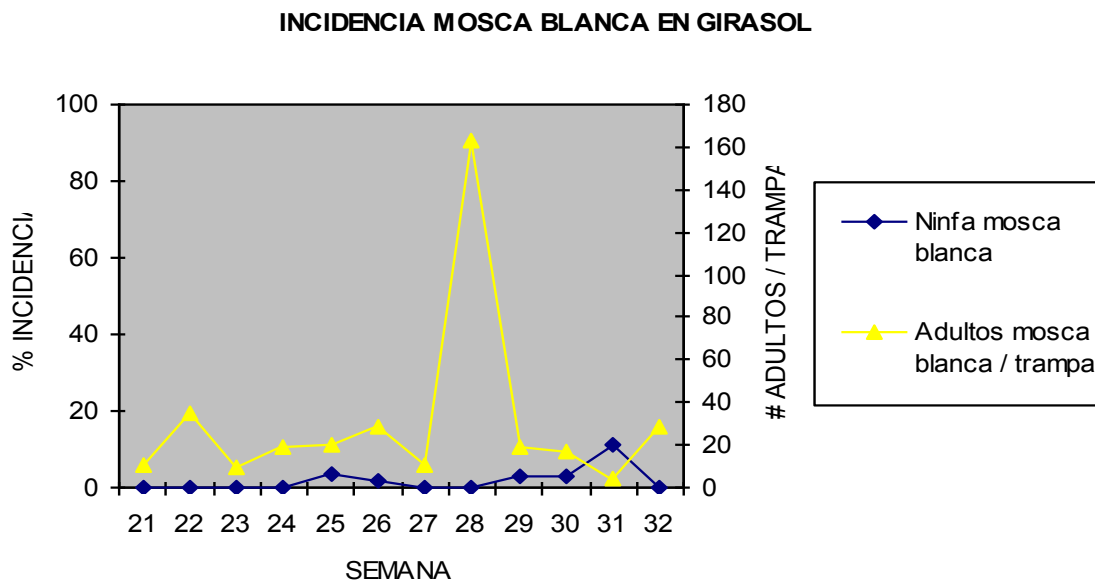


Figura 9. Uso de extractos vegetales para el control de mosca blanca. Datos proporcionados por: EcpFlora S.A.S.

Conclusiones

El uso de bioinsumos y extractos vegetales en el MIPE en ornamentales de corte es una alternativa eficaz, con cada vez mayor vigencia, para el manejo de los problemas fitosanitarios mas relevantes causados por ácaros e insectos.

El uso de estas herramientas permite una producción más sostenible de los ornamentales de corte, dado que se puede disminuir significativamente la descarga de ingrediente activo químico por hectárea en un ciclo productivo.

La eficacia de estos productos para el manejo de la plaga al que se lo enfrente depende de un adecuado monitoreo y una aplicación constante y sostenida, para facilitar su establecimiento, en el caso de los biológicos, y la presencia constante de los metabolitos de los extractos.

El uso de estas alternativas generan ambientes productivos mas sanos para los operarios agrícolas, disminuyendo los riesgos de intoxicación.

Ambientalmente son invaluable los beneficios del uso de estas herramientas, dada la especificidad de los entomopatógenos y la actividad no-cida de los extractos vegetales.

Literatura citada

Asocolflores, *La floricultura: Un sector exportador de clase mundial*. 2009.

Asocolflores;Ministerio de Ambiente, V.y.D.T.C., *Utilización de Bioinsumos en Colombia: Estudio de caso en flores de corte*. 2005.

(ICA), I.C.A., *Productos de bioinsumos registrados - enero 30 de 2010*. 2010.

(ICA), I.C.A., *Registros de venta de plaguicidas quimicos de uso agricola octubre 30 de 2009*. 2009.

Alcántara, H., *Las plagas del crisantemo (Chrysanthemum morifolium Ramat): una base para su manejo en el área florícola de Texcoco, México*. Universidad Autónoma Chapingo, 1998.

Huerta H, J., *Evaluación de insecticidas microbiales para el control de plagas en crisantemo (Chrysanthemum morifolium Ramat), en Chapingo*. Universidad Autónoma Chapingo, 1997.

Lomeli, J.P., A; Trujillo, J; Hernández, A., *Efectividad de Phytoseiulus persdimilis Athias-Herriot y avermectina en el control de Tetranychus urticae Koch en crisantemo bajo condiciones de invernadero*. Memoria Congreso Nacional de Entomología 34, 1999, Aguascalientes, México, 1999.A, H.R., *Diagnóstico agroecológico del cultivo de crisantemo en Texcoco, Méx. y propuestas de manejo para el control de plagas*. Instituto de Fitosanidad. Colegio de Postgraduados, 2000.Malais, M.y.W.J.R., *The biology of glasshouse pests an their natural enemies. Knowing and recognizing*. Koppert Biological Systems, 1992: p. 117.

Monetti, L., *Estudio de los atributos vitales de los ácaros fitoseidos y su aplicación al control biológico de plagas*. Rev. Soc. Entomol. Argentina, 1999. **58**(1 - 2): p. 48 - 57.

Landeros, J., L.P. Guevara, M.H. Badii, F. Flores y A. Pámanes., *Effect of different densities of the twospotted spider mite Tetranychus urticae on CO2 assimilation. transpiration and stomatal behaviour in rose leaves*. Expl. Appl. Acarology, 2004. **32**: p. 187-198.

Beshear, R.J., *New records of thrips in Georgia*. Journal of the Georgia Entomological Society, 1983. **18**: p. 342 - 344.

César Cardona, I.V.R., Juan M. Bueno, Ximena Tapia, *Biología y Manejo de la Mosca Blanca Trialeurodes vaporariorum en Habichuela y Fríjol*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 2005.

ICA, *RESOLUCIÓN No. 00375: Disposiciones sobre Registro y Control de los Bioinsumos y Extractos Vegetales de uso agrícola en Colombia*. 2004.

Arañas (Acari: Tetranychidae): megaplagas de cultivos ornamentales

Spider mites (Acari: Tetranychidae): key pests of ornamental crops

Edison Torrado-León¹

¹Director General. NaturaVisión Ltda. edisontrrado@naturavision.com

Los ácaros tetraníquidos, con especies como *Tetranychus urticae* Koch y *T. cinnbarinus* (Boisduval), corresponden al grupo de megaplagas agrícolas, junto con los áfidos, los trips y algunas especies de polillas, entre otros. Estos tienen varias características que les permiten estar en este estatus. El término megaplaga es denominado por el presente autor para referirse a aquellas plagas que cumplen con algunas características que están relacionadas con su estilo de vida, producto de la adaptación a ambientes en permanente cambio o procesos de sucesión ecológica. Entre las características más importantes se encuentran las siguientes: **1.** su alta movilidad con gran capacidad de dispersión, **2.** presentan hábitos generalistas o polífagos extremos, es decir, que se alimentan de diferentes especies de plantas que pertenecen a varias familias, **3.** tienen ciclos de vida cortos, **4.** las tasas de mortalidad son altas, las cuales minimizan por sus tasas de natalidad alta. **5.** Finalmente, no invierten energía en la elaboración de sustancias químicas o desarrollan morfologías contra sus enemigos naturales. No obstante, esto es compensado con la estrategia para derribar los mecanismos de defensa de las plantas.

Lo anterior, es producto de la adaptación a la polifagia extrema, como habilidad para encontrar alguna fuente de alimento en un ambiente en permanente cambio. De acuerdo con Schoonhoven *et al.* (2006), en general las especies invasivas están caracterizadas por la polifagia (generalistas) y carecer de enemigos naturales. En el caso de los ácaros tetraníquidos, con especies como *Tetranychus urticae* y *T. cinnbarinus*, estas características se cumplen como se describirá a continuación.

Movilidad

Los ácaros *T. urticae* y *T. cinnbarinus* cuentan con dos mecanismos de dispersión para alcanzar nuevas fuentes de alimento y refugio: **1.** la movilización activa, que realizan a través de caminatas entre las hojas y plantas, e incluso alcanzan el suelo para llegar a nuevos hospederos como arvenses y otras plantas. **2.** La dispersión pasiva en campo, realizada por medio de fuertes vientos o anemocoria, y con foresía o zoocoria, es decir a través de animales, los cuales accidentalmente se adhieren a la seda que los ácaros producen en el momento en que pasan donde hay altas densidades de población (Boyle 1957) (figura 1). En hembras de *T. urticae* se registró que éstas levantan las patas anteriores o posteriores con el fin de subir el cuerpo y mantenerlo recto de frente al viento (Kennedy y Smitley 1985). Las telarañas de seda son generadas por las glándulas prosomales que tienen en la boca. De acuerdo con Mothes y Seitz (1981), para los machos y hembras de la especie *T. urticae* las glándulas están conformadas por cinco pares y una impar, que se extienden lateralmente en ambos lados del esófago, dentro de los pedipalpos. Las secreciones pasan a través del canal podocéfálico y alcanzan la boca en la parte apical de gnatosoma.

La dispersión antrópica se constituye como una de las fuentes de diseminación de los ácaros tetraníquidos más importante dentro de los cultivos comerciales de ornamentales de corte. De acuerdo con Acosta (1992), los ácaros *T. urticae* y *T. cinnabarinus* se han registrado, prácticamente, en todos los sitios que visitan a diario los operarios como bodegas, áreas de recreación y cafeterías, entre otros. Al interior de los invernaderos se han encontrado ácaros caminando sobre materiales diversos como metales, cuerdas, maderas, plásticos y telas, incluso en infraestructuras elevadas como las cumbres de los invernaderos.



Figura 1. Individuos de la arañita roja *T. cinnabarinus* concentrados en el ápice de una hoja y abundante telaraña. Imagen registrada en Funza, Cundinamarca (Foto NaturaVisión 2009©).

Resultados obtenidos por Li y Margolies (1994), sugieren que la variación en el comportamiento de dispersión aérea de *T. urticae* es atribuida principalmente a una respuesta del estrés ambiental. La variación genética en esta conducta de dispersión puede ser mantenida por selección en los individuos cuando los recursos se agotan, sin embargo, esta se reprime cuando el alimento es abundante. El comportamiento de dispersión en sí mismo, aunque no se correlaciona con las características reproductivas, pueden aumentar temporalmente y espacialmente el rendimiento de los ácaros en los ambientes fluctuantes.

Polifagia

La polifagia de las plagas *T. urticae* y *T. cinnabarinus* se ha demostrado ampliamente. De acuerdo con Bolland *et al.* (1998), se han registrado más de 900 especies de plantas hospederas de *T. urticae*. Una lista reciente de verificación de hospederos reportan para las dos especies cerca de 1200 especies de plantas hospederas en 70 géneros. La especie *T. cinnabarinus* se considera menos polífaga que *T. urticae*; sin embargo, debido a que en la literatura muchos autores no separan estas dos especies el rango de hospederos no es muy claro (Zhang 2003).

Según van de Vrie *et al.* (1972), la nutrición de las plantas hospederas tiene un efecto directo sobre las arañas. Las plantas con altos contenidos de nitrógeno favorecen la reproducción de forma positiva (Hanna *et al.* 1982, Wermelinger *et al.* 1985, Wilson 1994).

El daño es generado a las hojas y otras estructuras de las plantas por la inserción de los estiletes en las células epidermales, de las cuales obtienen su contenido. Como consecuencia de esas perforaciones, las hojas se secan y se tornan quebradizas. La sintomatología del daño se observa en el haz de las hojas, que inicialmente son puntos blancos como consecuencia de la pérdida de cloroplastos. Posteriormente, hay coalescencia de estos dando lugar a la aparición de manchas cloróticas. En algunas plantas los síntomas de daños causados por ácaros son de color blanco, pero luego se pueden tornar hacia un color rojizo como consecuencia de pigmentos antociánicos. Los cambios de coloración de las hojas dependen de la especie y variedad de la planta afectada (Davies y Albrigo 1994).

Las hojas de las plantas normalmente controlan la pérdida de agua mediante un sistema de estomas, o válvulas, que pueden abrirse y cerrarse. Cuando los estomas se cierran la superficie de una hoja es muy resistente a la pérdida de agua. La alimentación de las arañitas rompe este sistema mediante la creación de agujeros que permiten que el agua escape. Esta pérdida de agua no controlada finalmente termina por deshidratar la hoja. La escasez de agua causada por la alimentación de arañitas genera una fuente de alimento de mayor calidad para estos, porque se aumentan los niveles de azúcares y nitrógeno soluble, los cuales son necesarios para los ácaros (DeAngelis *et al.* 1982, DeAngelis *et al.* 1983 a, b y c).

Gawrohska y Kielkiewicz (1999), evaluaron la respuesta de plantas de tomate a los cambios en el nivel del ácido abscísico (ABA), una hormona vegetal conocida como la hormona del estrés, producidos por la presión generada por *T. cinnabarinus*. Con la presencia de este ácaro, se aumentó la concentración del ABA en la hoja como respuesta a la alimentación, registros que fueron comparados con lesiones mecánicas, los cuales fueron menores. El incremento de esta hormona en la planta genera como respuesta el cierre de estomas, disminuye la transpiración, inhibe el crecimiento de la planta y el desarrollo de algunas estructuras, entre otras.

Estudios histológicos realizados por Avery y Briggs (1968), demostraron que los ácaros dañan especialmente las células del parénquima esponjoso y el de empalizada, pero no afectan la epidermis.

Ciclos de vida corto y estadios quiescentes

Bajo condiciones controladas de laboratorio ($26 \pm 1.2^\circ\text{C}$ y $76 \pm 4.9\%$ humedad relativa) se demostró que el tiempo de desarrollo de *T. urticae*, desde huevo hasta adulto, fue de 11 días. Los huevos presentaron un tiempo promedio de desarrollo de 4 días. El estado larval presentó un tiempo promedio de desarrollo de 2 días, mientras que los estadios de ninfa II y III duraron un promedio de 3.9 días (Telenchana 2008). Según Gallardo *et al.* (2005), el tiempo de desarrollo de los ácaros tetránquidos se ve afectado por factores relacionados con temperatura, humedad, depredación y características de la planta hospedante, así como por factores intrínsecos de la especie.

Los ácaros de la familia Tetranychidae tiene una metamorfosis gradual típica. Las divisiones de sus estadios inmaduros son huevo, larva (es la única hexápoda, los demás tienen ocho patas), protocrisálida (= ninfocrisálida), protoninfa, deutocrisálida, deutoninfa y teliocrisálida. (Acosta 2000). Las crisálidas son estados quiescentes que no se desplazan ni alimentan, por lo que son considerados subestadios que permiten soportar cambios en las condiciones en los cuales se encuentran.

De acuerdo con Molinari *et al.* (2006), las temperaturas promedio anuales entre 27 y 32°C , así como precipitaciones bajas, entre 30 y 60 mm, favorecen el incremento de las poblaciones de este ácaro.

Los ciclos de vida corto y rápido desarrollo se presentan varias generaciones por ciclo de cultivo, razón por lo cual alcanzan altas densidades de población (Acosta 1995, Acosta 2000).

Los ácaros tetraníquidos exhiben una conducta de vigilancia precopulatoria y poscopulatoria para asegurar el apareamiento. Para esto, los machos son los primeros en salir de la teliocrisálida, buscan alimento y posteriormente se desplazan rápidamente buscando a las hembras. La localización se da a través del olfato al detectar la feromona sexual que éstas liberan. Una vez las encuentran, los machos permanecen al lado o sobre éstas (figura 2), con lo que evitan que otros machos se acerquen. Este comportamiento se produce porque sólo la primera cópula es la eficaz para las hembras y condujo a la hipótesis de que la duración de la cópula de *T. urticae* se prorrogará por protección postcopulatoria e impide que las hembras queden fecundadas después de los posteriores apareamientos que ésta tiene con otros machos, una vez el primero se ha retirado.

Diferentes aspectos de la fertilización de la araña de *T. urticae* fueron estudiados por Helle (1967). Después del apareamiento de hembras vírgenes los huevos haploides se producen antes de la aparición de huevos diploides. A partir de este y otros eventos, se concluye que la fecundación de los oocitos se produce en una fase muy temprana de desarrollo del huevo. En la fertilización se supone que tendrá lugar en el ovario y no en el oviducto. Mediante el uso de marcadores genéticos se pudo comprobar que en la mayoría de los casos la primera cópula es eficaz. Apareamientos posteriores por lo general son ineficaces. Se sugiere que la fuente de espermatozoides en la primera cópula determina el éxito de los apareamientos.



Figura 2. Vigilancia precopulatoria de *T. urticae*. (Foto NaturaVisión 2010).

Esta hipótesis fue probada por Satoh *et al.* (2001), quienes manipularon el intervalo entre la primera y segunda cópula de las hembras y encontraron que existe una correlación altamente significativa entre el intervalo de apareamiento y la proporción de hijos del primer macho. Estos resultados demostraron que el aumento de la cópula prolongada de los machos asegura la efectividad del esperma y el éxito sobre las demás cópulas. Así, los machos de *T. urticae* aumentan su paternidad, no solo por protección precopulatoria, sino también por la vigilancia postcopulatoria.

Tasas de natalidad

De acuerdo con Gallardo *et al.* (2005) la duración del período de oviposición y la tasa de oviposición de los tetraníquidos cambian con base en las especies de ácaros, así como en las condiciones ambientales donde se desarrollan. Estos autores encontraron que en promedio puede durar entre 10 y 15 días ovipositando entre 7 y 13 huevos por día. Según Telechana (2008), durante 11 días la tasa de oviposición diaria fue mayor en pepino y frijol con 8.7 ± 4.3 y 8.12 ± 2.6 , respectivamente, mientras que en camote fue de 3.9 ± 2.1 .

Mecanismos de defensa

Con el amplio rango de hospederos registrados para los ácaros tetraníquidos, que según Zhang (2003) son cerca de 1200, la calidad de los nutrientes es variable. Esta depende del nivel de metabolitos primarios y en la cantidad y naturaleza de los metabolitos secundarios (Rosenthal y Berenbaum 1991). Numerosos metabolitos secundarios encontrados en las plantas tienen una responsabilidad en la defensa contra los herbívoros, los cuales pueden actuar como tóxicos, factores de disuasión, reductores de la digestibilidad o actuar como precursores de los sistemas de defensa física (Bennett y Wallsgrove, 1994).

Estudios realizados por Monetti (1995), encontraron que después del desyerbe en plantaciones de manzano, las poblaciones de *T. urticae* se estimularon para que afectaran este cultivo, algo que no se había registrado en la plantación hasta este momento. Existe evidencia que la evolución en el rango hospederos puede ser rápida, como en agroecosistemas donde las especies de insectos plaga tienen alterado el rango de hospederos (Phillips y Barnes. 1975). Los datos de procesos microevolutivos pueden proveer información a la luz de los patrones macroevolutivos del rango de hospederos que se pueden encontrar en la Naturaleza (Gould 1979).

Los ácaros tetraníquidos son una especie altamente exitosa y cuentan con amplio arsenal de estrategias adaptativas que les permiten explotar la gran variedad de recursos como alimentación. De ahí, que las estrategias de manejo de estas plagas deben estar enmarcadas dentro del concepto de manejo integrado de la resistencia de ácaros o MIRA, con el fin de mantener reguladas sus poblaciones (Mesa y Duque 1994, Acosta 2003).

Literatura citada

- ACOSTA, A. 1992. Dispersion mechanisms of carmine spider mite on Carnation crop at Santafe de Bogotá plateau. *Revista Acta Horticulturae*. I.S.H.S., Netherlands 301: 123-130.
- ACOSTA, A. 1995. Manejo integrado de ácaros en cultivos de flores. Memorias XXII Congreso, Sociedad Colombiana de entomología, Santa fe de Bogotá. Pp. 116-125.
- ACOSTA, A. 2000. Escrito sobre lo que seguramente usted ha oído de los famosos ácaros *Tetranychus* spp.- Conocimientos generales y manejo integrado de *Tetranychus* spp. (Acariformes: Tetranychidae) en cultivos de flores. Facultad de agronomía, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá DC.
- ACOSTA, A. 2003. Bases útiles para el manejo integrado de ácaros Tetranychidae en cultivos de flores ("MIP DE Tetranychidae). Trabajo de investigación. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá DC.
- AVERY, D. J. Y J. B. BRIGG. 1968. Damage to leaves caused by the fruit tree red spider mite *Panonychus ulmi* (Koch). *Journal of Horticultural Science*. 43: 463-473.

- BENNET, RN; Walls Grove, RM. 1994. Secondary metabolites in plant defense mechanisms. *New Phytology*. 127:617-633
- BOYLE, W. W. 1957. On the mode of dissemination of the two-spotted spider mite, *Tetranychus telarius*. (L.) *Proceedings, Hawaiian Entomological Society*. 16: 261-68.
- BOLLAND, H. R., J. GUTIERREZ, Y C.H.W. FLECHTMANN. 1998. World catalogue of the spider mite family (Acari: Tetranychidae). Koninklijke Brill NV, Leiden, Netherlands.
- DAVIES, F.S. Y ALBRIGO L.G. 1994. Citrus. CAB International. Gran Bretaña. Pp 242.
- DEANGELIS, J. D., K. C. LARSON, R. E. BERRY Y G. W. KRANTZ. 1982. Effects of spider mite injury on transpiration and leaf water status in peppermint. *Environmental Entomology*. 11: 975-978.
- DEANGELIS, J. D., R. E. BERRY Y G. W. KRANTZ. 1983a. Evidence for spider mite (Acari: Tetranychidae) injury-induced water deficits and osmotic adjustment in peppermint. *Environmental Entomology*. 12:336-339.
- DEANGELIS, J. D., R. E. BERRY Y G. W. KRANTZ. 1983b. Photosynthesis, leaf conductance, and leaf chlorophyll content in spider mite (Acari: Tetranychidae) - injured peppermint leaves. *Environmental Entomology*. 12: 345-348.
- DEANGELIS, J. D., A. B. MARIN, R. E. BERRY Y G. W. KRANTZ. 1983b. Effects of spider mite (Acari: Tetranychidae) injury on essential oil metabolism in peppermint. *Environmental Entomology*. 12: 522-527.
- GALLARDO, A.; VÁSQUEZ, C.; MORALES, J.; GALLARDO, J. 2005. Biología y enemigos naturales de *Tetranychus urticae* en pimentón. Costa Rica. 74:34-40.
- GAWROŃSKA, H. Y M. KIELKIEWICZ. 1999. Effect of the carmine spider mite (Acarida: Tetranychidae) infestation and mechanical injury on the level of ABA in tomato plants. *Acta Physiologiae Plantarum*. 21 (3): 297-303.
- GOULD, F. 1979. Rapid host range evolution in a population of the phytophagous mite *Tetranychus urticae* Koch. *Evolution*, 33 (3): 791-802
- HANNA, M. A., M. A. ZAHER, Y S. M. IBRAHIM. 1982. Some probable causes of host preference in six species of phytophagous mites. *Zeitschrift für Angewandte Entomologie*. 93: 329-333.
- HELLE, W. 1967. Fertilization in the two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae*: Acari). *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 10: 103-110.
- KENNEDY, G.G. AND D.R. SMITLEY. 1985. Dispersal, pp. 233-242. En: W. Helle and M.W. Sabelis (Editores). Spider Mites, Their Biology, Natural Enemies and Control. Elsevier, Amsterdam, Vol 1A.
- LI, J. Y D. C. MARGOLIES. 1994. Responses to direct and indirect selection on aerial dispersal behaviour in *Tetranychus urticae*. *Heredity*. 72: 10-22.
- MESA, N. Y M. DUQUE. 1994. Liberación y establecimiento de tres especies de ácaros Phytoseiidae para el control de ácaros Tetranychidae en un cultivo de yuca. *Revista Colombiana de Entomología*. 20(3), 169-177.
- MOLINARI, A M.; GAMUNDI, J C.; PEROTTI, E.; LAGO, M. 2006. Presencia de arañuela en cultivo de soja. INTA EEA Oliveros. Argentina. 33:81-82.
- MONETTI, L. M. 1995: Dinámica estacional de ácaros fitófagos y depredadores (Acari: Tetranychidae: Phytoseiidae) en plantaciones comerciales de manzano de Argentina, con prácticas de desherbado alternadas. *Boletín de Sanidad Vegetal. Plagas*, 21(2): 231-242.
- MOTHES, U. Y K.A. SEITZ. 1981. Fine structure and function of the prosomal glands of the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* (Acari, Tetranychidae). *Cell Tissue Research*, 221: 339-349.
- PHILLIPS, P.A. Y M.M. BARNES. 1975. Host race formation among sympatric apple, walnut, and plum populations of the codling moth, *Laspeyresia pomonella*. *Annals of Entomological Society of America*. 68, 1053-1060.

- ROSENTHAL, G.A. Y M. R. BERENBAUM. 1991. Herbivores. Their interactions with secondary plant metabolites. Academic Press 468 p.
- SATOH, Y. S. YANO Y A. TAKAFUJI. 2001. Mating strategy of spider mite, *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) males: postcopulatory guarding to assure paternity. *Applied Entomology and Zoology*. 36 (1): 41–45.
- SCHOONHOVEN, L. M., J. J. A. VAN LOON Y M. DICKE. 2006. Insect-Plant Biology. Oxford University Press, USA.
- TELENCHANA, J.A. 2008. Oviposición de *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) en tres cultivos hospederos en Zamorano, Honduras. Tesis Zamorano Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria.
- VAN DE VRIE, M., J. A. MCMURTRY, AND C. B. HUFFAKER. 1972. Ecology of tetranychid mites and their natural enemies: a review. III. Biology, ecology and pest status, and host plant relations of tetranychids. *Hilgardia* 41: 343-432.
- WERMELINGER, B., J. J. OERTLI, Y V. DELUCCHI. 1985. Effect of host plant nitrogen fertilization on the biology of the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae*. *Entomologia Experimentales et Applicata*. 38: 23-28.
- WILSON, L. J. 1994. Plant-quality effect on life-history parameters of the twospotted spider mite (Acari: Tetranychidae) on cotton. *Journal of Economic Entomology*. 87: 1665- 1673.
- ZHANG, Q. Z. 2003. Mites of greenhouses, Identification biology and control. Cabi Publishing. 235 p.

Serie documental: polizones de las flores

Documental series: stowaways on flowers

Maritza Mantilla¹ y Ximena Serrano Gil²

¹Coordinadora Investigación NaturaVisión maritzamantilla@naturavision.com. ²Periodista científica. Gerente General NaturaVisión ximenaserrano@naturavision.com.

Los cultivos de ornamentales de corte en Colombia tienen una alta diversidad de artrópodos e invertebrados que están asociados de forma directa como plagas y/o benéficos, o indirecta como insectos propios de un agroecosistema y visitantes ocasionales (Campos *et al.* 2007). La dinámica poblacional de los artrópodos plaga de cultivos de flores se ha intensificado por situaciones como el cambio climático, la resistencia a plaguicidas y los movimientos pasivos con el transporte de material vegetal entre países, entre otras (Vergara 2009a, Copete y Lee 2007). Una de las problemáticas de mayor importancia que se presentan en la producción de ornamentales de corte es la presencia de plagas en los productos despachados hacia los diferentes destinos de exportación (Torrado-León 2009). Las acciones que realizan los inspectores sanitarios cuando son detectadas, dependen del riesgo de invasión biológica, por esta razón son frecuentes las fumigaciones cuando se conoce el tratamiento apropiado; sin embargo, los casos de devolución mandatoria y/o destrucción son por falta de un tratamiento aprobado para mitigar la plaga (USDA 2000, Caton *et al.* 2006). Todo esto, trae como consecuencia una mayor vigilancia en los productos provenientes de nuestro país y aumento en los costos de producción y exportación de los ornamentales de corte (Guerra y Forero 2002).

Entre las plagas de mayor importancia cuarentenaria de los despachos de ornamentales de Colombia se encuentran *Thrips palmi* (Thysanoptera: Thripidae) (Forero 2005, NAPPO S.F.), *Copitarsia* (Lepidoptera: Noctuidae) (Torrado y Lee 2005, Torrado *et al.* 2005, Venette y Gould. 2006, Simmons y Scheffer 2004), *Liriomyza huidobrensis* (Diptera: Agromyzidae) (Arévalo *et al.* 2005, Vergara 2009b) y escarabajos (Coleoptera: Melolonthidae) (Sánchez 2002, Yepes *et al.* 2000, Londoño 2005). Por lo anterior, el Centro de Innovación de la Floricultura Colombiana, CENIFLORES, produjo la serie documental *Polizones de las Flores* sobre estas cuatro plagas cuarentenarias importantes de la producción de ornamentales de corte. Estos documentales son propuestos como material didáctico para la capacitación del personal de empresas dedicadas a la exportación de flores y “verdes”, con el fin de disminuir las plagas indeseables para su comercialización (Ceniflores 2007, Ceniflores 2008 a, b y c).

A continuación, se describen los cuatro documentales.

Polizones de las flores: *Copitarsia*



Este documental presenta la biología de la polilla *Copitarsia decolora* (Lepidoptera: Noctuidae) desde la oviposición en cultivo de flores y eclosión, pasando por la voracidad de la alimentación de sus larvas y la formación de la pupa, hasta la emergencia del adulto. Así mismo, detalla cómo huevos y larvas se encuentran en las cajas de exportación de ornamentales de corte, las cuales ingresan a través de diferentes a las salas de clasificación, empaque y/o almacenamiento. De esta manera, llegan por desplazamientos pasivos a los países de destino de la exportación. Esta plaga puede afectar más de 50 especies de plantas, en las que se destacan el pimentón, frijón, tomate, papa y ornamentales, entre otras. Esta es la razón por la cual se considera como una plaga cuarentenaria importante. El documental fue realizado en cultivos de alstroemeria en la sabana de Bogotá, así como en los estudios profesionales de video de aproximación y macrofotografía de NaturaVisión. La duración de es 6 min. y se encuentra en formato DVD (Ceniflores 2007).

Polizones de las flores: *Thrips palmi*



El documental Polizones de las flores: *Thrips palmi*, una plaga de origen asiático, describe la biología de los trips (Thysanoptera: Thripidae) en todas los estados de desarrollo, es decir desde huevo hasta adulto. Se muestran con detalle comportamientos de alimentación, oviposición y desplazamiento. El video hace énfasis en cómo se embarcan en las cajas de exportación de ornamentales de corte, que por lo general es a través del cultivo. Así mismo, presenta las estrategias de manejo más importantes. Este material didáctico fue grabado en Antioquia y Valle del Cauca. La duración de es 8 min. y se encuentra en formato DVD (Ceniflores 2008a).

Polizones de las flores: Minadores, *Liriomyza huidobrensis*



Las moscas minadoras de los cultivos de ornamentales se constituyen en uno de los problemas de mayor importancia como plagas cuarentenarias. El video *Polizones de las flores: Minadores, Liriomyza huidobrensis*, recoge impresionantes imágenes de los mecanismos de alimentación de larvas y adultos, cópula, oviposición y emergencia de los adultos del *puparium*. Así mismo, se muestra cómo los adultos de este minador generan los daños a los cultivos cuando rompen los tejidos vegetales para alimentarse u ovipositar, también se registran las larvas cuando se alimentan y generan las minas en medio de la hoja. El ingreso de los huevos, larvas y pupas a las cajas de exportación se realiza directamente del material vegetal que llega a las salas de clasificación, empaque y almacenamiento. Finalmente, se presentan las estrategias de manejo más importantes de esta plaga. El documental fue grabado en cultivos comerciales de crisantemo en la sabana de Bogotá y pompón en Antioquia, así como en los estudios profesionales de video de aproximación y macrofotografía de NaturaVisión. La duración de es 12 min. y se encuentra en formato DVD (Ceniflores 2008b).

Polizones de las flores: Escarabajos melolontidos, *Ancognatha* spp.



Los coleópteros de mayor importancia como plagas cuarentenaria que afectan las ornamentales de corte en Colombia son conocidos como “chisas”, “marceños”, “abrileños”, “mayeros” o “gallinas ciegas” (Torrado-León 2009) y pertenecen a la familia Scarabaeidae “Pleurosticti” o Melolonthidae (*sensu* Endrödi, 1966, 1985) (Neita y Gaigl 2008). Los daños son realizados por las larvas cuando se alimentan de

las raíces de las plantas o por los adultos de algunas especies que lo hacen de las hojas y flores. Según Rodríguez (1997), las chisas pueden causar hasta el 100% de pérdida de la producción.

En este documental, Ceniflores presenta aspectos relevantes de la biología de las larvas y los adultos, así como los daños producidos, especialmente, por las larvas denominadas “chisas”. Por otro lado, trata sobre las diferentes estrategias de manejo que se realizan para disminuir su presencia en los cultivos y su ingreso a las salas de poscosecha de flores. En el documental se muestra cómo estos escarabajos tienen un comportamiento fototáctico positivo, es decir son atraídas hacia la luz, que después de volar en espiral en los bombillos de las luces encendidas en las salas de poscosecha, especialmente cuando se requiere trabajar hasta altas horas de la noche en épocas de mayor producción como San Valentín o para el Día de la Madre, se agotan y caen directamente en las cajas o cerca de ellas para buscar refugio, así se introducen en empaques y cajas armadas, o directamente en los productos que están listos para el envío.

Este documental fue realizado en cultivos comerciales de flores en la sabana de Bogotá, así como en los estudios profesionales de video de aproximación y macrofotografía de NaturaVisión. La duración de es 8 min. y se encuentra en formato DVD (Ceniflores 2008c).

La serie documental **Polizones de las Flores**, se constituye en el primer material didáctico sobre plagas cuarentenarias de las flores del país y es una potente herramienta para la capacitación del personal encargado de los procesos de producción y exportación de ornamentales de corte, así como un material científico para investigadores y estudiantes de las diferentes profesiones relacionadas.

La cada vez mayor generación de conocimiento e innovación debe contribuir a mejorar la calidad de vida y la producción de todos los sectores de la sociedad, de ahí que la apropiación social de la ciencia y la tecnología, y por lo tanto el uso del conocimiento, permiten tomar decisiones y generar progreso. Razón por la cual, hoy más que nunca, es necesario fomentar y difundir el conocimiento científico.

Literatura citada

- ARÉVALO, E. LEE, R. Y COMITÉ DE BARRERAS DE ANTIOQUIA. 2005. Los minadores de la hoja Diptera: Agromyzidae. En: Plagas y Enfermedades de carácter cuarentenario en flores de corte. Convenio ICA-Asocolflores. Produmédios Editoriales y Audiovisuales..
- CAMPOS, D., P. GONZÁLEZ, R. LEE Y E. TORRADO-LEÓN. 2007. Diversidad de artrópodos asociados a cultivos de flores. *Revista Asocolflores*. 69: 30-37.
- CATON, B. P., T. T. DOBBS Y CH. F. BRODEL. 2006. Arrivals of hitchhiking insect pests on international cargo aircraft at Miami International Airport. *Biological Invasions*. 8: 765–785.
- CENIFLORES. 2007. Polizones de las flores: *Capitarsia*. Formato DVD. Idioma: español, género: documental científico; duración 6 min.; producción Ceniflores. Realización NaturaVisión Ltda. Colombia.
- CENIFLORES. 2008a. Polizones de las flores: *Thrips palmi*. Formato DVD. Idioma: español, género: documental científico; duración 8 min.; producción Ceniflores. Realización NaturaVisión Ltda. Colombia.
- CENIFLORES. 2008b. Polizones de las flores: minadores *Liriomyza huidobrensis*. Formato DVD. Idioma: español, género: documental; duración 12 min.; producción Ceniflores. Realización NaturaVisión Ltda. Colombia.

- CENIFLORES. 2008c. Polizones de las flores: escarabajos melolóntidos. Formato DVD. Idioma: español, género: documental; duración 8 min.; producción Realización NaturaVisión Ltda. Colombia.
- COPETE, N. P. y R. LEE. 2007. El estado de arte del control de ácaros en la floricultura colombiana. *Revista Asocolflores*. 69: 55-56.
- FORERO, D. 2005. *Thrips palmi* Thysanoptera: Thripidae. En: Plagas y enfermedades de carácter cuarentenario en flores de corte. Instituto Colombiano Agropecuario. Asocolflores.
- GUERRA, J. y FORERO, D. 2002. Principales interceptaciones de plagas en flores provenientes de la Sabana de Bogotá en el puerto de Miami, y su implicación fitosanitaria. *Revista Asocolflores*. 63: 51-57.
- LONDOÑO, M. 2005. *Ancognatha* spp. Coleoptera: Melolonthidae. En: Plagas y Enfermedades de carácter cuarentenario en flores de corte. Convenio ICA-Asocolflores. Produmedit Editoriales y Audiovisuales.
- NAPPO. Sin Fecha. Thrips palmiKarny. New pathway from South America. <http://www.pestalert.org/espanol/viewArchPestAlert.cfm?rid=2&keyword=Thrips%20palmi>. Página consultada el 20 de mayo de 2010.
- NEITA, J.C. y A. GAIGL. 2008. Escarabajos de importancia agrícola en Colombia. Bogota.162 pp
- SÁNCHEZ, C. F. 2002. Determinación de especies de chisas (Coleoptera: Melolonthidae) y propuesta de monitoreo en cultivos de rosa y alstroemeria al occidente de la sabana de Bogotá. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía. Santafé de Bogotá.
- SIMMONS, R. B., y SCHEFFER, S. J. 2004. Evidence of cryptic species within the pest *Copitarsia decolora* (Guenée) (Lepidoptera: Noctuidae). *Annals of the Entomological Society of America*. 97 (4): 675 - 680.
- TORRADO-LEÓN, E. 2009. Situación actual de las plagas en cultivos ornamentales de corte en Colombia. Memoria. XXXVI Congreso Colombiano de Entomología Socolen. Medellín 29,30 y 31 de Julio de 2009.
- TORRADO-LEÓN, E. y R. A. LEE. 2005. *Copitarsia decolora* (Guenée, 1852) Lepidoptera: Noctuidae. En: Plagas y Enfermedades de carácter cuarentenario en flores de corte. Convenio ICA-Asocolflores. Produmedit Editoriales y Audiovisuales. VII: 1-9 pp.
- TORRADO-LEÓN, E., R. LEE y S. R. MUÑOZ. 2005. Reconocimiento de *Copitarsia decolora* (Guenée, 1852) (Lepidoptera: Noctuidae) en cultivos de flores de exportación en Colombia. *Revista Asocolflores*. 67: 4-10.
- USDA. 2000. Guidelines for pathway-initiated pest risk assessments. US Department of Agriculture, Animal and Plant Health Inspection Service, Plant Protection and Quarantine. <http://www.aphis.usda.gov/ppq/prq/>.
- VENETTE, R. C. y J. R. GOULD. 2006. A pest risk assessment for *Copitarsia* spp., cutworms of economic importance south of the U.S. border. *Euphytica*. 148: 165–183
- VERGARA, R. R. 2009a. La dinámica poblacional de los insectos y el cambio climático. *Revista Metro Flor*. 30: 22-31.
- VERGARA, R. R. 2009b. Los minadores de las hojas. Complejo biológico con interrogantes para su manejo. *Revista Metro Flor*. 30: 40-51.
- YEPES, F., L. C. PARDO, C. R. PÉREZ, J. A. QUIROZ. 2000. Contribución al reconocimiento de especies de escarabajos (Coleoptera: Scarabaeoidea) en el departamento de Antioquia. Memorias, XXVII Congreso Sociedad Colombiana de Entomología-SOCOLEN. Medellín, julio 26-28, 2000. p. 351-380.

PROGRAMACIÓN GENERAL XXXVII CONGRESO DE LA SOCIEDAD COLOMBIANA DE ENTOMOLOGÍA

HORA		Miércoles 30 de junio				Jueves 1 de julio				Viernes 2 de julio		
Mañana	7:00-8:00	Inscripciones y recepción material de expositores. Auditorio Félix Restrepo.				Inscripciones				SIMPOSIOS 7, 8 y 9. Edificio Fernando Barón		
	8:00-8:30					Sesiones 2h 30 Edificio Fernando Barón						
	8:30-9:00											
	9:00-9:30											
	9:30-10:00											
	10:00-10:30	Instalación. Auditorio Félix Restrepo.				RECESO y traslado				RECESO y traslado		
	10:30-11:00					MAGISTRALES 3 y 4 Auditorio Félix Restrepo A y B				MAGISTRALES 5 y 6 Auditorio Félix Restrepo A y B		
11:00-12:00	MAGISTRALES 1 y 2 Auditorio Félix Restrepo A y B											
Tarde	12:00-1:30	Almuerzo libre y traslado				Almuerzo y traslado				Almuerzo y traslado		
	1:30-2:00	Sesiones 2h Edificio Fernando Barón				SIMPOSIOS 4, 5 y 6. Edificio Fernando Barón				Sesiones 2h Edificio Fernando Barón		
	2:00-2:30					Salón 309. Simposio 4. Protección de Cultivos, MIP. Salón 409. Simposio 5. Entomología forense. Salón 509. Simposio 6. Control Biológico. Salón 209. Charla ICN						
	2:30-3:00											
	3:00-3:30											
	3:30-4:00	RECESO								RECESO y traslado		
	4:00-4:30	SIMPOSIOS 1, 2 y 3. Edificio Fernando Barón				RECESO				MAGISTRALES 7 y 8 Auditorio Félix Restrepo		
	4:30-5:00	Salón 309. Simposio 1. Comportamiento de insectos y ecología química.	Salón 409. Simposio 2. Aracnología.	Salón 509. Simposio 3. Entomología médica.	Salón 209. Grupo GCO	Sesiones 1h 30 Edificio Fernando Barón						
	5:00-5:30											
	5:30-6:00									Premiación, lanzamiento XXXVIII Congreso Socolen 2011 y clausura XXXVII Congreso		
	6:00-6:30											
	6:30-9:00					Asamblea de socios						
9:30 pm - 2:00 am										Fiesta de clausura. CAFAM		

SALONES DE SESIONES (Edificio 2. Fernando Barón)

Salón 205. Taxonomía y Biología molecular	Salón 305. Biología y Entomología forense
Salón 207. Manejo de plagas	Salón 307 y 309. Biodiversidad, ecología y conservación
Salón 209. Manejo de plagas y Protección de cultivos	Salón 409 y 509. Control biológico
Salón 301. Comisión académica	Piso 7. Salón Santiago Páramo. Carteles y <i>stands</i>
Salón 303. Entomología médica	Piso 7. Salón Santiago Páramo. Secretaria.

Miércoles 30 de junio de 2010

a.m.	7:00-10:00	Inscripciones y recepción de material de expositores. Auditorio Félix Restrepo.					
	10:00-11:00	Instalación del XXXVII Congreso Sociedad Colombiana de Entomología. Auditorio Félix Restrepo.					
	11:00-12:00	Conferencia Magistral 1. Auditorio Félix Restrepo A.			Conferencia Magistral 2. Auditorio Félix Restrepo B.		
		Detección de alelos resistentes a las toxinas del <i>Bacillus thuringiensis</i> en plagas de Lepidoptera (Noctuidae). Carlos Blanco , Ph. D., United States Department of Agriculture, USA.			El rol de la entomología en el escenario de las Ciencias Forenses. María Dolores García , Ph. D., Universidad de Murcia, España.		
p.m.	12:00-1:30	Almuerzo libre					
	1:30-3:30	Presentaciones orales: salones 1 a 9. Presentaciones de carteles: salón Santiago Páramo.					
	3:30-4:00	Receso					
		Salón309. Simposio 1. Comportamiento de insectos y ecología química. Coord: Nancy Barreto-Triana, Ph. D. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-Corpoica, C.I. Tibaitatá.	Salón 409. Simposio 2. Aracnología. Coord: Eduardo Flórez, M. Sc. Cand. Ph. D., Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.		Salón 509. Simposio 3. Entomología médica. Coord: Carolina Torres G., M. Sc. Programa para Estudio y Control de Enfermedades Tropicales (PECET), Universidad de Antioquia.		
	4:00-4:25	1. Comportamiento e ecología química de insetos: Aplicações no manejo de pragas. José Mauricio Bento , Ph. D. Esalq-Universidade de São Paulo, Brasil.	1. Estado actual del conocimiento de arañas (Aranae) en Colombia. Alexander Sabogal , M. Sc. Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.	4:00-4:30	1. Problemas en la taxonomía de <i>Anopheles</i> y recomendaciones para el desarrollo de estudios taxonómicos como herramienta básica de estudio. Eduardo Bergo , Ph. D. Universidade de São Paulo, Brasil.	4:00-6:30 pm. SALÓN 209. PRESENTACIÓN GRUPO COLOMBIANO DE ODONATOLOGÍA (GCO)	
	4:25-4:50	2. Metodologías para o Isolamento, Identificação Estrutural e Síntese de Feromônios. Paulo Henrique Zarbin , Ph. D. Universidade Federal do Paraná -UFPR, Brasil.	2. Acari y la importancia de nuevos estudios en Colombia. Orlando Cómbita , M. Sc. Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.	4:30-5:00	2. Técnicas de biología molecular para la tipificación de insectos de importancia médica: Iniciativa Barcoding. Sandra Uribe , Ph. D. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.		
	4:50-5:15	3. Ecología química en insectos hematófagos. Jorge Molina , Ph. D. Universidad de los Andes, Bogotá, D. C.	3. Los Pedipalpi (Arachnida: Amblypygi, Thelyphonida, Schizomida) en el norte de Suramérica con énfasis en la fauna colombo-venezolana, estado actual de su conocimiento taxonómico. Oswaldo Villarreal , Cand. M. Sc. Entomología.MIZA-Venezuela.	5:00-5:30	3. El control vectorial de la leishmaniasis en Colombia: Experiencias y retos para el futuro. Raul Pardo , Ph. D. Universidad de la Salle, Bogotá, D.C.		
	5:15-5:40	4. Respuesta de las plantas a la herbivoría: su aplicación en sistemas agrícolas. Katja Poveda , Ph. D., Pos Doc. Cornell University, USA.	4. Opiliones Laniatores neotropicales. Un compendio sobre su conocimiento taxonómico con énfasis en la fauna del norte de Suramérica. Oswaldo Villarreal , Cand. M. Sc. Entomología.MIZA-Venezuela.	5:30-6:00	4. Mosquitos asociados a guadua en algunas zonas rurales de Colombia. Carolina Torres G. , M.Sc. PECET - Universidad de Antioquia.		
	5:40-6:05	5. Efecto del uso integrado de estímulos repelentes y atrayentes sobre <i>Tecia solanivora</i> en cultivos de papa. María Isabel Gómez , M.Sc. Investigadora Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.	5. Escorpiones: Estado actual de su conocimiento en Colombia. Eduardo Flórez , M. Sc. Cand. Ph. D., Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.	6:00-6:30	Discusión		
	6:05-6:30	Discusión	Discusión				

CARTELES Y STAND. SALÓN SANTIAGO PÁRAMO

Jueves 1 de julio de 2010

a.m.	7:00-8:00	Inscripciones				
	8:00-10:30	Edificio Fernando Barón. Sesiones orales: salones 1 a 9. Sesiones de carteles: salón Santiago Páramo.				
	10:30-11:00	Receso y traslado				
	11:00-12:00	Conferencia Magistral 3. Auditorio Félix Restrepo A.		Conferencia Magistral 4. Auditorio Félix Restrepo B.		
Ecología química en las relaciones tritróficas planta-plaga-enemigo natural. José Mauricio Bento, Ph. D. Esalq-Universidade de São Paulo, Brasil.		Nuevas Tecnologías para El Manejo Integrado de Insectos. Luis Gómez, I.A. Dow AgroSciences.				
p.m.	12:00-1:30	Almuerzo				
		Edificio Fernando Barón	Salón 309. Simposio 4. Protección de Cultivos, MIP. Coord: Daniel Vergara, Ph.D. Syngenta, Bogotá, D.C.	Salón 409. Simposio 5. Entomología forense. Coord: Ginna Paola Camacho Cortés, Esp. Cand. Doctorado en Ciencias Forenses. Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses, Bogotá, D. C.	Salón 509. Simposio 6. Control Biológico. Coord: Fernando Cantor, Ph.D. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, D. C. y María del Rosario Manzano, Ph. D. Universidad Nacional de Colombia, Palmira.	
	1:30-2:00		1. CuidAgro y Campo Limpio aliados para el Manejo Integrado de Cultivos. Dra. María Helena Latorre. Directora Ejecutiva. Cámara procultivos-ANDI.	1. Insectos (Diptera, Coleoptera, Hymenoptera) presentes en cadáveres en el Neotrópico: aspectos ecológicos y taxonómicos. Ingrid Eliana Buenaventura Ruiz, M. Sc. y Luz Elena Cifuentes Ortiz, B. Sc. Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses, Bogotá, D. C.	1. Biological Control of Pests in Protected Cultivation: implementation in Latin America and successes in Europe. Vanda Helena Paes Bueno, Ph. D. Universidade Federal de Lavras, Brasil.	
	2:00-2:30		2. Las alternativas químicas recientes para el manejo de ácaros en flores. Alberto Murillo, I.A. Sumitomo Corp ANDI.	2. Entomología forense en Colombia y sus implicaciones en la actividad pericial. Alexandra Segura Guerrero, M. Sc. Universidad del Rosario, Bogotá, D. C.	2. Secondary pests in Bt cotton: learning from Chinese experiences to anticipate pest outbreaks in Colombian cotton production. Kris A. G. Wyckhuys, Ph. D. CIAA. Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, D. C.	2:00 - 3:00 pm. Salón 209. La Diversidad de insectos en Colombia: entognatos a polineópteros. Germán Amat y Fernando Fernández, ICN, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.
	2:30-3:00		3. Acción bioactivadora del Thiametoxan. Paulo Roberto de Camargo e Castro, Ph. D. ESALQ - Universidade de São Paulo, Brasil.	3. Entomología Forense en Acción: Casos de España. María Dolores García, Ph. D. Universidad de Murcia, España.	3. Biología aplicada: una forma de usar el control biológico de plagas agrícolas en Colombia. Henry Bustos, M. Sc. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, D. C.	
	3:00-3:30		4. Coragem® Rynaxipir™: último desarrollo de DuPont en insecticidas. Juan Manuel Lombana, I.A. DuPont.	4. Entomología Forense en Acción: Casos de Colombia. Ginna Paola Camacho Cortés, Esp. Cand. Doctorado en Ciencias Forenses. Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses, Bogotá, D. C.	4. Aspectos regulatórios e a comercialização de inimigos naturais no Brasil. Danilo Pedrazoli, I.A. Gerente BUG Agentes Biologicos-Brasil.	
	3:30-4:00		Discusión	Discusión	Discusión	
	4:00-4:30		Receso			
	4:30-6:00		Presentaciones orales: salones 1 a 9. Presentaciones de carteles: salón Santiago Páramo.			
	6:00-6:30					
	6:30-9:00	Asamblea de socios. Auditorio Félix Restrepo.				

CARTELES Y STAND. SALÓN SANTIAGO PÁRAMO.

CARTELES Y STAND. SALÓN SANTIAGO PÁRAMO.

Viernes 2 de julio de 2010

a.m.		Edificio Fernando Barón	Salón 309. Simposio 7. Biotecnología. Coord: William Duarte, M.Sc. Universidad de Ciencias Ambientales y Aplicadas U.D.C.A., Bogotá, D. C.	Salón 409. Simposio 8. Biología Evolutiva. Coord: Angela Amarillo, Ph. D. Pontificia Universidad Javeriana y Carlos Sarmiento, Ph. D. Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.	Salón 509. Simposio 9. MIP ornamentales de corte. Coord: Edison Torrado-León, M.Sc. Director General NaturaVisión Ltda.	CARTELES Y STAND. SALÓN SANTIAGO PÁRAMO.	
	8:00-8:30		1. Biotecnología agrícola: dónde estamos y hacia dónde vamos. Gabriela Levitus , Ph. D. Argenbio. Buenos Aires, Argentina. Agrobio Colombia.	1. Indirect competition facilitates widespread displacement of one naturalized parasitoid of imported fire ants (Diptera: Phoridae: Pseudacteon) by another. Edward G. LeBrun , Ph. D. University of Texas at Austin, USA.	1. Manejo Integrado de Plagas en flores de corte. Fabiola Varcacel , M. Sc. Independiente.		
	8:30-9:00		2. Necesidades de conocimiento previo a la comercialización de cultivos transgénicos. Carlos Blanco , Ph. D. United States Department of Agriculture, USA.	2.Espeiación en lepidopteros: <i>Spodoptera frugiperda</i> un caso particular de especiación simpátrica. Clara Saldamando , Ph. D. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.	2. Control biorracional de plagas ornamentales de corte. James Alberto Jiménez , EcoFlora S.A.S.		
	9:00-9:30		3. Determinación del comportamiento diferencial de la expresión de toxinas en plantas genéticamente modificadas. Rodolfo Mejía Cruz , M.Sc. Universidad de Ciencias Ambientales y Aplicadas U.D.C.A., Bogotá, D. C.	3. Plasticidad fenotípica, adaptación local, y variabilidad: Posibilidades y restricciones de especiación en herbívoros. Angela Amarillo , Ph. D. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, D. C.	3. Arañitas (Acari: Tetranychidae): Megaplagas de las flores. Edison Torrado-León , M. Sc. Director General NaturaVisión Ltda.		
	9:30-10:00		4. Posibilidades de uso de entomopatógenos genéticamente modificados en el control de plagas. Carmenza Góngora , Ph. D. Centro de Investigaciones del Café, Cenicafé, Colombia.	4. Especiación y morfología en insectos: Mucho que decir en una era de moléculas. Carlos Sarmiento , Ph. D. Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.	4. Serie documental "Polizones de las flores". Maritza Mantilla , Coordinadora Investigación NaturaVisión Ltda.		
	10:00-10:30		Discusión	Discusión	Discusión		
	10:30-11:00		Receso y traslado				
	11:00-12:00	Conferencia Magistral 5. Auditorio Félix Restrepo A.		Conferencia Magistral 6. Auditorio Félix Restrepo B.			
Production Agriculture and Ecosystem Services: Can GM Crops Bridge the Gap? William Hutchinson , Ph. D. University of Minnesota, USA.		Longitudes de onda e intensidades de luz en la atracción de insectos hematófagos. Jorge Molina , Ph. D. Universidad de los Andes, Bogotá, D. C.					
p.m.	12:00-1:30	Almuerzo					
	1:30-3:30	Edificio Fernando Barón. Presentaciones orales: salones 1 a 9. Presentaciones de carteles: salón Santiago Páramo.					
	3:30-4:00	Receso y traslado					
	4:00-5:00	Conferencia Magistral 7. Auditorio Félix Restrepo A.		Conferencia Magistral 8. Auditorio Félix Restrepo B.			
		Comparative studies of the biology of invasive species in their native and introduced ranges: a tool for understanding the causes of their success. Edward G. LeBrun , Ph. D. University of Texas at Austin, USA		Cambio y variabilidad del clima y relaciones con la agricultura colombiana, con énfasis en aspectos sanitarios. Francisco Boshell , M.Sc. Profesor Asociado. Posgrado Meteorología. Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.			
	5:00-6:30	Premiación, lanzamiento XXXVIII Congreso Socolen 2011 y clausura XXXVII Congreso. Auditorio Félix Restrepo.					
9:00 pm - 2:00 am		Fiesta de clausura. Centro de Convenciones CAFAM La Floresta.					