



MEMORIAS

Cambio Climático: Retos y Oportunidades para la Entomología



38.º

Congreso

Sociedad Colombiana de Entomología

SOCOLEN



MEMORIAS

Cambio Climático: Retos y Oportunidades para la Entomología



38.º
Congreso

Sociedad Colombiana de Entomología

SOCOLEN

© Copyright 2006 Sociedad Colombiana de Entomología
Socolen - www.socolen.org.co
Julio de 2011
ISBN: 978-958-99120-5-8

Edición General

Carmenza E. Góngora B.
Luis Miguel Constantino

Diseño y Diagramación

Espacio Gráfico Comunicaciones S.A.

Impresión

Espacio Gráfico Comunicaciones S.A.

Impreso en Colombia
Printed in Colombia

**JUNTA DIRECTIVA
2010-2012
Sociedad Colombiana de Entomología - SOCOLEN**

Presidente

Eduardo Flórez
Instituto de Ciencias Naturales
Universidad Nacional de Colombia

Vicepresidente

Nancy Barreto
Manejo Fitosanitario
Centro de Investigación Tibaitatá
Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica)

Secretario

Alcibíades Suárez
APHIS-USDA

Tesorero

Alexander Sabogal
Universidad INCCA

Vocal Principal

Emilio Realpe
Universidad de Los Andes

Vocal Principal

Patricia Pinzón
Laboratorio de Diagnóstico Fitosanitario Forestal
Universidad Distrital de Colombia

Vocal Principal

Ginna Paola Camacho
Laboratorio de Entomología Forense - Grupo de Ciencias Forenses
Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses

Vocal Suplente

Cecilia Cantor
Universidad Nacional de Colombia

Vocal Suplente

Diana Marcela Rueda
Laboratorio de Ecología de Suelos y Hongos Tropicales
Pontificia Universidad Javeriana

COMITÉ ORGANIZADOR 38.º Congreso SOCOLEN

Presidente

Pablo Benavides

Vicepresidente

Lucimar Gomes Dias

Secretaria y Tesorera

Marisol Giraldo Jaramillo

Comisión Académica

Carmenza Góngora

Luis Miguel Constantino

Alberto Soto

Ana María Castro

Comisión Recursos Físicos

Juan Carlos López

Fernando Vallejo

Comisión Financiera

Patricia Marín

Clemencia Villegas

Comisión Publicidad

Luz Ángela Galindo

Jorge Luis Jaramillo

Juan Carlos Ortiz

Comisión Eventos Sociales

Catalina Grisales

**AGRADECEMOS A LAS SIGUIENTES EMPRESAS,
SU VINCULACIÓN CON EL 38.º CONGRESO SOCOLEN**

PATROCINADORES

ALCALDÍA DE MANIZALES
AGROSOFTWARE
BAYER CROPSCIENSE S. A.
BIOWEB
BIOPROTECCIÓN
BIOLOGIKA GROUP
BUENDÍA - FÁBRICA DE CAFÉ LIOFILIZADO
CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ "CENICAFÉ"
CONTROL DE BIOINSUMOS
DOW AGROSCIENCES
ENTOMOFAGIA
FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA
FLORES DEL CAMPO
INSTITUTO DE CULTURA Y TURISMO DE MANIZALES
INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO "ICA"
NATURAL CONTROL
NATURAVISIÓN
ORGANIZACIÓN PAJONALES S.A.
ORBIOTEC SAS.
PROFICOL
SAFER AGROBIOLÓGICOS
SECRETARÍA DE COMPETITIVIDAD Y FOMENTO EMPRESARIAL DE MANIZALES
SYNGENTA
UNIVERSIDAD DE CALDAS
VALENT BIOSCIENCES CORPORATION

MUESTRA COMERCIAL

ADVANCED INSTRUMENTS LTDA.

ACOPAFLOR

AVIANCA

BIOLOGIKA GROUP

"BIOMOL" BIOLOGÍA MOLECULAR LTDA.

INSTITUTO DE CULTURA Y TURISMO

KEMTEK S.A.S.

NATURAL CONTROL

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA

SANITAS LAB TECHNOLOGY

SAFER AGROBIOLÓGICOS

SOLUCIONES MICROBIANAS DEL TRÓPICO

PRESENTACIÓN

Bajo el lema de **Cambio Climático: Retos y Oportunidades para la Entomología**, nos reuniremos este año nuevamente en la ciudad de Manizales para realizar el 38º. Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología, SOCOLEN 2011.

Nuestro objetivo es presentarles un programa académico que mantenga la excelencia científica que siempre ha caracterizado este congreso, por lo tanto nos hemos esforzado en poner juntos siete simposios, que reúnen a más de treinta especialistas nacionales e internacionales. Además, de siete conferencias magistrales.

Tanto los simposios como las conferencias magistrales se caracterizan este año por la diversidad de temas, tratando de incluir tópicos relacionados con los diferentes aspectos de la entomología de tal forma que todos los sectores y socios se vean representados y en donde se destaca la calidad científica de todos los invitados.

Es así como entre los simposios tenemos temas de actualidad ligados al lema del congreso, los simposios de: **-Variabilidad Climática y Efectos en el Control Biológico -Bioindicadores de Calidad Ambiental y -Cambio Climático y -Entomología Médica y Forense y su Relación con el Ambiente**, mostrarán el efecto directo del clima en las poblaciones de insectos y las repercusiones en los diferentes aspectos entomológicos. Temas de interés agrícola como es el caso del simposio de **-Manejo Integrado de Plagas y Agricultura de Precisión** y el **-Simposio de Acarología**, así como el de **Entomología Diversa**, mostrarán temas "diferentes" y muy interesantes relacionados con los insectos. Finalmente, se presentará un Simposio en Staphylinidae, el cual convoca a un alto número de científicos a reunirse y discutir este importante y nuevo grupo de investigaciones en el país.

Para las conferencias magistrales tenemos destacados científicos que hablarán de:

- Cambio climático y la agricultura: una redistribución geográfica de cultivos, plagas, enfermedades y la biodiversidad a cargo del **Dr. Andy Jarvis**, CIAT. Colombia.
- Efectos de la radiación UV sobre las interacciones entre plantas e insectos a cargo del **Dr. Carlos Alberto Mazza**. IFEVA - CONICET. Argentina.
- Cambio Climático y Biodiversidad: **Dr. Fernando Gast**. Cenicafé. Colombia.
- Manejo integrado de plagas en áreas extensas. **Dr. Jorge Hendrichs**. FAO/IAEA Programme. Austria.
- Los insectos en la cultura de sociedades contemporáneas. **Dr. José Luis Navarrete**. Universidad de Guadalajara. México.

- Un herbívoro que manipula el sistema de defensa de la planta a cargo del **Dr. Angelo Pallini**. Universidad Federal de Viçosa, Brasil.
- Compatibilidad de productos alternativos y agentes de control biológico para el manejo de plagas en la agricultura orgánica a cargo de la **Dra. Madeleine Venzon**. Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – EPAMIG. Brasil.

Sea esta la oportunidad para agradecer a todos los Simposistas y Conferencistas Magistrales, al igual que a los coordinadores de los simposios por su colaboración con la Sociedad al aceptar nuestra invitación.

Agradecemos los aportes recibidos de las empresas patrocinadoras.

Esperamos que este congreso llene sus expectativas científicas y bienvenidos a la ciudad de Manizales y al 38°. Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología, SOCOLEN 2011.

Carmenza E. Góngora B.

Luis Miguel Constantino

Comisión Académica

TABLA DE CONTENIDO

CONFERENCIAS MAGISTRALES

- Efectos de la radiación ultravioleta- β solar sobre las interacciones entre plantas e insectos..... 14
- Manejo integrado de Plagas en áreas extensas..... 17
- Los insectos en la cultura de sociedades contemporáneas..... 29
- A herbivore that manipulates plant defence 43
- Compatibilidade de productos alternativos e agentes de controle biologico para o manejo de pragas na agricultura orgânica 61

SIMPOSIOS

SIMPOSIO 1:

Entomología Diversa 69

- Wikinsecta: una herramienta que facilitará el acceso a la información entomológica 70
- Caracteres sinapomórficos compartilhados na família Apidae: ênfase na ultra-estrutura dos espermatozóides..... 77
- Paleoentomología con invertebrados acuáticos del ecosistema paramuno 89
- Interferencia de las relaciones planta - insecto, alternativa para el control de plagas 103

SIMPOSIO 2:

Variabilidad Climática y Efectos en el Control Biológico 105

- Efecto del cambio y la variabilidad climática en la dinámica de infestación de la broca del café, *Hypothenemus hampei* en la zona central cafetera de Colombia 106
- Phenotypic variability in tolerance to UV- β radiation and heat of entomopathogenic fungi in an ever changing world..... 122

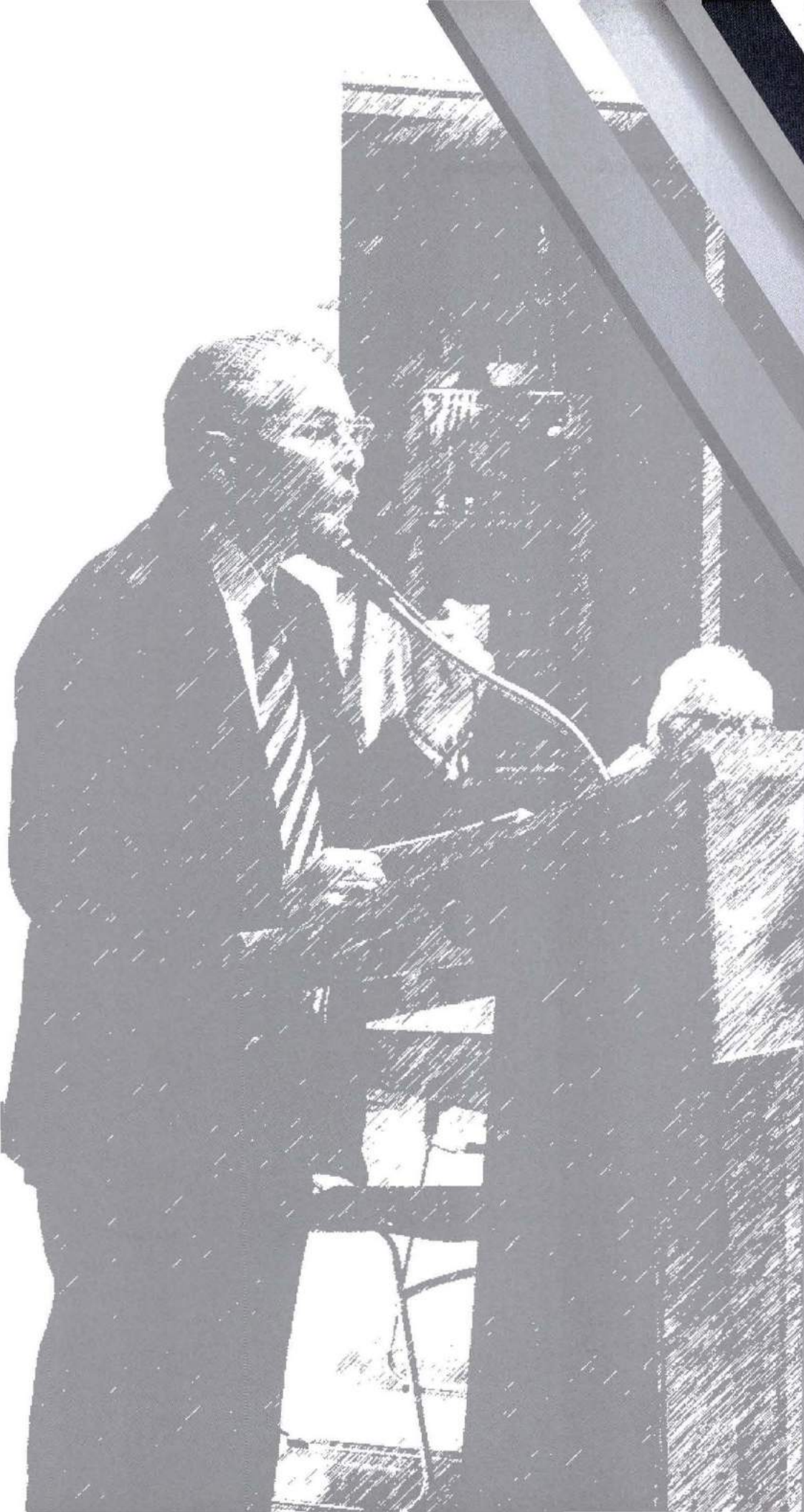
- Virus entomopatógenos y cambio climático..... 127
- Posibles impactos del cambio climático en los enemigos naturales de los insectos plagas 144

- SIMPOSIO 3:**
Entomología Médica y Forense y su Relación con el Ambiente 145
- Entomotoxicología Forense: Dez anos de pesquisas na UNICAMP..... 146
- ADN fósil: procesos evolutivos en la transmisión de la tripanosomiasis americana 151
- Cambio climático y brotes epidémicos de *Leishmania* en Colombia. ¿Hasta dónde existe una relación? 164
- Ecología de la descomposición y los insectos asociados: Presentación de estudios en Colombia..... 181

- SIMPOSIO 4:**
Manejo Integrado de Plagas y Agricultura de Precisión 189
- Ecoinformática para el manejo integrado de plagas: Un primer acercamiento 190
- Programas de supresión, contención, prevención y erradicación de tefrítidos integrando la técnica del insecto estéril..... 203
- Efecto del clima en las poblaciones del salivazo de la caña de azúcar, *Aeneolamia varia* (F.) (Hemiptera: Cercopidae) en el Valle del Cauca 213
- Acercamientos multidisciplinarios para promover el manejo integrado de plagas en gulupa, granadilla y maracuyá en Colombia..... 221

- SIMPOSIO 5:**
Importancia de Staphylinidae 223
- Xanthopygina (Staphylinidae: Staphylininae: Staphylinini) de Colombia: antecedentes, avances y perspectivas..... 224
- Hacia la Revisión y Filogenia del Género *Pselaphomorphus* Motschulsky (Coleoptera: Staphylinidae, Pselaphinae) 234

• Diversidad de estafilínidos (Coleoptera: Staphylinidae) asociados a tres bosques en el Santuario de Fauna y Flora Guanentá Alto Río Fonce, Andes Colombianos	239
• Estado actual del conocimiento de Staphylinidae en el departamento del Quindío: avances y perspectivas	246
• Estudio preliminar de los Staphylinidae de la Sabana de Bogotá	251
• Avances en la investigación de los estafilínidos del bosque seco del valle del río Cauca	262
• Staphylinidae (Coleoptera) reportados en estudios forenses del Neotrópico: aspectos taxonómicos, ecológicos y forenses.	276
 SIMPOSIO 6: Bioindicadores de Calidad Ambiental y Cambio Climático	293
• Entomofauna na avaliação ambiental: potencialidade ou utopia?	294
• Una propuesta metodológica para el uso de las mariposas como indicadores de cambio climático	297
• Los escarabajos de los troncos descompuestos (Coleoptera:Passalidae) en los estudios regionales y de valoración	312
• O uso da família Baetidae (Ephemeroptera) como bioindicador no Brasil.....	331
 SIMPOSIO 7: Acarología	339
• Problemática de ácaros asociados al cultivo de cítricos en Colombia	340
• Estrategias de apareamiento en ácaros (Acari) de importancia agrícola	356
• Ácaros acuáticos de Colombia (Acari: Hidrachnidia): Estado actual del conocimiento	363
• El ácaro rojo de las palmas <i>Raoiella indica</i> (Acari:Tenuipalpidae), una plaga potencial para América Latina.....	376



Simpósios
Conferências Magistrais

CONFERENCIAS MAGISTRALES

Efectos de la radiación ultravioleta- β solar sobre las interacciones entre plantas e insectos

Carlos Alberto Mazza

IFEVA - CONICET / Fac. de Agronomía - Cát. de Fisiología Vegetal,
Universidad de Buenos Aires,
Av. San Martín 4453 (CP 1417), Ciudad Autónoma de Buenos Aires,
Argentina.
Teléfono: 4524-8070. mazza@agro.edu.ar

Resumen

La radiación ultravioleta- β (UV- β : 290-315 nm) es una pequeña banda en el extremo más energético del espectro solar que llega a la troposfera. Su carga energética relativamente alta y su capacidad de ser absorbida por numerosos componentes celulares generan daños en los tejidos, lo que suele provocar reducciones en el crecimiento y rendimiento de los cultivos. Estos efectos han sido ampliamente documentados, aunque las reducciones en la acumulación de biomasa asociadas a los cambios detectados o esperados de UV- β raramente superan al 10 ó 15% (Fig. 1A; Ballaré *et al.*, 2011). Sin embargo, los efectos más importantes en cuanto a la magnitud de las respuestas se han observado en las interacciones con insectos herbívoros (Fig. 1B; Andrady *et al.*, 2009; Ballaré *et al.*, 2011). Es un hecho de observación que las plantas expuestas a la radiación UV- β sufren menos herbivoría que aquellas en donde este componente del espectro solar es atenuado. Las causas de este efecto pueden ser variadas, y se han documentado tanto efectos directos del UV- β sobre los insectos (Mazza *et al.*, 1999; Mazza *et al.*, 2002) como efectos

indirectos, es decir, mediados por cambios en las plantas (Izaguirre *et al.*, 2003; Caputo *et al.*, 2006; Izaguirre *et al.*, 2007; Demkura *et al.*, 2010). En ambos casos, la radiación UV- β puede actuar alterando la supervivencia, fecundidad, o generando cambios en el comportamiento de los insectos.

En las últimas décadas ha existido una importante preocupación en la comunidad científica y el público en general sobre los efectos que aumentos en los niveles de UV- β pudieran tener sobre los organismos y los ecosistemas. Disminuciones en los niveles de ozono estratosférico y, más recientemente, cambios en la nubosidad junto con estrategias de manejo de plantas cultivadas que maximizan el índice de área foliar en estadios tempranos del ciclo son todos factores que alteran el ambiente lumínico en el que interaccionan plantas e insectos. Nuestro grupo de trabajo (el Laboratorio de Fotobiología Ambiental, LAFA; <http://www.agro.uba.ar/users/ballare/index.htm>) se ha especializado en la influencia del ambiente lumínico sobre las plantas y sobre las interacciones con otros niveles tróficos, buscando entender los mecanismos involucrados en los procesos mencionados. Evidencia

reciente ha mostrado que la vía del ácido jasmónico (JA), una hormona vegetal, está fuertemente involucrada en la integración de señales provenientes de distintas fuentes (herbivoría, competencia, UV), y juega un rol central en las "decisiones" que las plantas realizan frente a múltiples estímulos, entre ellas la de asignar recursos para mitigar los efectos de la herbivoría.

Focalizada en parte desde la perspectiva de la fisiología de las plantas, en esta charla se repasarán algunos aspectos de la influencia de la radiación UV-β y otras señales del ambiente lumínico sobre las interacciones entre plantas e insectos herbívoros. Se discutirán resultados que abarcan distintas escalas de análisis: desde aspectos moleculares hasta efectos a nivel de lote.

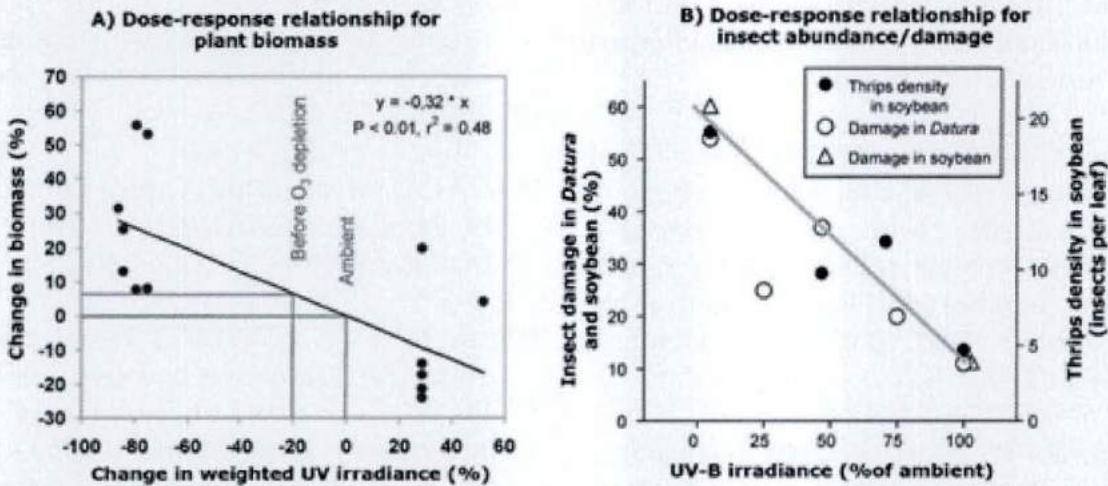


Figura 1. Relaciones dosis-respuesta para dos efectos de la radiación UV. **A)** Relación con la acumulación de biomasa de plantas. **B)** Relación con la abundancia de insectos o el daño generado por la herbivoría.

Referencias Bibliográficas

- Andrady A., et al. (2009) Environmental effects of ozone depletion and its interactions with climate change: Progress report 2008. *Photochemical and Photobiological Sciences* 8: 13-22.
- Ballaré CL., et al. (2011) Effects of solar ultraviolet radiation on terrestrial ecosystems. Patterns, mechanisms, and interactions with climate change. *Photochemical & Photobiological Sciences* 10: 226-241.
- Caputo CV., et al. (2006) Solar UV- β radiation alters the attractiveness of *Arabidopsis* plants to diamondback moths (*Plutella xylostella* L.). Impacts on oviposition and involvement of the jasmonic acid pathway. *Oecologia* 149: 81-90.
- Demkura PV., et al. (2010) Jasmonate-dependent and -independent pathways mediate specific effects of solar ultraviolet- β radiation on leaf phenolics and antiherbivore defense. *Plant Physiology* 152: 1084-1095.
- Izaguirre MM., et al. (2007) Solar ultraviolet- β radiation and insect herbivory trigger partially overlapping phenolic responses in *Nicotiana attenuata* and *Nicotiana longiflora*. *Annals of Botany* 99: 103-109.
- Izaguirre MM., et al. (2003) Convergent responses to stress. Solar ultraviolet- β radiation and *Manduca sexta* herbivory elicit overlapping transcriptional responses in field-grown plants of *Nicotiana longiflora*. *Plant Physiology* 132: 1755-1767.
- Mazza CA., et al. (2002) Insect perception of ambient ultraviolet- β radiation. *Ecology Letters* 5: 722-726.
- Mazza CA., et al. (1999) Perception of solar UV- β radiation by phytophagous insects: Behavioral responses and ecosystem implications. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 96: 980-985.

Manejo Integrado de Plagas en Áreas Extensas

J. Hendrichs¹, J. Reyes¹ and M.J.B. Vreysen¹

¹Joint FAO/IAEA Programme of Nuclear Techniques in Food and Agriculture, Department of Nuclear Applications, IAEA, Wagramerstrasse 5, A-1400 Vienna, Austria
J.Hendrichs@iaea.org

Resumen

En tiempos antiguos, cada familia satisfacía sus necesidades de servicios esenciales como agua, combustible, iluminación y drenaje independientemente de sus vecinos. El anhelo por un reparto más efectivo y eficiente de esos servicios transformó de "local" en "áreas extensas" (AE) el abastecimiento de agua limpia, la colecta de basura y la eliminación de aguas negras. Actualmente, los servicios en AE (ej. electricidad, correo, protección contra incendios, servicios de salud pública, transporte público, teléfono, internet, etc.) se han generalizado. Aplicado a insectos plaga, las estrategias en AE tienen sus raíces ancestrales en la lucha contra las enfermedades transmitidas por vectores y el control de la langosta. Estas se enfocan en el manejo preventivo de las poblaciones de la plaga a través del ecosistema, tratando todos los hábitats de la población de la plaga de tal manera que ninguno produzca migrantes para restablecer infestaciones significativas en áreas específicas. Por el contrario, las estrategias convencionales solamente se enfocan en defender el objeto de valor (cultivo, ganado, gente, edificios, etc.) del ataque directo por plagas. La gestión en AE requiere de una planeación multianual y una organización dedicada exclusivamente a su implementación, mientras que el manejo de plagas convencional involucra un mínimo de planeación a futuro, tiende a ser reactivo y es implementado de manera independiente por productores, negocios

o grupos familiares individuales. Durante varias décadas el manejo integrado de plagas (MIP) y el control de plagas en AE han sido vistos como paradigmas competidores con diferente objetivo y enfoque. Sin embargo, las dos "escuelas" han convergido gradualmente. El MIP-AE es paulatinamente aceptado para plagas móviles donde el manejo a gran escala es más efectivo y preferible que el enfoque poco coordinado a nivel local.

Palabras claves: Control de insectos plaga, área extensa, MIP, supresión, erradicación, programas operacionales.

Abstract

In earlier times, each extended family satisfied its needs for essential services such as water, fuel, lighting and sewage disposal independently of its neighbours. The desire for more effective and efficient delivery of these services transformed them from "local" to "area-wide" (AW) supply of clean water and the collection of the garbage and disposal of sewage. Today, AW services (e.g. electricity, mail service, fire protection, public health, high-speed transport, telephone, internet services, etc.) are widespread. Applied to insect pests, AW strategies have their ancient roots in coping with vector-borne diseases and locust plagues. They focus on the preventive management of pest populations throughout the ecosystem, treating all habitats of the pest population so that none produces migrants to re-

establish significant infestations in areas of concern. In contrast, the conventional strategy focuses narrowly on defending the valued entity (crop, livestock, people, buildings, etc.) from direct attack by pests. AW management requires multiyear planning, and an organization dedicated exclusively to its implementation, whereas conventional pest management involves minimal forward planning, tends to be reactive, and is implemented independently by individual producers, businesses, or households. For several decades integrated pest management (IPM) and AW pest control have been seen as competing paradigms with different objectives and approaches. Yet, the two "schools" have gradually converged. AW-IPM is increasingly accepted for mobile pests where management at a larger scale is more effective and preferable to the uncoordinated field-by-field approach.

Key words: insect pest control, area-wide, IPM, suppression, eradication, operational programmes.

Introducción

Para lograr avances significativos para hacer frente a los problemas importantes de artrópodos plaga, las tácticas y las estrategias para el manejo de estos insectos, garrapatas y ácaros deberán de cambiar. Deberán cambiar de las actuales medidas de escala limitada, reactivas y de amplio espectro hacia medidas que sean más específicas a la plaga objetivo, y estrictamente aplicadas con base en áreas extensas (Knipling, 1992).

Los insectos han probado estar entre los más formidables adversarios del género humano. Desde que aparecieron hace algunos 390 millones de años, se han diversificado entre millones de especies que se han adaptado a casi todos los ecosistemas disponibles. Esta diversidad

tan grande les ha permitido competir de manera efectiva con la humanidad desde la introducción de la agricultura hace 10.000 años. La intensificación de la producción agrícola ha incrementado tanto la producción como también la vulnerabilidad a las plagas. Asimismo nuestra sociedad móvil ha redistribuido especies de plagas alrededor del mundo a un ritmo acelerado con importantes consecuencias para la agricultura y los ecosistemas. Invertir en el mejoramiento del manejo de plagas debe por lo tanto ser un componente integral de las estrategias nacionales para incrementar la productividad y asegurar una futura seguridad alimenticia global (FAO, 2006).

La importancia de los insecticidas orgánicos sintéticos para el control de vectores de enfermedades importantes y su contribución a la revolución verde no puede ser cuestionada. Sin embargo, la creciente concientización de sus externalidades negativas y la demanda por tácticas de control de plagas amigables con el medioambiente, así como el rápido desarrollo de resistencia a los plaguicidas y la necesidad por productos más nuevos, complejos y costosos, ha dado cabida al concepto de manejo integrado de plagas (MIP). El MIP ha permanecido como un paradigma dominante del control de plagas por los últimos 50 años (FAO, 2011), afanándose en reducir los insumos agrícolas como los insecticidas y confiando en un agroecosistema sano como la primera línea de defensa contra las plagas (Settle *et al.*, 1996). El MIP es "conocimiento intensivo", requiere un entendimiento de las comunidades de especies en los agroecosistemas para proteger, alentar y realzar los servicios naturales resultantes de los procesos biológicos (Lewis *et al.*, 1997).

Manejo Convencional de Plagas Campo por Campo

Las medidas de control de plagas pueden ser aplicadas ya sea campo por campo o en base a áreas extensas (AE), ésta última se dirige al total de la población de la plaga dentro de un área delimitada (Knipling, 1966, 1972, 1979; Lindquist, 2000; Klassen, 2000, 2005; Hendrichs *et al.*, 2007; Vreysen *et al.*, 2007). La estrategia más simple y ampliamente usada ha sido el manejo campo por campo, la cual se dirige solamente a pequeñas fracciones de la población de la plaga en un dado momento. La disponibilidad de insecticidas orgánicos sintéticos efectivos, iniciada después de la Segunda Guerra Mundial, listos en cualquier momento, relativamente baratos, y generalmente subsidiados, facilitó este enfoque.

El control campo por campo tiene la ventaja que permite a los productores, familias y compañías productoras de cultivos y ganado controlar las plagas de manera independiente, sin necesidad de invertir esfuerzos en coordinación para obtener el consentimiento o colaboración de los vecinos u otros grupos de interés. Tampoco demanda un compromiso a largo plazo en esfuerzos organizados y fondos para éstos; pero se atiende a intervenciones curativas iniciadas cuando la población de la plaga alcanza ciertos umbrales. Por lo tanto, este es mayormente un enfoque reactivo para proteger humanos, animales, cultivos, bosques, casas y otras estructuras, etc., más que un enfoque de manejo preventivo de la población de la plaga.

El control campo por campo, sin embargo, no considera los individuos de la plaga que frecuentemente migran al área bajo tratamiento procedentes de infestaciones en los alrededores que no han sido tratados (Ekbom *et al.*, 2000). Esta movilidad compromete gravemente

la efectividad de los esfuerzos de control poco coordinados del enfoque campo por campo, granja por granja, huerta por huerta o manada por manada, y resulta en la frecuente necesidad de medidas de apoyo curativas o terapéuticas y en la eventual dependencia excesiva en ellas (Lewis *et al.*, 1997). Como resultado de la complejidad de muchos agroecosistemas y sus alrededores, así como de que la mayoría de los problemas de plagas varía dependiendo de las características específicas locales, los umbrales generalmente se vuelven imprácticos operacionalmente y en algunas situaciones los umbrales son cercanos a tolerancia cero. Así un enfoque de MIP campo por campo es generalmente insuficiente, particularmente cuando las plagas son bastante móviles.

Manejo de poblaciones de plagas en áreas extensas o totales

E. F. Knipling (1966, 1979) usó modelos de población sencillos para demostrar que pequeñas fracciones de una población de insecto plaga dejada sin control puede rápidamente anular los beneficios de una fuerte supresión de la población principal de la plaga en un área más grande. Uno de esos modelos compara la dinámica de una población hipotética de un insecto plaga que tiene una tasa de incremento natural de 5 veces por año en un área, y en donde cada año el 99 por ciento de la población es eliminada en el 90% de las fuentes hospederas (pero no se lleva a cabo el control en el 10% remanente), con un área donde solamente el 90% de la población es eliminada en el 100% del total de las fuentes hospederas (Figura 1):

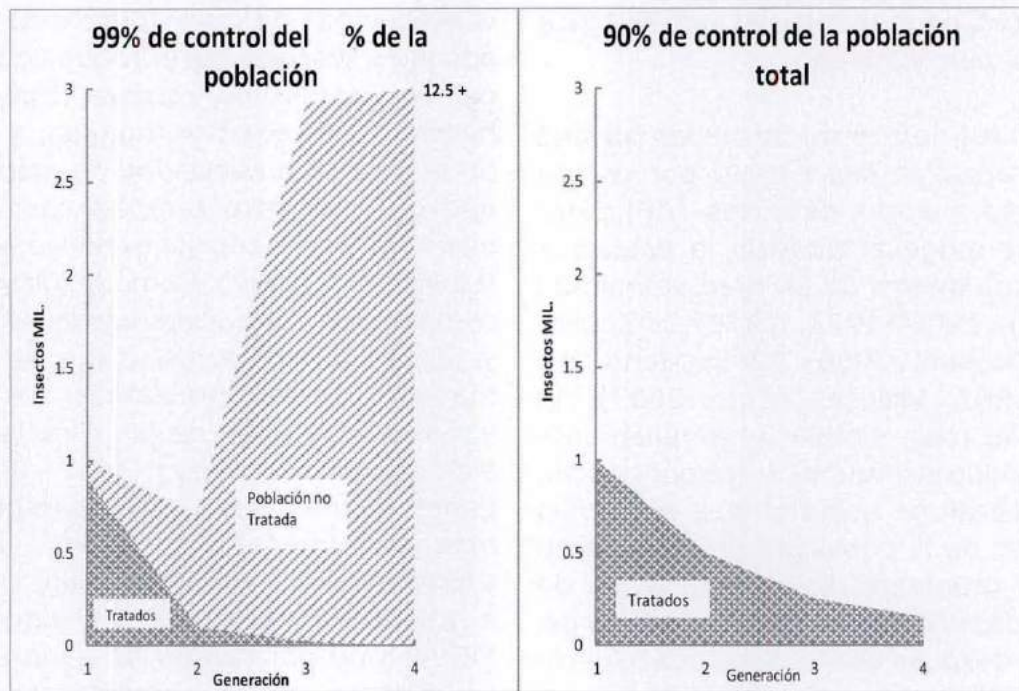


Figura 1. Resultados del modelo que ilustran la consecuencia de dejar sin suprimir una pequeña fracción de la población de la plaga en un agroecosistema versus el efecto de suprimir uniformemente la población entera. Izquierda: El 10% de la población que no se trató en 4 generaciones produce un gran número de individuos, mientras que el 90% de la población que es tratada declina. Derecha: La población entera en el agroecosistema es suprimida uniformemente, sus números declinan de generación en generación (Figura tomada de Knippling, 1972). Knippling dedujo el principio básico del control total de la población:

Una presión de supresión aplicada uniformemente contra el total de la población de la plaga sobre un período de varias generaciones alcanzará una supresión mayor que un nivel más alto de control en cada generación en la mayor parte, pero no en toda la población.

Los focos/refugios son fuentes permanentes de inmigrantes y por lo tanto representan una amenaza económica en el re-establecimiento de las infestaciones por encima del nivel del umbral en áreas cultivadas, requiriendo aplicaciones de insecticidas año con año. El fracaso en enfrentar el total de la población de la plaga en un área frecuentemente compromete el propósito elemental del MIP, (ej. la reducción del uso de insecticidas). Por el otro lado el paradigma central del control en AE, también llamado manejo de paisaje, a gran escala, preventivo, de metapoblación o de población total, reconoce la necesidad de enfrentar la existencia de todos los focos/refugios a partir de los cuales individuos remanentes pueden invadir las áreas suprimidas o limpiadas (Byers and Castle, 2005; Carrière *et al.*, 2001, Ekbom *et al.*, 2000, Ives and Settle, 1997; Klassen, 2000).

Orígenes del enfoque de Área Extensa (AE)

El enfoque de AE no es nuevo, evolucionó hace siglos (Lindquist, 2000; Klassen, 2005). Muchas necesidades esenciales como la provisión de agua, combustible, luz y la eliminación de aguas negras fueron originalmente satisfechas por cada familia independientemente de sus vecinos. Este fue un enfoque no coordinado resultando en que los servicios individuales generalmente demostraban no solamente ser poco confiables, sino también ineficientes y podían únicamente ser adquiridos con un gasto individual alto. La necesidad de una distribución más efectiva y eficiente de esos servicios los transformó de "local" en "áreas extensas" (AE) y eventualmente condujo a la creación de compañías públicas o privadas que proveían agua limpia y electricidad y estas también

se responsabilizaron de la colecta de basura y la eliminación de aguas negras. La provisión de esos servicios en AE los hicieron más efectivos y menos costosos porque los proveedores podían usar métodos técnicos más avanzados que no estaban disponibles para las personas individuales. Actualmente, el uso de servicios en forma extensiva (AE) (ej., electricidad, correo, protección contra incendios, servicios de salud pública, transporte público, teléfono, internet, etc.) está más generalizado que nunca antes.

Aplicadas contra insectos y otras plagas, las estrategias usando AE tienen sus raíces ancestrales en la lucha contra las enfermedades transmitidas por vectores y el control de la langosta. Ejemplos de algunos programas en AE descritos por Klassen (1989, 2000, 2005):

Objetivo del Enfoque en Áreas Extensas	Plaga Objetivo	Métodos Aplicados con Base en Áreas Extensas
Contención	Pulga de la rata oriental <i>Xenopsylla cheopsis</i> (Rothschild)	Progresivamente se adoptó un uso sistemático de cuarentenas en el siglo XIV por las ciudades-estado europeas para detener la dispersión de la peste bubónica transmitida por esta plaga.
Supresión	Escama acanalada <i>Icerya purchasi</i> Maskell	Desarrollo del control biológico clásico a finales del siglo XIX. Introducción de la catarinita <i>Rodolia cardinalis</i> contra esta plaga de los cítricos en California motivando desde entonces cientos de casos exitosos de control biológico.
Supresión	Filoxera de la vid <i>Daktulosphaira vitifoliae</i> Fitch	Trasplantes en AE de las vides europeas en 1870 sobre las raíces de rizomas americanos resistentes o tolerantes a esta plaga salvó la industria vitivinícola europea.
Erradicación	Garrapatas del ganado <i>Boophilus annulatus</i> (Say), y <i>B. microplus</i> (Canestrini)	Un esfuerzo consistente por 37 años en el sur de los EUA para erradicar dos especies de garrapatas del ganado, que transmiten la fiebre del ganado, mediante un programa que combinaba pastos libres de ganado con baños en arsénico y severas restricciones en el movimiento del ganado. En 1943 las garrapatas se eliminaron de EUA a un costo total equivalente a los daños anuales que la plaga causaba antes de que el programa se iniciara.

Objetivo del Enfoque en Áreas Extensas	Plaga Objetivo	Métodos Aplicados con Base en Áreas Extensas
Erradicación	Mosca tse-tsé <i>Glossina palpalis palpalis</i> Robineau-Desvoidy	Campaña para erradicar esta especie de moscas tse-tsé de la Isla Príncipe (Portugal) en la costa occidental de África Ecuatorial, basada en tela negra con pegamento usados por trabajadores, tratamiento de gente con arsénico tripanocida, aclaramiento de la vegetación, encerramiento en corrales del ganado y la erradicación de porcinos silvestres. Este primer programa exitoso de tse-tsé concluyó en 1914.
Erradicación	Mosquitos <i>Anopheles</i> spp.	La erradicación de la malaria coordinada por la OMS inició en 1955 y en 15 años alcanzó la erradicación en 37 países. Presiones sociales para delegar más control a nivel local y la prohibición del DDT resultó en la desintegración del programa. Hoy, más de un millón de gente, principalmente niños en África sucumben ante esta enfermedad cada año.
Erradicación	Gorgojo Khapra <i>Trogoderma granarium</i> Everts	Campaña AE contra el gorgojo Khapra que recién se había establecido los cincuenta en el suroeste de EUA y noroeste de México. Un gran esfuerzo cuarentenario y de tratamiento que implicaba la fumigación de grano, almacenes, barcos, y otras instalaciones de transporte y manejo de granos se inició de manera cooperativa entre EUA y México. Para 1966 la plaga había sido erradicada.
Supresión	Cochinilla de la mandioca o yuca <i>Phenacoccus manihoti</i> Matile-Ferero	La cochinilla de la yuca, una especie exótica para África invadió y se dispersó a través del África subsahariana causando hambre a más de 200 millones de personas. El CIAT, en Colombia, identificó un parasitoide apropiado, <i>Epidinocarsis lopezi</i> DeSantis en Paraguay, el cual fue llevado a África por el IITA. El parasitoide fue criado masivamente de manera exitosa y liberado en 38 países de África.
Supresión	Picudo del algodónero <i>Anthonomus grandis</i> Boheman	La campaña de erradicación del picudo del algodónero comenzó en los EUA en 1983 usando trampeo, tratamientos de insecticida y control cultural. A la fecha, erradicado de casi todo EUA y noroeste de México. El programa opera actualmente en áreas remanentes en Texas y noreste de México. Este es uno de los programas más importantes en la historia entomológica de los EUA.
Supresión	Langosta <i>Schistocerca gregaria</i> y otras langostas	Programas coordinados a nivel regional contra la langosta en África y Asia basados en monitoreo y aspersiones aéreas del hongo <i>Metarhizium anisopliae</i> en AE.
Erradicación	Chinches <i>Triatoma</i> spp. <i>Rhodnius</i> spp.	La enfermedad de Chagas causada por vectores reducidos en América Latina está siendo eliminada mediante aspersiones en hogares, eliminación del hábitat y chequeo de bancos de sangre para tripanosomas.

Dimensiones participación oportunistas

sociales, pública y

La implementación de programas en AE no es fácil y la preocupación pública sobre los métodos usados, insuficiente participación por los grupos de interés y muchos oportunistas han severamente bloqueado los éxitos en varios casos (Klassen, 2000). Estos casos enfatizan la necesidad de prestar atención no solamente a las dimensiones biológicas, medioambientales y económicas, pero también a las sociales y de gestión. La participación o "pertenencia" por el público en general de los programas en AE es crucial para su éxito. Por lo general dicho apoyo es débil por lo que son necesarios esfuerzos especiales en la información pública para convencer a los grupos de interés de sus amplios beneficios (Mumford, 2000).

El control de plagas realizado por agricultores resulta en la supresión de la plaga y también en menos daño para los vecinos. Este derrame de beneficio para los otros agricultores en la vecindad puede alentar a oportunistas o arribistas, individuos que obtienen los beneficios sin contribuir a producirlos (Yu and Leung, 2006). Organizando a los productores en asociaciones o en las "comunidades MPI" promovidas por FAO a través de las escuelas de campo, puede ayudar a abordar este problema del enfoque en AE (Dilts, 2001). No obstante, los antecedentes culturales y socioeconómicos de los grupos de interés afectan de manera significativa el nivel de colaboración en proyectos basados en comunidades. Los que no colaboran también representan la mayor debilidad otros programas en gran escala, por ejemplo campañas regionales de vacunación, o los esfuerzos globales para la erradicación de la peste bovina o de la poliomiélitis. Obtener la completa participación y relacionarse con terceras

partes escépticas, negligentes o incluso antagonistas es un reto inevitable y difícil.

Puesto que los beneficios de las intervenciones en AE en la sociedad tienden a ser inusualmente grandes, la asignación de recursos para estos programas en salud pública y agricultura parece estar vigorosamente justificada y en verdad muchos de los programas de control de plagas en AE son al menos parcialmente financiados por el estado.

En vista de que los beneficios para la sociedad tienden a ser excepcionalmente grandes, la asignación de fondos públicos a este tipo de programas se justifica ampliamente, y de hecho, muchos programas de control en AE son financiados, por lo menos parcialmente, por el estado. El establecimiento y aplicación de reglamentos legales por la autoridad, la implementación de cuarentenas, o la remoción de hospederos silvestres en los alrededores de los cultivos es en gran medida facilitada al establecer como "oficiales" dichas actividades de manejo de plagas en AE (Vreysen *et al.*, 2007).

MIP-AE

El concepto de control de plagas en AE promovido por el Departamento de Agricultura de los EUA (USDA, por sus siglas en inglés) bajo la dirección de E. F. Knipling, ha sido por décadas muy cercanamente identificado con el exitoso programa para la erradicación del Gusano Barrenador del Ganado Cochliomyia hominivorax (Coquerel), el cual comenzó en 1957 y alcanzó la frontera con Colombia a mediados de la década de los 2000. Al mismo tiempo a lo largo de medio siglo FAO e instituciones académicas promovieron el paradigma del MIP. Durante esas décadas el MIP y el control en AE fueron vistas como

paradigmas competidores con diferentes objetivos y enfoques (Kogan, 1998; Hendrichs *et al.*, 2007).

Con el paso del tiempo las diferencias filosóficas entre ambas escuelas han resultado ser menos críticas que

como fueron originalmente percibidas y eventualmente han poco a poco convergido en MIP-AE. La tabla de abajo compara los temas principales (después de Hendrichs *et al.*, 2007) de ambas escuelas:

	IPM	AE
¿Supresión o erradicación?	Las plagas pueden ser toleradas a ciertos niveles como parte de agroecosistemas sanos en los cuales todos los componentes desempeñan un papel en el funcionamiento. Algunas objeciones filosóficas a la erradicación como objetivo final, sin embargo conservacionistas han encontrado que la erradicación es esencial para la restauración de ciertos ecosistemas naturales dañados por especies invasivas, por lo que las actitudes hacia la erradicación están siendo reconsideradas.	La supresión de plagas clave son también un objetivo de campañas en AE, aunque la posibilidad de erradicación de poblaciones específicas de especies plaga de importancia es preferible si hay ventajas prácticas, económicas y medioambientales. Actualmente la mayoría de programas de control en AE en operación están diseñados para suprimir plagas seleccionadas a lo largo de una extensa área geográfica.
¿Integración de métodos de control?	Integración de tácticas de control compatibles o sinérgicas, es la piedra angular del concepto de MIP.	Integración de todas las armas disponibles, es también un requerimiento fundamental para el éxito de campañas en AE.
¿Enfoque de abajo hacia arriba o de arriba hacia abajo?	Agricultores individuales, o si existe algún grado de cooperación, entonces un enfoque de abajo hacia arriba a nivel de agricultor o comunidad es el modo de operación normal.	Aún y cuando se utilice el enfoque de arriba hacia abajo, manejado centralmente por una organización, las campañas en AE no pueden ser exitosas a menos de que se asegure la activa participación de todos los grupos de interés.
¿Componente obligatorio y marco regulatorio?	Agricultores individuales o si acaso un cierto grado de cooperación a nivel comunitario, solamente participación voluntaria por parte de los agricultores y los grupos de interés.	Algunas regulaciones gubernamentales son críticas para el éxito de ciertos programas en AE, ej., fechas de siembra o de cosecha para emergencias suicidas de la plaga; destrucción de desechos en ciertas fechas para prevenir la hibernación; acceso a los inspectores del programa a la propiedad privada, etc.
¿Cuál es la escala de intervención?	Atención local y descoordinada a fracciones de la población de la plaga. Sin embargo, la inclusión de la distribución temporal y espacial de la plaga parece ser el próximo paso en la actual evolución del MIP, de su manejo original de una única plaga en el campo a múltiples plagas en una escala geográfica mayor que incluye múltiples campos y múltiples cultivos.	La población entera dentro de un área geográfica delimitada, con una superficie mínima lo suficientemente grande para ser protegida por una zona buffer de tal manera que la dispersión natural de la población solamente ocurra dentro de esa zona. Sin embargo, áreas geográficamente grandes no son un prerrequisito porque una población de la plaga dentro de un invernadero cerrado, por ejemplo, también involucra manejarla a nivel de población.

El MIP-AE es un concepto muy amplio y flexible y es cada vez más aceptado para aquellas situaciones de insectos móviles donde el manejo en extensiones de terreno más grandes es ventajoso para maximizar la eficacia de las tácticas de manejo. El entrenamiento y la organización de productores, por ejemplo a través de las escuelas de campo en MIP organizadas por FAO, están también conduciendo a acciones concertadas para escalar el MIP al nivel de comunidad. Por ejemplo los productores de arroz poco a poco se están moviendo del enfoque de campo por campo a la implementación de MIP-AE mediante la coordinación a nivel de villa, subdistrito, y en algunos casos incluso a niveles de distritos (Dilts, 2001).

espacial de las medidas de control tiene un mayor efecto de supresión en la población total en el ecosistema de arroz porque favorece la migración temprana de enemigos naturales hacia los campos de arroz (Byers and 2005).

La supresión constante y a fondo basada en las mismas tácticas de control (insecticidas, cebos, rotación, variedades tolerantes o transgénicas, etc.) puede resultar en la selección de poblaciones de plagas resistentes. Por lo tanto las estrategias de MIP-AE también incluyen un manejo de resistencia efectiva a través de la retención deliberada de refugios que minimizarán la selección de resistencia (Carrière *et al.*, 2001).

Requerimientos para MIP-AE

Muchos factores sociales, políticos y económicos deben converger con la ciencia (Faust, 2001) antes de que programas de supresión o erradicación en AE puedan ser desarrollados o implementados:

Mientras que la aplicación de medidas sincronizadas de control en AW es más eficiente para manejar los refugios de población de la plaga, en otras situaciones la asincronía espacial en AE es adoptada deliberadamente sobre grandes regiones geográficas. Por ejemplo, la asincronía

Desafíos de gestión en la implementación del enfoque en AE (modificado de Lindquist 2001).
(1) Obtener el compromiso de todos los grupos de interés privados y públicos para apoyar, participar y financiar programas en AE
(2) Llevar a cabo estudios de factibilidad adecuados
(3) Identificar los factores que probablemente induzcan las quejas del público y prever la forma de cómo mitigarlos
(3) Establecer mecanismos de comunicación entre los grupos de interés rurales y de la ciudad
(4) Desarrollar un plan de negocios profesional para el programa
(5) Establecer una organización entregada y efectiva con personal de tiempo completo para coordinar e implementar el programa
(6) Implementar un plan de entrenamiento
(7) Establecer un sistema de evaluación del programa
(8) Obtener apoyo de investigación para el programa.

Desafíos técnicos en la implantación del enfoque en AE

(modificado de Lindquist 2001)

(1) Determinar las especies de insectos plaga clave
(2) Definir con precisión las áreas geográficas
(3) Obtener la más extensa información biológica y ecológica de base necesaria para entender la dinámica poblacional de la plaga objetivo, sus relaciones ecológicas y distribuciones en espacio y tiempo
(4) Determinar el flujo genético entre los individuos de las poblaciones reproductivas en la población objetivo y las poblaciones vecinas
(5) Desarrollar e integrar las más apropiadas y compatibles tácticas de control
(6) Asegurar que estas se pueden aplicar al usar el enfoque en AE (algunas herramientas que son efectivas a nivel local, por ejemplo el trapeo masivo, son operacionalmente imprácticas a escalas más grandes)
(7) Desarrollar estrategias técnicas para la implementación efectiva del programa.

Adicionalmente, la ardua jornada entre los resultados de la investigación, las pruebas piloto, y el éxito eventual en las operaciones de campo en AE requieren una colaboración cercana entre investigadores, especialista en extensión, líderes comunitarios y las comunidades de agricultura, recursos naturales y salud pública (Vreysen *et al.*, 2007).

Perspectivas futuras para MIP-AE

Las futuras perspectivas para el MIP-AE son alentadoras, aunque este enfoque no es aplicable para todas las plagas móviles o en todas las situaciones de salud humana y agricultura. El número de programas de MIP-AE implementados ha crecido sustancialmente en los últimos años, aunque estos programas son todavía la excepción más que la regla en muchas de las circunstancias donde serían más adecuados y altamente ventajosos. El MIP-AE tiende a ser más fácilmente implementado en áreas rurales donde el número de agricultores sea pequeño, la heterogeneidad agroecológica baja, y donde el manejo de las pocas plagas móviles claves sea más efectivo y demuestre claras ventajas sobre el enfoque descoordinado de campo por campo.

Los agricultores que producen cultivos con un valor económico alto y baja tolerancia al riesgo de plagas sufren mayores pérdidas que los que cultivan productos con bajo valor económico y alta tolerancia a las plagas. En estos últimos hay pocos incentivos para cooperar, mientras que en el primer caso la participación es mucho más grande (Yu and Leung, 2006). Esto es particularmente cierto para cultivos como hortalizas y frutas frescas, o para algunas enfermedades del humano y del ganado, en donde el umbral aceptable es tan bajo que la presencia de pocos individuos de la plaga del vector generalmente detona la necesidad de acciones curativas.

Al final, la parte financiera desempeña el papel más importante en las decisiones del productor agrícola a participar en programas de MIP-AE. El potencial del crecimiento económico puede motivar a los productores y a las comunidades en ser entrenados en el enfoque en AE. Los líderes locales pueden tomar acciones concertadas para alcanzar la coordinación en las acciones de control al nivel de villa, subdistrito y distrito, y por consiguiente, escalar el MIP de acciones independientes campo por campo a acciones de implementación de AE.

Por lo tanto, la adopción de un enfoque en AE puede ser un proceso gradual,

comenzando al nivel de granja y comunidad y si los factores sociales políticos y económicos son favorables, eventualmente moverse a escalas geográficas más grandes. Cada vez más el objetivo de los programas de MIP-AE es la supresión de poblaciones de plagas, con la erradicación confinada a situaciones muy especiales conectadas a facilitar el mercado internacional o eliminar poblaciones de vectores de enfermedades importantes o introducciones recientes de plagas invasivas altamente destructivas (Vreysen *et al.*, 2007).

Referencias

- BYERS, J. A., AND S. J. CASTLE. 2005. Areawide models comparing synchronous versus asynchronous treatments for control of dispersing insect pests. *Journal of Economic Entomology* 98: 1763-1773.
- CARRIÈRE Y., T. J. DENNEHY, B. PEDERSEN, S. HALLER, C. ELLERS-KIRK, L. ANTILLA, Y. LIU, E. WILLOT, AND B. TABASHNIK. 2001. Large-scale management of insect resistance to transgenic cotton in Arizona: Can transgenic insecticidal crops be sustained? *Journal of Economic Entomology* 94: 315-325.
- DILTS, R. 2001. From farmers' field schools to community IPM. Scaling up the IPM movement. *Leisa Magazine*, October 2001, pp. 18-21.
- EKBOM, B., M. E. IRWIN, AND Y. ROBERTS (EDS.). 2000. Interchanges of insects between agricultural and surrounding landscapes. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- (FAO) FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. 2006. The state of food insecurity in the world 2006. FAO, Rome, Italy. 40 pp.
- (FAO) FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. 2011. Save and Grow. A Policymakers Guide to the Sustainable Intensification of Smallholders Crop Production. FAO. Rome, Italy. 102 pp.
- FAUST, R. 2001. Forum: Invasive species and areawide pest management: What we have learned, pp. 2. In *Agricultural Research*, November 2001. USDA, Washington, D.C., USA.
- HENDRICHS J., P. KENMORE, A. S. ROBINSON, AND M. J. B. VREYSEN. 2007. Area-wide Integrated Pest Management (AW-IPM): Principles, Practice and Prospects, pp. 3-33. In Vreysen M. J. B., A. S. Robinson, and J. Hendrichs (eds.), *Area-wide Control of Insect Pests, from Research to Field Implementation*. Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- IVES, A. R., AND W. H. SETTLE. 1997. Metapopulation dynamics and pest control in agricultural systems. *American Naturalist* 149: 220-246.
- KLASSEN, W. 1989. Eradication of introduced arthropod pests: Theory and historical practice. *Miscellaneous Publications of the Entomological Society of America*. Number 73. Lanham, Maryland, USA. 28 pp.
- KLASSEN, W. 2000. Area-wide approaches to insect pest management: History and lessons, pp. 21-38. In Tan, K. H. (ed.), *Area-wide Control of Fruit Flies and Other Insect Pests*. Penerbit Universiti Sains Malaysia, Pulau Pinang, Malaysia.

- KLASSEN, W. 2005. Area-wide integrated pest management and the sterile insect technique, pp. 39-68. In Dyck V. A., J. Hendrichs, and A. S. Robinson (eds.) *Sterile Insect Technique, Principles and Practice in Area-wide Integrated Pest Management*. Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- KNIPLING, E. F. 1966. Some basic principles in insect population suppression. *Bulletin of the Entomological Society of America* 12: 7-15.
- KNIPLING, E. F. 1972. Entomology and the management of man's environment. *Journal of the Australian Entomological Society* 11: 153-167.
- KNIPLING, E. F. 1979. The basic principles of insect population suppression and management. *Agriculture Handbook Number 512*. SEA, USDA, Washington, DC., USA.
- KNIPLING, E. F. 1992. Brief talk on the occasion of receiving the World Food Prize on 12 October 1992 at Des Moines, Iowa, USA. Unpublished document.
- KOGAN, M. 1998. *Integrated Pest Management: historical perspectives and contemporary developments*. *Annual Review of Entomology* 43: 243-270.
- LEWIS, W. J., J. C. VAN LENTEREN, S. C. PHATAK, AND J. H. TUMLINSON. 1997. A total system approach to sustainable pest management. *Proceedings National Academy of Sciences* 94: 12243-12248.
- LINDQUIST D. A. 2000. Pest management strategies: area-wide and conventional, pp. 13-19. In Tan, K. H. (ed.), *Area-wide Control of Fruit Flies and Other Insect Pests*. Penerbit Universiti Sains Malaysia, Pulau Pinang, Malaysia.
- LINDQUIST, D. A. 2001. The advantages of area-wide insect control, pp. 55-61. In *Proceedings: Sterile Insect Technique as an Environmentally Friendly and Effective Insect Control System*. Seminar organized by the Regiao Autonoma de Madeira Governo Regional and the European Union, 12-13 November 1999, Funchal, Madeira, Portugal. Madeira Regional Direction of Agriculture, Madeira, Portugal.
- MUMFORD, J. 2000. Economics of area-wide pest control, pp. 39-47. In Tan, K. H. (ed.), *Area Wide Control of Fruit Flies and other Insect Pests*. Penerbit Universiti Sains Malaysia, Pulau Pinang, Malaysia.
- SETTLE, W. H., H. ARIAWAN, E. T. ASTUTI, W. CAHYANA, A. L. HAKIM, D. HINDAYANA, A. S. LESTARI, AND P. SARTANTO. 1996. Managing tropical rice pests through conservation of generalist natural enemies and alternative prey. *Ecology* 77: 1975-1988.
- VREYSEN, M. J. B., A. S. ROBINSON, AND J. HENDRICHS (EDS.). 2007. *Area-wide Control of Insect Pests, from Research to Field Implementation*. Springer, Dordrecht, The Netherlands. 789 pp.
- YU, R., AND P. LEUNG. 2006. Optimal pest management: a reproductive pollutant perspective. *International Journal of Pest Management* 52: 155-166.

Los insectos en la cultura de sociedades contemporáneas

José Luis Navarrete

Ph. D. Entomología, CUCBA, Universidad de Guadalajara,
Apdo. Postal 134, 45100, Zapopan, Jalisco, México.
glenusmx@gmail.com

La entomología como disciplina científica tiene por objeto el estudio de los insectos, ya sea como parte de la ciencia básica (taxonomía, sistemática, morfología, genética, biología molecular) o aplicada (control de plagas, control biológico, entomología forense). Aunado a este interés sobre el estudio de los insectos, en 1980, Charles Hogue, entomólogo estadounidense, propuso el término *Entomología Cultural* para referirse a la disciplina entomológica cuyo objetivo sería conocer la *influencia de los insectos* (se utiliza el término insecto como sinónimo de artrópodo terrestre) en la literatura, lenguaje, música, bellas artes, historia interpretativa, religión y recreación (Hogue, 1980).

A partir de esa fecha, se han publicado varias obras (por ejemplo: Hogue, 1987; Costa-Neto, 2002; Arana, 2006; Brown, 2006; Navarrete-Heredia, *et al.*, 2007) que ponen de manifiesto la marcada influencia de los artrópodos en diferentes actividades culturales. En este trabajo se hace un repaso general de la influencia de los artrópodos, particularmente en la literatura, lenguaje, cómic y cine. Es un trabajo descriptivo y como cualquier contribución de esta índole, su cobertura muestra una estrecha correlación con la cultura del autor. Es más fácil escribir sobre lo que se conoce o con lo que se está relacionado y se tiene acceso a la información. En contadas ocasiones se comentan ejemplos de otros países. Finalmente, hay temas pendientes para futuras contribuciones. Ojalá y sirva ésta para incentivar dichas contribuciones.

Literatura

La incorporación de los artrópodos en creaciones literarias es muy vasta. Existen muchos ejemplos que los mencionan en el título de la obra o bien como parte importante de la trama. Algunos autores han abordado esta temática: en la literatura infantil (Castaño-Meneses, 2007), en las novelas de ciencia ficción de Bernard Werber (Palacios-Vargas, 2007), la obra de Gabriel García Márquez (Joset, 1984), Guadalupe Dueñas (Levy, 2008), en la mitología y literatura de la Grecia antigua (Moret, 1997a), en la literatura moderna (Molina, 1997; Moret, 1997b), entre otros. Sin embargo, una de las obras más extensas y detalladas sobre el tema, es el realizado por Patiño (1999): *Faunética*. Esta obra es una antología poética con muchos ejemplos sobre vertebrados, pero también se mencionan algunos casos de artrópodos. Zuluaga (2009) proporciona una lista amplia de obras literarias que incluyen artrópodos. Aquí otros ejemplos: *Los escarabajos vuelan al atardecer* de María Gripe; *El cerro de los jumiles* (Reciben el nombre genérico de *jumiles* varias especies de Pentatomidae (Hemiptera: Heteroptera) que se consumen en algunos estados de México. Especialmente son muy importantes en la alimentación en Taxco, Guerrero) de Gloria Salas Calderón; *El sueño del escarabajo* de Guillermo Bazavilvazo; *El escarabajo verde* de Philipp Vandenberg; *El valle de los cocuyos* de Gloria Cecilia Díaz; *La mosca de la muerte* de Patricia Cornwell, entre otros.

De manera específica, en esta ocasión se han tomado algunas frases de la *Biblia* y algunas obras contemporáneas que mencionan a algún artrópodo. Muchos de los ejemplos incluidos fueron elaborados por autores considerados como marginales. Sólo se incluyen ejemplos de Coleóptera, Díptera y Lepidóptera.

La Biblia

Una de las obras literarias con mayor reconocimiento internacional es, sin lugar a dudas, la *Biblia*. En ella, se mencionan hormigas, abejas, pulgas, moscas, saltamontes, piojos, polillas, escorpiones, arañas, muchas referencias a langostas, entre otros (Kritsky, 1997). Aquí algunos ejemplos (Para la inclusión de estos pasajes se tomó como base la versión de la Nueva Biblia de Jerusalén: revisada y aumentada):

... que te ha conducido a través de ese desierto grande y terrible entre serpientes abrasadoras y escorpiones, lugar de sed y sin agua, pero hizo brotar para ti agua de la roca más dura..(Deuteronomio 8:15).

Acércate a la hormiga, perezoso, observa su conducta y aprende (Proverbios 6:6).

Los amorreos, habitantes de esa montaña, salieron a vuestro encuentro, os persiguieron como lo hubieran hecho las abejas, y os derrotaron desde Seír hasta Jormá (Deuteronomio 1:44).

Echarás en tus campos mucha semilla y cosecharás poco, porque la asolará la langosta (Deuteronomio 28:38).

Viñas plantarás y las trabajarás, pero vino no beberás ni recogerás nada, porque el gusano las devorará (Deuteronomio 28:39).

Obras contemporáneas

Escarabajos

La ostentación y la envidia y, de paso, ese hábito de enriquecerse mentalmente, es la represión sexual trepando por la médula en forma de escarabajo.

Equinoccio, Francisco Tario.

...entre el batir de alas niqueladas de los coleópteros que no cesan de mover su boca, leyendo con murmullos sagrados la partitura accidentada de nuestra sangre. Cuando los murmullos se detengan y nuestras venas crujan de tan secas, el último escarabajo dorado en el Nirvana, cerrará su ojo.

Colofón, *La Cabeza*, Carlos Octavio Janz.

Los nosferatu escondidos en lo más hondo de los bosques, hijos de dos bastardos, entregados a orgías sexuales que los agotan hasta la muerte, aunque apenas enterrados los nosferatu despiertan y abandonan su tumba para jamás regresar a ella, recorriendo la noche en forma de perros oscuros, escarabajos o mariposas.

Vlad, Carlos Fuentes.

Luciérnagas

Continuó caminando, no supo ni cuánto tiempo, hasta llegar a un grupo de casitas humildes en donde había tres establecimientos: una cervecería pintada de rojo, un pequeño comercio de miscelánea y un café. El café tenía este rótulo: "La Luciérnaga," y a la puerta de la cervecería roncaba un hombre, con el vientre al aire.

Aquí abajo, Francisco Tario.

Dos luciérnagas cuidaban de una enredadera. Cuando la lluvia tiró los pétalos de sus flores, ellas con su luz jugaron a rehacerlas.

Cuento japonés, Sueños que cuentan, María Luisa Burillo.

En la inevitable alborada, los niños luminosos se funden uno a uno: al perder su esplendor, retornan al claroscuro de su insomnio. Desean que la noche futura esté plagada de centellas y aerolitos vivientes, para pulir su oscuro oficio de brillantes verdugos de luciérnagas.

Cuando la muerte se antoja, Un bocado del diablo, Arturo Sigüenza.

¿Cuál es la intención de mezclar las luces, el cosmos y un juego de niños? El lector no es tonto, recordá, le estás tirando una trampa y al final desilusionas, confesás tu pecado iviste? A mí no me importa que los pibes atrapen luciérnagas y se las destripen en su cuerpo, isino por qué lo hacen!

Cuando la muerte se antoja, Un bocado del diablo, Arturo Sigüenza.

Lucesyeseoloramierda, aputrefacción, son lo que me acompaña al salir de casa, ahora la noche se impone, las luciérnagas en desbandada, la oscuridad llena todos los rincones.

El Tavayuko, Yo sí le pasé, Moisés Zurita Zafra.

Moscas

Una mosca agitó levemente las alas dentro de su oído.

Fahrenheit 451, Ray Bradbury.

Y me supuse que a tales horas mi mujer andaría con el reuma, espantando moscas... "¡Pobrecilla! -me dije-. Llevamos treinta años de casados y las cosas no deben seguir en tal estado". Te darás cuenta: llegué algo compungido.

La puerta en el muro, Francisco Tario.

Muriel extendió los brazos y colocó sus manos sobre la cabeza. Entre los minutos, moscas verdes visitaban el mapa gris de su torso, y los sobacos

vencían el aire.

Letanía de la orquídea, Cuentos sobrenaturales, Carlos Fuentes.

Sobre la mesa sólo hay un frutero de plástico con un racimo de uvas negras, dos melocotones y una corona zumbante de moscas.

La muñeca reina, Cuentos sobrenaturales, Carlos Fuentes.

¿Le otorgó a mi anfitriona renuente una extrañeza gratuita? Si es así, sólo gozaré más en los laberintos de mi invención. Y las moscas zumbaban alrededor del frutero, pero se posan sobre ese punto herido del melocotón, ese trozo mordisqueado -me acercó con el pretexto de mis notas- por unos dientecillos que han dejado su huella en la piel aterciopelada y la carne ocre de la fruta. No miro hacia donde está la señora. Finjo que sigo anotando.

La muñeca reina, Cuentos sobrenaturales, Carlos Fuentes.

Lees esa misma noche los papeles amarillos, escritos con una tinta color mostaza; a veces horadados por el descuido de una ceniza de tabaco, manchados por moscas. El francés del general Llorente no goza de las excelencias que su mujer le habrá atribuido.

Aura, Cuentos sobrenaturales, Carlos Fuentes.

La vida -que está entre nosotros y alrededor nuestro y que tratamos de espantarla a manotazos como si fuera una mosca.

Equinoccio, Francisco Tario.

Iba descalzo y las moscas le andaban por entre los dedos.

Aquí abajo, Francisco Tario.

Chiara frunce el ceño. Se para a pensar un instante y a continuación hace

un gesto en el aire, como si quisiera espantar una mosca.

- Claro - responde Chiara, y Lynn sabe que Chiara dice justo lo que Lynn quiere oír-, ¿No te quieres sentar? -pregunta Chiara-. ¿Tienes miedo?

- ¿Qué?...

La camarema, Markus Orths.

... el minino vigilaba con enfado y precisión a las moscas verdes que revoloteaban en el atún pestilente. Apenas le dejó el trasto con leche y me di vuelta para seguir con mis ocupaciones, escuché tras de mí un cálido rugido que me hizo virar al instante. La bestia relamía su humeante hocico, mientras yo admiraba con profusión cada una de las moscas chamuscadas en el piso.

Apuntes sobre una entrega del lejano Oriente, Un bocado del diablo, Arturo Sigüenza.

-¡Moscas! -gritó el hombrecito de lentes- ¡No dejan de perseguirme las malditas!

-¿Maestro Monterroso? -dijo Germán escudriñando el rostro-. ¿Es usted?

-Sí, sí, pero ocúpese en algo, por favor, itome este matamoscas!

Un sueño insecticida, Un bocado del diablo, Arturo Sigüenza.

-Habla sobre tu entorno, muchacho, tu país, tu colonia, tu casa. ¡Moscas, malditas moscas!

Un sueño insecticida, Un bocado del diablo, Arturo Sigüenza

-Por nada, por nada -replicó la madre, ruborizándose-. Es que hay moscas en la iglesia.

-Yo no me doy cuenta de nada cuando hablo con el buen Dios -dijo la dama que acababa de tomar residencia en el convento-. Ni siquiera de las moscas. Cuando iban por el lindero en bicicleta, El séptimo caballo y otros cuentos, Leonora Carrington.

Abro los ojos, Martiniano está sentado en el mismo lugar, tiene unas pitayas rojas en la mano, las ha sacado de un morral; más allá su caballo, sacudiéndose las moscas.

El Tavayuko, Yo sí le pasé, Moisés Zurita Zafra.

Mosco, mosquitos

Era agradable escuchar el ronroneo del aparatito, el zumbido de mosquito adormilado y el delicado murmullo de la voz del viejo, primero, riñéndole y, después, consolándole, a aquella hora tan avanzada de la noche, mientras salía del caluroso Metro y se dirigía hacia el mundo del cuartel de bomberos.

Fahrenheit 451, Ray Bradbury.

En mi primera noche en Venecia... me dedicaba a matar mosquitos a destajo y a preguntarme cómo se puede ser tan tonto para construir media ciudad en el agua.

Maldito karma, D. Safier.

¡Con cuánta más agudeza, fe en sí mismo, con cuánta más resolución y bellos propósitos criminales persigue un mosquito a un hombre que un hombre a un mosquito!

Equinoccio, Francisco Tario,

... todo bien, pero con el sudorcito de la mano, poco a poco la urea se pega, en verdad es cómo azúcar, pero no es dulce, revienta la piel, en poco tiempo está la carne viva, primero un puntito, como un piquete de mosco, pero va creciendo más y más, luego ya no puedes, la urea duele, penetra...

Abuela, seguimos vivos, Yo sí le pasé, Moisés Zurita Zafra.

Mariposas

¡Oh, no! No te dejarías engañar por la palabrería de esa pequeña estúpida, ¿eh? Flores, mariposas, hojas, puestas de sol... ¡Oh, diablo! Aparece todo en

su archivo. Que me ahorquen. He dado en el blanco.

Fahrenheit 451, Ray Bradbury.

Trato de encajar las piezas, de volver a la vida normal de algún tiempo atrás, antes de la criba y la arena, del Dentífrico Denham, de las voces susurradas en su oído, de las mariposas, de las alarmas y las excursiones, demasiado para unos breves días, demasiado para toda una vida.

Fahrenheit 451, Ray Bradbury.

El roce de las alas de una mariposa contra una fría y negra tela metálica.

Fahrenheit 451, Ray Bradbury.

Los helicópteros de la Policía se elevaban desde un punto tan remoto que parecía como si alguien hubiese soplado una flor seca de diente de león. Dos docenas de ellos zumbaron, oscilaron, indecisos a cinco kilómetros de distancia, como mariposas desconcertadas por el otoño.

Fahrenheit 451, Ray Bradbury.

Un ejército de mariposas rojas había arrastrado al elevadorista desmayado hasta el centro del lago; ahora regresaban, a recogerme a mí. "¡Vamos, Oliverio, a la comunión, a redimirte!", gritaron mis labios, mientras mi cuerpo, en su último esfuerzo, apretaba todos los timbres del ascensor, hasta que la puerta se cerró y subimos, lejos de la jauría, de su incesante cantar de pájaros sin alas.

Por boca de los dioses, Cuentos sobrenaturales, Carlos Fuentes.

Y el crítico de arte, cuyas terrenas y ultra-terrenas aspiraciones estriban en que los gusanos de su tumba sean bellos gusanos de seda.

Equinoccio, Francisco Tario.

... como yo supe desde el primer día

que guardabas para quien te amara el color y el sabor primitivo de las algas. Y su tenacidad submarina, sólo comparable con lo monstruoso a la voluptuosidad inefable de los pulpos, cuyas eyaculaciones provocan el cáncer en la matriz de las mariposas.

Equinoccio, Francisco Tario.

Así te hablaba. Mas si hablara de ti a los demás diría que eras una hermosa especie de flor impura o de súcubo immaculado. Mas prefiero guardar silencio y abrir bien los ojos durante la espesa noche por ver si apareces contra mi ventana igual que una mariposa amarillenta, con las aletas de la nariz desplegada.

Equinoccio, Francisco Tario.

Todo temen. Todo gozan. Caminan a grandes pasos. Enormes. Tienen prisa. Saben que no deben detenerse. No lo hacen. Los instantes se les escapan. Prefieren aventurarse más adentro a cazar mariposas, a hilvanar futuros perfectos. A inaugurar palabras que le den vida a este amor nuevo.

Amores adúlteros, Beatriz Rivas y Federico Traeger.

-Amanecí con mariposas en el estómago... ¿Tendré que ir con el gastroenterólogo o con un psiquiatra? - ¿O dónde un entomólogo?

Amores adúlteros, Beatriz Rivas y Federico Traeger.

Tras él se fueron las mariposas, etéreas, volátiles. Ahora ella está más tranquila, menos ansiosa. No siente un nudo en el estómago a cada rato.

Amores adúlteros, Beatriz Rivas y Federico Traeger.

Pasaron los años. Dicen, quienes los conocieron, que las mariposas nunca los abandonaron. ¡Y todavía hay quienes insisten en no creen en

milagros!

Amores adúlteros, Beatriz Rivas y Federico Traeger

Los nosferatu escondidos en lo más hondo de los bosques, hijos de dos bastardos, entregados a orgías sexuales que los agotan hasta la muerte, aunque apenas enterrados los nosferatu despiertan y abandonan su tumba para jamás regresar a ella, recorriendo la noche en forma de perros oscuros, escarabajos o mariposas.

Vlad, Carlos Fuentes

Polillas

... los caballos de madera con las crines destrozadas, los patines del diablo, las muñecas despelucadas y ciegas, los osos vaciados de serrín, los patos de hule perforado, los perros devorados por la polilla, las cuerdas de saltar roídas, los jarrones de vidrio repletos de dulces secos, los zapatitos gastados...

La muñeca reina, *Cuentos sobrenaturales*, Carlos Fuentes.

La bicicleta cruzó el bosque a velocidad vertiginosa. Virginia llevabamurciélagos y mariposas nocturnas aprisionados en el pelo: con sus manos extrañas, hizo una seña a los animales de que había terminado la caza; abrió la boca y se le coló un ruiseñor ciego. se lo tragó, y cantó con la voz del ruiseñor: "Jesusito ha muerto, y nosotros hemos cenado magníficamente".

Cuando iban por el lindero en bicicleta, El séptimo caballo y otros cuentos, Leonora Carrington.

Leyendas

La existencia de mitos y leyendas alrededor del mundo es muy vasto. Algunas veces se habla de animales fantásticos, gigantes o pequeños cuyo poder puede hacer el bien

o el mal al hombre. En otras ocasiones, se habla de situaciones inusuales en el campo o en la ciudad; de personajes bondadosos o perversos. De este último tema, menciono dos leyendas de la ciudad de Guadalajara.

El milagro del alacrán (Ignacio Dávila Garivi, incluido en García Pérez, 2001).

Se cuenta que en cierta ocasión en que el caritativo mitrado Francisco Gómez de Mendiola y Solórzano había dado de limosna todo el dinero que tenía en su poder, se le acercó un indígena pidiéndole caridad. No teniendo ya cosa alguna que darle Su Ilustrísima, quedose este muy pensativo con la vista fija hacía un rincón de su cuarto y viendo que por allí subía un alacrán lo tomó sin temor alguno, lo puso en manos del pordiosero, quien en vez del ponzoñoso animal, recibía una reluciente moneda de plata.

De cómo fray Diego Luciano se defendía de las pulgas (Arturo Chávez Hayhoe, incluido en García Pérez, 2001)

En su sencillez franciscana y en ingenuidad de santo, halló este buen religioso una ayuda para que las pulgas no lo molestasen: sólo en tiempo de aguas usaba, por las pulgas, y para librarse de ellas, de un costal largo de crin, de este modo: a las cinco de la tarde se metía en él, puesto su hábito y capilla (que jamás se quitó) y hacía al corista o novicio que se lo atase al cuello, con el cordel corredizo que tenía y metidas las manos entro, con un necesario que tenía de cordel. Se estaba de esta suerte hecho un ovillo toda la noche, hasta que por la mañana le venían a sacar del costal.

Personajes

Como parte de nuestro rico lenguaje, es frecuente encontrar nombres o sobrenombres de personajes históricos, futbolistas, boxeadores, luchadores,

entre otros. Los nombres pueden ser muy variados, desde aquellos genéricos (para incluir a varias personas), por ejemplo *grillo* que incluye a aquellas personas que se dedican a la *murmuración y el chisme, tratando de obtener ventajas políticas, o de dañar a otras cuando está en juego un puesto importante en una sociedad o en una empresa* (El Colegio de México, 1996), hasta los que son utilizados como sobrenombres.

En actividades deportivas en frecuente encontrar alusiones a los artrópodos. En la lucha libre, Navarrete-Heredia (2008a) elabora un primer acercamiento a ese *bestiario dominical* mencionando ejemplos de luchadores con nombre de algún artrópodo: *Abejorro, Alacrán, Alacrán de Durango, Black Spider (NWA), Black Spider (Tijuana), Chapuline (Chapulín?) Negro, El Mosco* (Fig. 1) entre otros. De manera particular, en 1998, Antonio Peña, de la AAA, compañía dedicada a la promoción de la lucha libre en México, formó al grupo *Los Insectos*, inspirados en sus predecesores *Marabunta, Ponzóna y Enjambre*. Este grupo estuvo formado por cuatro luchadores: *Abeja Africana, La Avispa, La Hormiga y La Mosca* (Lucha Wiki, 2011). Otros sobrenombres o apodos antropodiosos son: *El Piojo* Herrera, futbolista mexicano, actualmente director técnico del Atlante; Luis *Mosquito* Lazarte, púgil argentino, recientemente derrotado por Ulises, el *Archie* Solís. Ejemplos de personajes de la televisión o de las series pulp publicados en Estados Unidos se pueden consultar en Navarrete-Heredia (2008b).

Una mención especial sobre los personajes de la ciudad de Guadalajara, fue la existencia de Doña Severita Santos Ortega, mejor conocida como *La Chapulina*. Aquí, una breve descripción de este personaje, incluido en el libro de García Pérez (2001).

Doña Severita Santos Ortega (Fig. 2), **la Chapulina** (Guadalupe Pérez Baltazar, incluido en García Pérez, 2001).

En las antiguas calles del seminario (Liceo) y San Diego (Garibaldi), habitaba una casa una señorita de nombre Severa, que fue acumulando bienes y casas por medio de préstamos hipotecarios. Fue muy conocida en el mundo de las finanzas como una gran agiotista, ya que al ciento ocho por ciento anual, hacía grandes operaciones.

Su casa todavía se puede apreciar como ejemplo de la arquitectura de fines del siglo XIX. En su interior, esta casa está decorada con murales, tanto en el corredor, como en el comedor y el zaguán. Según la gente de los alrededores de esta casa y del barrio del Santuario, en una de estas paredes estaba pintado un chango o mono, que lo bautizaron con el nombre de Familiar. Decían que esta señorita se había hecho rica, porque el changuito, en vez de hacer caca, hacía dinero.

Por eso, cuando alguna persona se hacía rica en ese tiempo, "de la noche a la mañana", decía que la había zurrado el familiar".

La Chapulina también era famosa por los Nacimientos y Altares de Dolores o Incendios, en donde lloraba la Virgen muy buenos ponches y ella atendía a la concurrencia con suma amabilidad y los obsequiaba con pasteles, emparedados y bebían toritos.

En 1890 había otros montepíos, como uno en la esquina de Juan Manuel y Santa Mónica que se llamaba La Equidad, de un señor Tapia. Otro, El Toro, por la calle ancha de San Juan de Dios, que era de un señor de don Jesús Torres.

También en la calle de Santa Mónica, estaba el del El Monje Negro y por la de

Independencia, frente al mercado, en los bajos del hotel del museo, estaba el de El Vapor, del señor Pablo Palominos. En todos ellos se presentaba generalmente con un real en el peso, o sean doce centavos y medio, y recargando este mismo interés a los réditos de la prenda, sin garantía de ninguna especie para el pobre; es decir, no aceptaban el refrendo de la prenda, ni había remates en los que se les cedieran los sobrantes. Era una especie de pacto de retro-venta y hay documentos en los que algunos agiotistas, como la Brincos y la Chapulina, cobraban una barbaridad.

Cómic

Los cómics

¿Cuento, historieta, cómic, cómic book, novela ilustrada o novela gráfica? El nombre no importa. Su contenido sí. Para sus seguidores (los *integrados* en la definición de Umberto Eco), este medio de comunicación es una expresión artística, digna de haberse constituido en el noveno arte (Para fines de complementación, las artes básicas (seis) son: arquitectura, danza, escultura, música, pintura y poesía (literatura). El cine constituye el séptimo arte, la fotografía corresponde al octavo y la historieta, ha sido ubicada como perteneciente al noveno arte). Para sus detractores, (los *apocalípticos*, nuevamente según Umberto Eco), no es más que una forma de subliteratura que es necesario ocultar para evitar ser la burla de colegas o compañeros, y de miradas inquisidoras en lugares públicos.

Si bien los cómics han estado ligados a la historia de diferentes países desde hace mucho tiempo, su organización secuencial en imágenes con diálogos incluidos en globos se considera apareció por primera vez en Estados Unidos en 1896 con la aparición de *The Yellow Kid and his new phonograph* (según la versión conocida en Estados Unidos). Es precisamente

en Estados Unidos donde el cómic se ha convertido en la actualidad en una industria de influencia mundial, con una gran cantidad de superhéroes, entre ellos el famoso *Spiderman*.

Hablar de *Spiderman*, es hablar de uno de los íconos contemporáneos más famosos de los cómics. Creado en 1962 por el guionista y editor Stan Lee y el dibujante y coargumentista Steve Ditko, el personaje apareció publicado por primera vez en el número 15 de *Amazing Fantasy* (El nombre original del cómic era *Amazing Adult Fantasy* pero a partir del número 15 se modificó para dar origen a *Spiderman*, publicándose como *Amazing Fantasy*. El costo de este ejemplar es de alrededor de 40.000 dólares, Wizard, 2008).

Fue tal su éxito, que al año siguiente contaba con su propia colección: *The Amazing Spider-Man* (Recientemente se publicó una versión en español por Marvel México).

A veces arácnido, a veces insecto y en otras artrópodo (como recientemente fue publicado en México en el número 1 de Marvel Clásico), *Spider-Man* debe enfrentar a muchos villanos y armas peligrosas. Muchos de ellos hacen alusión a animales: pulpos, escorpiones, arañas, camaleones, lagartos, buitres, pumas, chacales, son sólo parte del repertorio de nombres que evocan a diferentes animales en el universo del arácnido. Sin embargo, la lista de nombres que hacen alusión a algún artrópodo es muy amplia. A través de la consulta de algunos catálogos especializados en personajes de cómics (Lauck y Barrett, 1996; Marvel Comics 2006a, 2006b, 2006c; Miller *et al.*, 2003), además de las bases de datos de Marvel y DC se tienen representantes de varios grupos de artrópodos, principalmente arácnidos e insectos (Tabla 1; Fig. 3).

Tabla 1. Nombres de personajes de cómics que hacen alusión a un artrópodo.

Ambush Bug	Bumblebee	Locust	Spider Girl
Ant Boy	Brood	Madame Web	Spider Ham
Ant Man	Bugeyed Voice	Mantis	Spider Kid
Arachne	Cancer	Milady Mantis	Spider Man
Aranya	Chr'yrites	Miner Ants	Spider Man (2009 A.D.)
Araña	Doppelganger	Queen Bee	Spider Prime
Atom Ant	Firebug	Scarlet Scorpion	Spider Slayer
Aunt Crustacea	Firefly	Scarlet Spider	Spider Spry
Bat Mite	Fly	Scorpia	Spider Woman
Beetle	Fly Girl	Scorpio	Spider Web
Beetle	Fly Guy	Scorpion	Steel Spider
Black Widow	Gipsy Moth	Sea Wasp	Tarántula
Blood Fly	Goldbug	Sidri	Termite
Blue Beetle	Human Fly	Silver Scarab	Tick
Blue Damselfly	Insect Queen	Silver Scorpion	Wasp
Bucky Bug	Iron Spider	Sligs	Vrellnexians
Bug Boy	Killer Moth	Sm'ggani	Yellowjacket
Bugeyed Bandit	King Bee	Sphinx	Woggle bug
Bumble buzz	KT'KN	Spider Boy	

Cine

El cine o séptimo arte, no ha sido ajeno a la influencia de los artrópodos. Existen muchos ejemplos de ello. Tomando como base la colección particular del autor, iniciada desde hace más de diez años, además de consultas frecuentes a la base de datos *The Internet Movie Database* (IMDb: <http://www.imdb.com/>), se han logrado conjuntar más de 160 filmes que incluyen en el título alguna palabra referente a un artrópodo, o bien, cuya trama principal o secundaria tiene que ver con la acción de un artrópodo. Muchas de las películas han sido realizadas en Estados Unidos, aunque también se tienen varias de México y algunas de Japón, Honduras y Brasil. Entre los grupos incluidos (a nivel de orden) están: Acari, Aranae, Blattodea, Coleoptera, Decápoda, Díptera, Hymenoptera, Lepidoptera, Mantodea, Orthoptera, Phasmatodea, Scolopendromorpha y Scorpionida. Excepcionalmente, una de ellas incluye a trilobites en la trama. Con frecuencia se pueden detectar diferentes temas biológicos: ecológicos, fisiológicos, etológicos o taxonómicos, entre otros. Con

frecuencia se utiliza el concepto genérico de *insecto* para referirse a los artrópodos, situación que se ha detectado también en otras creaciones artísticas, así como en estudios etnobiológicos (Costa-Neto, 2002; Costa-Neto y Magalhães, 2007), o en estudiantes de biología con carencia de conocimientos formales sobre insectos (Navarrete-Heredia y Labrador Chávez, 2008). Desafortunadamente, por lo general, los artrópodos son utilizados para infundir terror y considerarlos como animales malignos (Fig. 4).

Comentarios finales

¿Por qué se incluyen insectos en la literatura, el cine, la música, entre otros? Tratando de dar una respuesta sencilla, podemos decir: los insectos son dueños de la Tierra. Su diversidad (número de especies) y abundancia, no tienen comparación dentro del reino animal. Cuando el *Homo sapiens* (nosotros) nos diferenciamos como especie, ellos ya estaban ahí. A través de muchos años hemos hecho esfuerzos por conocerlos. Saber que son, quienes son, que hacen,

dónde viven o cuales nos causan daño, son sólo algunas preguntas de las muchas que nos hemos planteado. En ocasiones, nos hemos maravillado con las respuestas encontradas; en otras, los insectos se han convertido en una más de nuestras fobias, de nuestros temores. Sin serlo, creaciones fílmicas o literarias los han convertido en monstruos, en amarga pesadilla (*La Metamorfosis* de Kafka), en organismos carentes de sentimientos (¡una mantis devora al macho sin la mayor expresión facial!) o autómatas cual robots son capaces de destruir poblados enteros y atacar sin piedad al hombre (algunos films dan muestra de ello: *Them*, *The Black Scorpion*, *The Naked Jungle*). Lo desagradable también se asocia con los insectos: edificios invadidos por cucarachas, sucios (*Joe's Apartment*), o personajes con nombres que aluden a insectos desagradables (por ejemplo en la película mexicana *La Cucaracha*). Finalmente, los artrópodos en un contexto cultural también son parte del folklore y las *maldiciones divinas*: la mujer araña... por desobedecer a sus padres, en más de una ocasión ha sido utilizada para asustar y educar a los hijos.

Ante este ambiente oscuro, desventajoso para los artrópodos, la visión opuesta (positiva), pone en evidencia la admiración y respeto. La mariposa como mensajera del cambio, de la transformación hacia una vida feliz, es utilizada recurrentemente como símbolo de superación personal. Muchos libros dan cuenta de ello. Las hormigas, tenaces y trabajadoras, deben ser vistas e imitadas para un bienestar seguro (recuérdense por ejemplo las fábulas de Esopo) y por qué no, los insectos en películas animadas, dirigidas a un público infantil (*Bugs*, *Antz*, *Katy la Oruga*, *Katy*, *Kiki y Koko*, *El Grillo Feliz*). En fin, los artrópodos han estado aquí y seguirán con o sin nosotros. Nuestra coexistencia armónica es en gran parte nuestra responsabilidad. En este sentido,

recuerdo una frase de un gran maestro mexicano de la biología, el Maestro Juan Luis Cifuentes que dice: *lo que bien se conoce, bien se cuida y se aprovecha*. ¡Debemos admirarlos, comprenderlos y aprender de ellos!

La incorporación de los insectos en creaciones culturales es un tema muy vasto. Aquí se han incluido algunos ejemplos. Ojalá y este pequeño ejercicio, motive a otros investigadores a compartir sus conocimientos entomoculturales para enriquecer y fortalecer nuestro interés por el estudio de estos pequeños gigantes, dominantes de la Tierra.

Agradecimientos

Mi participación en el Congreso Colombiano de Entomología no hubiera sido posible sin la colaboración de la Sociedad Colombiana de Entomología. Gracias por su apoyo. De manera especial a la Dra. Carmenza Góngora por todas las atenciones y apoyo tanto para mi presentación como para la organización del Simposio de Staphylinidae. Finalmente y no por ello menos importante, a los integrantes del grupo KUMANGUI por su apoyo para la organización del curso de Staphylinidae en Bogotá; especialmente a Julie Andrea Avendaño por su interés en la entomología cultural y su apoyo para la localización del libro *Faunética*.



Figura 1. El mosco, luchador de la ciudad de Guadalajara, durante una exhibición de cómic (2008). Foto del autor.



Figura 2. Doña Severa Santos Ortega, La Chapulina, pintura en el Museo de la Ciudad, Guadalajara. Foto del autor.



Figura 3. Ejemplos de algunas portadas de cómics en donde aparecen personajes con nombre de artrópodos. Los derechos pertenecen a las editoriales correspondientes. Se han incluido aquí para fines de análisis, sin intención de lucro.



Figura 4. Ejemplos de algunas películas en donde aparecen artrópodos. Los derechos pertenecen a las editoriales correspondientes. Se han incluido aquí para fines de análisis, sin intención de lucro.

Referencias Bibliográficas

- CASTAÑO-MENESES, G. 2007. Había una vez...: las hormigas en la literatura infantil. pp. 61-73. En: Navarrete-Heredia, J.L., Quiroz-Rocha, G.A. y Fierros-López, H.E. (Coords.). Entomología Cultural: una visión Iberoamericana. Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco, México. 333 p.
- COSTA-NETO E.M. 2002. Manual de etnoentomología. Manuales y Tesis Sociedad Entomológica Aragonesa 4: 1-104.
- COSTA-NETO E.M. and MAGALHÃES, H.E. 2007. The ethnocategory "insect" in the conception of the inhabitants of Tapera County, Sao Gonzalo dos Campos, Bahia, Brazil. Anais da Academia Brasileira de Ciencias 79(2): 239-249.
- EL COLEGIO DE MÉXICO. 1996. Diccionario del Español Usual en México. El Colegio de México, México, D.F. 941 p.
- GARCÍA PÉREZ, H. (Recop.). 2001. Leyendas, tradiciones y personas de Guadalajara. Amate Editorial, Zapopan, Jalisco, México. 292 p.
- HOUGE, C. 1980. Commentaries in cultural entomology. 1. Definition of cultural entomology. Entomological News 91(2): 33-36. KRITSKY, G. 1997. The insects and other arthropods of the Bible, the New Revised Version. American Entomologist 43(3):183-188.
- LAUCK, J. AND BARRET, J.R.G. 1996. 1996 Comic Book Index. Alternate Concepts, Battle Creeek, Michigan.
- LEVY, R. 2008. El mundo animálico de Guadalupe Dueñas. Consejo Estatal para la Cultura y las Artes, Guadalajara, Jalisco, México. 134 p.
- UCHA WIKI. 2011. Los insectos. Disponible en: <http://boxylucha.com/foro/viewtopic.php?f=1&t=23637&sid=49c57a65c510c1956d85ed12a26b93dd> [Fecha revisión: 1 mayo 2011).
- MARVEL COMICS. 2006a. The oficial handbook of the Marvel Universe. Deluxe Edition # 1-7. Marvel Publishing, New York.
- MARVEL COMICS. 2006b. The oficial handbook of the Marvel Universe. Deluxe Edition # 8-14. Marvel Publishing, New York.
- MARVEL COMICS. 2006c. The oficial handbook of the Marvel Universe. Deluxe Edition # 15-20. Marvel Publishing, New York.
- MILLER, J.J., THOMPSON, M., BICKFORD, P. AND FRANKENHOFF, B. 2003. The Standar Catalog of Comic Books. Krause Publications Iola, Wisconsin.
- MOLINA, M. 1997. La escritura de los insectos. Vuelta (212): 66-68.
- MORET, P. 1997a. Los insectos en la mitología y la literatura de la Grecia antigua. Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa (20): 331-335.
- MORET, P. 1997b. Los insectos en la literatura moderna. Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa (20): 443-450.
- NAVARRETE-HEREDIA, J.L. 2008a. Esbozo de un bestiario dominical. Herreriana 4(2): 4-5.

- NAVARRETE-HEREDIA, J.L. 2008b. Héroe de carne y hueso con nombres de artrópodos. *Aleph Zero* (49): Disponible en: <http://hosting.udlap.mx/profesores/miguela.mendez/alephzero/archivo/historico/az49/artropodos-49.html> [Fecha revisión: 2 mayo 2011].
- NAVARRETE-HEREDIA, J.L. y LABRADOR CHÁVEZ, G. 2008. Insectos reconocidos por estudiantes del primer semestre curricular de la carrera de biología, Universidad de Guadalajara, México. *Sitientibus Série Ciências Biológicas* 8(2): 172-178.
- NAVARRETE-HEREDIA, J.L., QUIROZ-ROCHA, G.A. y FIERROS-LÓPEZ, H.E. (Coords.) 2007. *Entomología Cultural: una visión Iberoamericana*. Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco, México. 333 p.
- PALACIOS VARGAS, J.G. 2007. Los artrópodos en la obra literaria de Bernard Werber: el conocimiento científico en las novelas de ciencias-ficción. pp. 53-60. En: Navarrete-Heredia, J.L., Quiroz-Rocha, G.A. y Fierros-López, H.E. (Coords.). *Entomología Cultural: una visión Iberoamericana*. Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco, México. 333 p.
- PATIÑO, V.M. 1999. *Faunética: antología poética zoológica Panamericana y Europea: acopio, ordenamiento, introducción, traducciones y notas*. Instituto Caro y Cuervo, Santafé de Bogotá. 845 p.
- ZULUAGA CARDONA, J.I. 2009. Los insectos en la literatura, las artes plásticas, el diseño, la publicidad y la recreación. *Memorias XXXVI Congreso Socolen, Simposio 4-2*: 304.

A herbivore that manipulates plant defence

Renato Almeida Sarmento^{1,2,3}, Felipe Lemos²,
Petra M. Bleeker⁴, Robert C. Schuurink⁴,
Angelo Pallini², Maria Goreti Almeida Oliveira⁵,
Eraldo R. Lima², Merijn Kant¹,
Maurice W. Sabelis¹, Arne Janssen^{1,2}

¹IBED, Section Population Biology, University of Amsterdam, The Netherlands; ²Department of Animal Biology, Section Entomology, Federal University of Viçosa, Brazil; ³Graduate Programme in Plant Science, Federal University of Tocantins, PO BOX 66, Gurupi, TO, Brazil; ⁴SILS, Department of Plant Physiology, University of Amsterdam, The Netherlands; ⁵Department of Biochemistry and Molecular Biology, Federal University of Viçosa, Brazil.
Emails: RAS: rsarmento@mail.uft.edu.br;
FL: felipelemosufv@yahoo.com.br; PMB: p.m.bleeker@uva.nl;
RCS: R.C.Schuurink@uva.nl; AP: pallini@ufv.br;
MGAO: m Almeida@ufv.br; ERL: eraldo.lima@gmail.com;
MK: M.Kant@uva.nl; MWS: M.W.Sabelis@uva.nl;
AJ: arne.janssen@uva.nl

Abstract

Phytopathogens and herbivores induce plant defences. Whereas there is evidence that some pathogens suppress these defences by interfering with signalling pathways involved in the defence, such evidence is scarce for herbivores. We found that the invasive spider mite *Tetranychus evansi* suppresses the induction of the salicylic acid and jasmonic acid signalling routes involved in induced plant defences in tomato. This was reflected in the levels of inducible defence compounds, such as proteinase inhibitors, which were reduced to even lower levels in mite-infested plants than the constitutive levels in herbivore-free plants. Similarly, the mite suppressed the release of inducible volatiles, also implicated in defence. Consequently, the mites performed much better on previously attacked plants than on non-attacked plants. These findings provide a new perspective on plant-herbivore interactions, plant protection and plant resistance to invasive species.

Keywords: plant-herbivore interaction, defence suppression, induced plant defence, jasmonic acid.

Introduction

Plant defences can be induced by antagonists such as pathogens (Dangl & Jones, 2001) and herbivores (Walling, 2000). The molecular mechanisms involved in these defences are being elucidated rapidly (Kessler & Baldwin, 2002; De Vos *et al.*, 2005; Kant & Baldwin, 2007; Pieterse & Dicke, 2007). Induced plant defences critically depend on the detection and recognition of their attackers (Wu & Baldwin, 2009), and one strategy for pathogens and herbivores to circumvent defences is to avoid being detected and feed stealthily (Walling, 2008). The complex biochemical pathways involved in induced plant defence (Walling, 2000) offer another way to elude defences; such pathways may be vulnerable to manipulation by pathogens (Nomura *et al.*, 2006; McDowell & Simon, 2008) and herbivores (Pieterse & Dicke, 2007; Zarate *et al.*, 2007). Owing to this manipulation, attacked plants may become even better resources for the pathogens and herbivores than non-damaged plants. Although such herbivore-induced susceptibility has often been suggested (Karban & Baldwin, 1997), there is surprisingly little evidence

for it. Earlier studies (for references, see Karban & Baldwin, 1997) show increased herbivore attack of previously damaged plants, but the previous damage was often artificial and most of these studies did not measure herbivore performance, but preference.

Recently, some more convincing examples have been published. For example, glucose oxidase in caterpillar saliva reduces induced defences (Musser *et al.*, 2002; Bede *et al.*, 2006), and attacks by Colorado potato beetles suppress transcription of genes encoding for proteinase inhibitors (PI) involved in plant defence (Lawrence *et al.*, 2008). None of these examples, however, has shown the effects of defence suppression on herbivore performance, and it has been suggested that suppression could even benefit the plant rather than the herbivore (Kahl *et al.*, 2000). Other studies show that plants become more susceptible to attacks by herbivores after previous attacks by other species of herbivores (Sauge *et al.*, 2006; Poelman *et al.*, 2008). In these cases, trade-offs between defence types against different herbivore species may be involved (via so-called antagonistic cross-talk between signalling pathways involved in plant defence, Thaler 1999; see Bruessow *et al.* 2010 for an example of negative cross-talk within the same species). Herbivores may also vector plant pathogens, thereby inducing plant defences against pathogens, which in turn negatively affect the defences against herbivores (Belliere *et al.*, 2005). In conclusion, examples of herbivore attacks that increase plant quality for conspecifics are scarce and the effects reported so far are small (Gonzales *et al.*, 2002; Sauge *et al.*, 2006; Bruessow *et al.*, 2010). Thus, there is still little evidence for manipulation of plant defences by herbivores.

Recently, we showed that one population of a generalist herbivore, the spider mite *Tetranychus urticae*, harbours variation in its ability to suppress the induced defences of tomato plants to lower levels (Kant *et al.*, 2008). This suppression had a small, but significant, positive effect on the fitness of non-suppressing mites residing on the same leaflet (Kant *et al.*, 2008). Here, we report on a closely related mite species, *Tetranychus evansi*, which reduces induced tomato defences so severely that these drop even below house-keeping levels. Both *T. evansi* and *T. urticae* attack and eventually kill tomato plants, not because of high per capita consumption rates of individual mites, but due to their high population growth rates. Until the 1970s, the distribution of *T. evansi* was restricted to South-America, where it attacks solanaceous plants, including tomato, but then spread to Africa and Mediterranean Europe, where it now poses a serious threat to tomato crops, as it cannot be controlled by commercially available predators. We evaluated the performance of *T. evansi* on plants previously attacked by conspecifics and by *T. urticae* and the effect of these two species on induced plant defences. Specifically, we consider direct plant defences (*i.e.* defences that directly affect the performance of herbivores) and indirect defences (*i.e.* the attraction of natural enemies of the herbivores through the production of volatiles). We investigated the involvement of the two main signal-transduction pathways involved in plant defences.

Materials and methods

Rearing methods

Tomato seeds (*Solanum lycopersicum* var Santa Clara I-5300) were sown in trays in a commercial substrate composed of vermiculite and organic fertilizer, and kept inside mite-proof screen cages in a greenhouse. Plants (21 days old)

were transferred to plastic pots (2L) that contained a mixture of soil plus bovine manure (3:1) and fertilizer (4-14-8 N-P-K). Tomato plants were further grown in mite-proof screen cages in a greenhouse until they were 45 days old and had at least four completely developed leaves. Subsequently, plants were used either for the experiments or for spider-mite rearing.

Spider mites (*T. evansi* and *T. urticae*) were obtained in 2002 from naturally infested tomato plants of the same variety mentioned above, in a greenhouse at the Federal University of Viçosa, Brazil. Both species were cultured on detached tomato leaves, of which the petiole was inserted in a PVC tube with water to maintain leaf turgor. Tubes with infested leaves were kept in PVC trays filled with detergent and water (1:25, v/v), which served to prevent mite escapes and invasion of mites and other arthropods. The mass culture was maintained at $25 \pm 3^\circ\text{C}$, 70–90% relative humidity, 12 h light.

A culture of the predatory mite *Phytoseiulus longipes* was started in 2006 with individuals that were provided by Dr. Gilberto de Moraes (USP São Paulo, Brazil). Colonies were maintained at $28 \pm 2^\circ\text{C}$; $80 \pm 10\%$ RH; 12 h light, supplied with detached tomato leaves from the *T. evansi* culture. A culture of another predatory mite species, *Phytoseiulus macropilis*, was started with specimens collected from lima bean plants infested with two-spotted spider mites in a greenhouse at the Federal University of Viçosa, Brazil. The mites were subsequently reared on detached tomato leaves infested with *T. urticae*, under identical conditions as above.

Performance

Adult female spider mites produce 50–70% of their body weight in eggs per day, whereas juveniles increase much

less than 50% in weight per day. Hence, conversion of food is highest in adult females, and the rate of oviposition is so strongly related to population growth rate that it is a reasonable stand-in measure for fitness in local populations (Sabelis, 1991). Furthermore, inferior host plant quality results in lower oviposition rates in spider mites (Li *et al.*, 2002a). For this reason, we measured oviposition rate and adult female survival as follows. Two leaves of four randomly selected tomato plants of 45 days old were infested for 7 days with 200 adult female *T. urticae* or *T. evansi*, the other leaves were kept clean. These numbers are within a realistic range for plants attacked by either of these two species (see Results). Both mite species were collected from tomato plants at the Federal University of Viçosa. The non-infested control plants ($N = 8$) had the same age. Insect glue (Cola Entomológica, Bio-Controle, São Paulo, Brazil) was applied to the petioles of the leaves on which mites were released to prevent mites from moving to other leaves. Control plants from the same batch and the same age were also treated with glue. Plants were kept inside mite-proof screen cages in a greenhouse for 7 days. After removal of mites, web and eggs, 10 leaf discs (20 mm Ø) were made from one damaged and one non-damaged leaf of each infested plant and of corresponding leaves of non-infested control plants. Leaf discs were kept individually in Petri dishes (8 cm Ø) on top of wet cotton wool. One randomly selected adult female *T. evansi*, two days old since turning adult, was placed on each disc. After 2 days ($28 \pm 2^\circ\text{C}$; RH $70 \pm 10\%$, 14 h light), discs were replaced with new discs from the other, similarly treated leaf of the same plant, on which the mites were kept for another two days. Leaf discs were checked every day for survival of the mites and oviposition rates were corrected for mortality. Differences in mean oviposition

rates per plant among treatments were tested with a linear mixed effects model on $\ln(x + 1)$ transformed numbers of eggs with female and plant as a random factor. Differences in survival and the number of mites escaped were compared among treatments with a Generalized Linear Model (GLM) with a binomial error distribution. Note that the experiments with *T. urticae* and *T. evansi*, as well as those on proteinase inhibitors and volatile analysis could not be carried out at the same time for logistical reasons. As it was impossible to maintain constant greenhouse conditions, plant quality may have varied with time. Treatments could therefore only be compared to their controls within the same experiment.

Juvenile development was measured on similarly prepared leaf discs (10 discs of 4 plants of each treatment and of 8 control plants), on which one egg from a cohort of eggs was placed. Survival and development were monitored twice per day until all individuals had either died or matured. Data were subjected to a Kaplan-Meier survival analysis (Hosmer & Lemeshow, 1999). Log-rank tests were used for pairwise planned comparisons (Hosmer & Lemeshow, 1999).

Proteinase inhibitor assays

Proteinase inhibitors are involved in induced plant defence. They are induced by herbivore attacks and hamper the action of digestive proteinases present in the herbivore gut (Koiwa *et al.*, 1997), including those of spider mites (Li *et al.*, 2002a; Kant *et al.*, 2004). Proteinase inhibitor activity was measured in non-damaged and damaged leaves of plants treated as in the oviposition experiments as well as in non-damaged plants that were treated similarly (N = 4 plants). An amount of 600 mg of leaf tissue was frozen in liquid nitrogen and stored at -80°C . Subsequently, it was ground in liquid nitrogen and homogenized in

1000 μl extraction buffer (0.1 M Tris-HCl buffer, pH 8.2 and 20 mM CaCl_2 ; 1:3 w/v), centrifuged at 17.200 g (30 min, 4°C). Fifty μl trypsin (4.7×10^{-5} M) was mixed with 50 μl of the supernatant and 500 μl extraction buffer (0.1 M Tris-HCl buffer, pH 8.2 and 20 mM CaCl_2), and was incubated at room temperature for 5 min. Controls consisted of 500 μl extraction buffer and 50 μl of trypsin (4.7×10^{-5} M). A 500 μl aliquot of the mixture was added to 500 μl extraction buffer and 500 μl D,L-BAPNA (1.2 mM). Trypsin activity was monitored with a spectrophotometer (410 nm). The difference between the absorbance measured at 150 and 60 s was used to determine trypsin activity. Measurements were done in triplicate per sample, and were converted to mg trypsin inhibited per gram of protein (Kant *et al.*, 2004) and were corrected for the dilution (Kakade *et al.*, 1974). Differences among treatments were tested with a linear mixed effects model with replicate as a random factor.

Gene expression

The induction of PI genes such as *WIPI-II* and downstream protein activity depends on the jasmonic acid (JA) signal-transduction pathway, which is mainly activated after attacks by herbivores and necrotrophic pathogens (Walling, 2000; De Vos *et al.*, 2005; Zarate *et al.*, 2007). However, attacks of herbivores like whiteflies, aphids and spider mites can also activate the salicylic acid (SA) pathway (Walling, 2000; Kant *et al.*, 2004; De Vos *et al.*, 2005). To verify which defensive pathways were affected by *T. evansi*, we measured the expression of the genes *WIPI-II*, *PR-P6* and *GGPS1*. The induction of *WIPI-II* is both dependent on the biosynthesis (Li *et al.*, 2002b) and on perception of JA (Li *et al.* 2004) and is a direct indicator of the JA response. The tomato *PR-P6* gene is a pathogenesis-related protein, induced by SA and induction is dependent

on SA (Ament *et al.*, 2006; van Schie *et al.*, 2007b) and a direct indicator of the SA response. *GGPS1* produces the precursor for the volatile homoterpene TMTT ((E,E)-4,8,12-trimethyltrideca-1,3,7,11-tetraene), which is attractive to predators of spider mites (Kant *et al.*, 2004). It is induced by JA, but a basal level of SA is required for its induction (Ament *et al.*, 2006).

Expression analyses were performed on non-damaged leaves or damaged leaves of plants (45 d) infested (7 d) with 200 *T. urticae* or 200 *T. evansi* females as above. Leaflets were cut in small pieces and immediately stored in RNALater® (Applied Biosystems) according to the manufacturer's instructions. Gene specific quantitative RT-PCR primers were designed for the target genes as well as an endogenous control gene Rub 1 conjugating enzyme (*RCE1*). *WIPI II* fw: GAC AAG GTA CTA GTA ATC AAT TAT CC; *WIPI II* rv: GGG CAT ATC CCG AAC CAA GA. *PR-P6* fw: GTA CTG CAT CTT CTT GTT TCC A; *PR-P6* rv: TAG ATA AGT GCT TGA TGT GCC. *RCE* fw: AGT TGC GTC TTC ATA AAG ATA TAA G; *RCE* rv: GAA CGT AAA TGT GCC ACC CAT A. *GGPS1* fw: GGC AGA TTG TGG ACT TGG CGA; *GGPS1* rv: CTC ATT CGC TCC ACA TCA ACC (van Schie *et al.*, 2007a). Total RNA was extracted using the hot phenol method. Purity and integrity was checked by NanoDrop (ND-1000) analyses and agarose-gel electrophoresis respectively. Two µg DNase I (Ambion, Turbo DNA-free) treated RNA was used for reverse transcription and first strand cDNA synthesis with MuLV-RT reverse transcriptase and samples were treated with RNase H according to the manufacturer's instructions (Fermentas, RevertAid). For analysis, the cDNA equivalent of 10 ng total RNA was used as a template and mixed with 2x SYBR Green PCR Master Mix, ROX reference dye and 300 nM of each primer and dispersed as 20 µl on a 96-well optical

reaction plate (Applied Biosystems). Specificity of the reaction was verified by dissociation analysis. Gene expression of *RCE1* was used to normalize and correct for variance in quality of RNA and quantity of input cDNA. Primer pair efficiencies were estimated by analysis of the amplification curves and the average efficiency of all reactions on a plate was used in calculations. Three biological replicates and two technical replicates were analyzed individually. Relative expression levels were log-transformed and analyzed with MANOVA. ANOVAs were used for each gene separately, followed by post-hoc comparisons among treatments.

Volatile analysis

The attack of plants by herbivores induces the production of plant volatiles, which are also implicated in plant defence. These volatiles repel herbivores (Pallini *et al.*, 1997; Kessler & Baldwin, 2001) and are thought to be involved in plant signalling (Frost *et al.*, 2007), but they also attract natural enemies of herbivores (Dicke *et al.*, 1990; Turlings *et al.*, 1990; Thaler, 1999; Kessler & Baldwin, 2001). In tomato, *GGPS1* codes for the enzyme geranylgeranyl diphosphate synthase, which synthesizes the precursor for the volatile TMTT, which is attractive to predators of spider mites (Dicke *et al.*, 1990). We therefore analysed the volatiles produced by tomato plants attacked by either *T. evansi*, *T. urticae* or no herbivores. Plants (45 d old) were infested with mites as above and groups of 3 plants were used as odour sources. Three leaves from each group of plants were put in a glass jar, wrapped in black paper to avoid light penetration. Charcoal-filtered air was led over the leaves using a vacuum pump. Volatiles were collected for 24h at an airflow of 150 mL/min on 50 mg of Super Q (80/100 mesh; Alltech, Deerfield, IL) connected to the outlet of the jar. Before use, the filter was

rinsed with 2 mL of methanol and HPLC grade n-hexane (Sigma-Aldrich, USA). Volatiles were washed off with 0.4 mL of HPLC grade n-hexane (Sigma-Aldrich), collected in sealed glass capillary tubes and stored at -20°C . Volatiles were analyzed as described in Bleeker *et al.* (2009). All datasets were processed with the Metalign software package (Lommen, 2009) for automated baseline correction, mass spectra extraction and subsequent spectral data alignment, with settings advised for the Leco Pegasus TOF-MS, using autoscaling on the total signal. The metabolites of these mass peaks were subsequently identified in the original GC-MS chromatograms. Differences in log-transformed volatile production between treatments and controls were tested with linear mixed effects models with replicate as a random factor.

Host plant selection

Plants were infested with spider mites as described above (Volatile analysis). Non-damaged plants of the same age were used as control odour sources. The attraction of individual spider mites and predatory mites to the odours emanating from these plants was assessed using a Y-tube olfactometer (Pallini *et al.*, 1997). Prior to testing, adult female *T. evansi* were starved for 24 h ($28 \pm 2^{\circ}\text{C}$, RH $70 \pm 10\%$); predators for 3 h. Mites were tested individually in the olfactometer as described in Pallini *et al.* (1997). Data were analyzed with a generalized linear model with a Poisson error distribution (Crawley, 2007).

Number of dispersers

Populations of *T. evansi* and *T. urticae* grow fast and in the absence of predators eventually over-exploit their host plant, after which the mites disperse to new plants. Owing to this metapopulation structure (Ellner *et al.*, 2001), the per capita oviposition rate or fecundity are not adequate stand-in fitness measures,

but rather the number of dispersers produced per patch, as shown by Metz and Gyllenberg (2001). We therefore measured the final numbers of *T. evansi* and *T. urticae* on tomato plants at the moment the plant was overexploited, assuming that this is proportional to the number of dispersers. Tomato plants were infested with three 2-day-old mated females of *T. evansi* or *T. urticae* with a fine brush. Plants were maintained inside a climate room ($28 \pm 2^{\circ}\text{C}$; relative humidity, $70 \pm 10\%$ and 12 hours of light) during the whole experimental period.

Adult female mites of both mite species on the plants were counted every 3 days until the plants died of overexploitation by the mites. Each treatment was replicated four times (*i.e.* four different plants). Log transformed densities of spider mites were analyzed using linear mixed-effects models (lme), to correct for repeated measures. All statistical analyses were done in R (2006).

Results

Performance

Tetranychus evansi had a significantly higher oviposition rate on tomato leaves that were previously attacked by conspecifics than on leaves of non-damaged tomato plants or on systemic leaves (*i.e.* non-attacked leaves from previously attacked plants) (Fig. 1a). Mortality of adult females during the oviposition experiment was significantly lower on leaves previously attacked by *T. evansi* than on non-attacked leaves (GLM, $\text{Chi}^2_{1,10} = 6.27$, $P = 0.012$), but was not significantly different from that on systemic leaves ($\text{Chi}^2_{1,10} = 2.42$, $P = 0.12$) (average mortality \pm s.e.: non-attacked: 0.389 ± 0.098 ; systemic: 0.331 ± 0.164 ; damaged: 0.167 ± 0.047).

The oviposition rate of *T. evansi* on

tomato leaves previously attacked by *T. urticae* was lower than on non-damaged leaves (Fig. 1b), suggesting that *T. evansi* is sensitive to defences induced by *T. urticae*. These results also confirm that the inducible defences in our tomato variety were intact. The mortality of adult *T. evansi* was significantly higher on leaves damaged by *T. urticae* than on systemic leaves ($\text{Chi}^2_{2,14} = 8.1224$, $P = 0.0044$) and than on non-attacked leaves ($\text{Chi}^2_{2,14} = 28.9$, $P < 0.0001$) (non-attacked: 0.025 ± 0.016 ; systemic: 0.125 ± 0.048 ; damaged: 0.40 ± 0.041). Notice that the experiments with plants attacked by *T. urticae* and *T. evansi* were not carried out at the same time for logistical reasons, and plant quality may have varied with time. Oviposition rates and mortality on leaves attacked by *T. evansi* and *T. urticae* can therefore not be compared directly, but only with their respective controls.

There was no effect of plant treatment on juvenile survival of *T. evansi* (Fig. 1C; $\text{Chi}^2_4 = 1.6$, $P = 0.804$), but there was a significant effect on developmental rate (Fig. 1C; $\text{Chi}^2_4 = 20.1$, $P = 0.0005$). This was caused by the developmental rate of juveniles on leaf discs from plants previously attacked by *T. urticae* being lower than in all other treatments (Fig. 1C, all P 's < 0.05).

Proteinase inhibitor assays

Levels of PI activity in leaves attacked by *T. evansi* were less than half that of activity levels in leaves of non-damaged plants (Fig. 2). PI activity in systemic leaves was higher than in damaged leaves (Fig. 2), but somewhat lower than in non-damaged leaves, suggesting that the effect was, at least partially, systemic. Attacks by *T. urticae* increased PI activity (Fig. 2), as reported before (Kant *et al.*, 2004), showing that induced plant defence through increased PI activity was intact in the tomato plants.

Gene expression

Tetranychus evansi did not up-regulate *WIPI-II* (JA pathway) or *PR-P6* (SA pathway) (Fig. 3). In contrast, leaves attacked by *T. urticae* showed strongly increased expression of these genes (Fig. 3), confirming earlier results (Kant *et al.*, 2004) and demonstrating that normal establishment of induced defences is hampered by *T. evansi*. The *GGPS1* gene is involved in indirect plant defence in tomato (Kant *et al.*, 2004). Tomato leaves attacked by *T. evansi* showed down-regulation of *GGPS1* (Fig. 3). Leaves attacked by *T. urticae* showed the normal up-regulation of *GGPS1* relative to un-attacked plants, in agreement with earlier reports (Kant *et al.*, 2004) (Fig. 3).

Volatile analysis

Two volatiles were emitted in higher amounts by leaves under attack by *T. urticae* than by control leaves (Fig. 4a): TMTT, which is known to be induced by *T. urticae* (Kant *et al.*, 2004), and β -myrcene, which also increases upon *T. urticae* infestation, but not always significantly (Kant *et al.*, 2004). The two other volatiles shown in Fig. 4, β -caryophyllene and α -copaene, are constitutively produced by tomato plants and not induced by *T. urticae* (Kant *et al.*, 2004). In contrast, the emission of volatiles of plants attacked by *T. evansi* was not different from that of non-damaged plants (Fig 4b).

Univariate statistical analysis, an integral part of Metalign, was used for mass peak selection, with 95% significance, to compare the means of each individual aligned mass peak from infested leaves with the controls. Metalign did not identify any fragments that were significantly induced or reduced in leaves attacked by *T. evansi* compared to control leaves (all P 's > 0.10). Hence, *T. evansi* does not induce the production of the same volatiles as *T. urticae*.

Host plant selection

The lack of induction of the production of volatiles by *T. evansi* was further tested through the response of *T. evansi* and two species of predatory mite to the volatiles emitted by plants attacked by *T. evansi*. Predatory mites are important natural enemies of spider mites; they are often used to control them and they are attracted to plant volatiles induced by spider mites (Dicke *et al.*, 1990), including tomato plants (Kant *et al.*, 2004). The two species used here, *Phytoseiulus longipes* and *P. macropilis*, co-occur with *T. evansi* in South America, and *P. longipes*, is considered a potential biological control agent of *T. evansi* (Furtado *et al.*, 2007). All three mite species significantly preferred odours of plants with *T. evansi* to those of non-damaged plants, suggesting that the plant-herbivore complex did release attractive odours (Fig. 5). Moreover, *T. evansi* had a clear preference for odours of plants attacked by conspecifics when offered together with odours of plants with *T. urticae* (Fig. 5), confirming that the volatiles emanating from plants with these two closely related spider mites are different. In contrast, *P. longipes* showed no preference for odours of plants with *T. urticae* or *T. evansi* (Fig. 5).

Number of dispersers

The effect of reduced plant defences caused by *T. evansi* did not result in more rapid over-exploitation of the host plant compared to the defence-inducing *T. urticae*. In contrast, it ultimately gave rise to higher numbers of mites per plant, hence, higher numbers of dispersers (Fig. 6), which is a stand-in measure for fitness in populations with a metapopulation structure (Metz & Gyllenberg, 2001).

Discussion

We show that the phytophagous mite *T. evansi* had a higher oviposition rate and a

higher adult survival on plants that were previously attacked by conspecifics than on non-damaged plants. These results show that *T. evansi* has a higher performance on plants that were previously attacked by conspecifics. In contrast, *T. evansi* had a lower oviposition rate, lower juvenile and adult survival and a lower juvenile developmental rate on plants that were previously attacked by its congener *T. urticae*. This corresponds to what is normally observed as the effect of induced plant defence; herbivore performance is lower on previously attacked plants than on non-damaged plants (Walling, 2000).

The higher oviposition rate of *T. evansi* on previously attacked plants coincided with these plants having lower PI activity. It is known that tomato *def-1* mutants, which are deficient in wound-induced JA accumulation and expression of downstream target genes, do not show increased PI activity upon herbivore attack. Yet, these *def-1* plants show similar house-keeping levels of PI activity as non-damaged wild-type plants (Li *et al.*, 2002a), indicating that constitutive, house-keeping, PI levels are regulated differently than JA-dependent induced PI levels (O'Donnell *et al.*, 2003). As the PI activity in plants damaged by *T. evansi* was significantly lower than that in non-damaged plants (Fig. 2), this shows that, unlike other herbivores (Musser *et al.*, 2002; Bede *et al.*, 2006; Kant *et al.*, 2008; Lawrence *et al.*, 2008; Walling, 2008), *T. evansi* does not just prevent induction of plant defences but reduces house-keeping levels of defence-related plant constituents below the levels in non-attacked plants. This suggests that the mite reduces constitutive plant defences as well.

The low activity of PI in leaves previously attacked by *T. evansi*, in turn, coincided with lack of up-regulation of *WIPI II*, a gene that is dependent on the JA defensive

pathway, one of the two main signalling routes involved in plant defence in tomato. Likewise, *PR-P6*, a marker gene of the other main signalling route, the SA pathway, was also not up-regulated by *T. evansi* damage. The fact that marker genes from neither of the two pathways were up-regulated shows that the lack of induction of either of the two pathways was not caused by negative cross-talk between the SA and JA signalling pathways (Thaler, 1999; Bruessow *et al.*, 2010).

GGPS1 was also not up-regulated in plants attacked by *T. evansi*, in agreement with the lack of TMTT emission by these plants. Counter to our expectation, *T. evansi* and two species of predatory mite were attracted to plants attacked by *T. evansi* in an olfactometer, showing that more volatiles or volatile compounds emanated from these plants compared to non-damaged plants. The fact that *T. evansi* prefers odours of plants attacked by *T. evansi* to plants attacked by *T. urticae* confirms our finding that the volatiles emanated by plants attacked by these two species differ, but apparently, *P. longipes* does not discriminate between these volatiles. Apparently, the volatiles that we identified are not of key importance for the attraction of these natural enemies, which is in agreement with the work by D'Alessandro and Turlings (2005) on parasitic wasps. The inducible plant volatiles found here are known to be attractive for other species of predatory mite (Dicke *et al.*, 1990), but may also be involved in other defensive functions (Frost *et al.*, 2007).

The high oviposition rate of *T. evansi* on tomato plants resulted in a high population growth rate on tomato plants (the local population growth rate estimated from Fig. 6 is $0.300 \pm 0.009 \text{ day}^{-1}$), which is the highest recorded for spider mites at the prevailing temperature (Sabelis, 1991).

The estimated growth rate of *T. urticae* (Fig. 6: 0.262 ± 0.005) closely coincided with the average intrinsic growth rate published for this species (0.269 ± 0.020) (Sabelis, 1991), showing that our results with the strain of *T. urticae* and the variety of tomato tested do not differ from earlier reports. The growth rate of *T. urticae* is generally considered to be among the highest for spider mites, but it was significantly lower than that of *T. evansi* (t-test, $t_6 = 3.63$, $P = 0.012$), which is striking because tomato is generally considered as a low quality food source for *T. urticae* (Chatzivasileiadis & Sabelis, 1997; Agrawal *et al.*, 2002). However, this high growth rate did not result in more rapid overexploitation (death) of the host plants, but rather, in higher population levels at the moment of overexploitation compared to *T. urticae*. This will result in higher numbers of mites dispersing from overexploited plants.

In conclusion, *T. evansi* seems to interfere with plant defences in a manner different from other herbivores. There is very limited evidence for defence suppression by herbivores (Musser *et al.*, 2002; Bede *et al.*, 2006; Zarate *et al.*, 2007; Lawrence *et al.*, 2008), and even less evidence that this suppression results in an increase in plant quality for the suppressing herbivore. Rather than merely suppressing defences downstream of the induced response, *T. evansi* apparently also interferes with components of house-keeping mechanisms that maintain constitutive *WIPI* transcript levels and PI activity levels in non-damaged plants. This results in suppressed plants being better food than induced plants and herbivore-free control plants.

The last decades, much of the research on plant-herbivore interactions was focused on plant defence, but such defences are bound to trigger selection for counter-adaptations in herbivores (Karban &

Agrawal, 2002). The down-regulation of tomato defences by *T. evansi* may be an example of this. More research into the molecular mechanisms underlying plant defence suppression is needed to develop crops able to counter manipulation by herbivores. Such research will further our understanding of the evolution of plant-herbivore interactions and the interplay of plant defences with herbivore strategies to counter these defences (Karban & Agrawal, 2002).

Acknowledgements

We thank Prof. G.J. de Moraes, University of São Paulo, Brazil for *Phytoseiulus longipes*, several anonymous reviewers for constructive comments and Ted Turlings for excellent comments and editing. RAS was supported by WOTRO (W82-281), FL and AP by CNPq, AJ by FAPEMIG (CBB-30003/09).

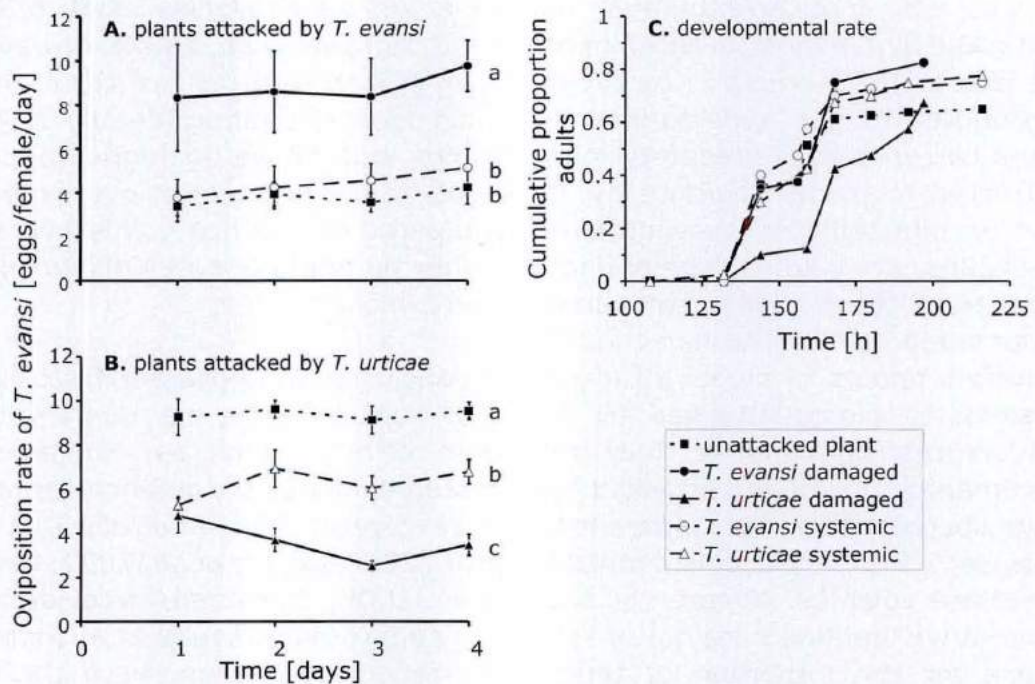


Figura 1. Performance of *T. evansi*. Mean (\pm s.e.m., 4 plants, 10 mites per plant) oviposition of *T. evansi* on tomato leaves that were previously damaged by conspecific mites (**A**, closed circles, solid line) or *T. urticae* (**B**, closed triangles, solid line), on non-infested leaves of infested plants (systemic, open circles and triangles, interrupted line) and leaves from non-damaged control plants (8 plants, 10 mites per plant, closed squares and dotted line). The effect of treatment was significant (linear mixed effects model; **A**: $F_{2,13} = 9.85$, $P = 0.0025$; **B**: $F_{2,13} = 44.6$, $P < 0.0001$). Curves with different letters within each panel differ significantly. The experiments with *T. urticae* and *T. evansi* were not carried out at the same time for logistical reasons. As it was impossible to maintain constant greenhouse conditions, plant quality will have varied with time. Treatments can therefore only be compared to their controls within the same experiment (*i.e.* within the same panel). (**C**) Developmental rate and juvenile survival of *T. evansi* (in h, from egg to adult) on tomato leaves treated as in **A** and **B**. The curves show the fraction of mites of the initial cohort of 40 eggs per treatment that developed into adults. Error bars are left out for reasons of clarity.

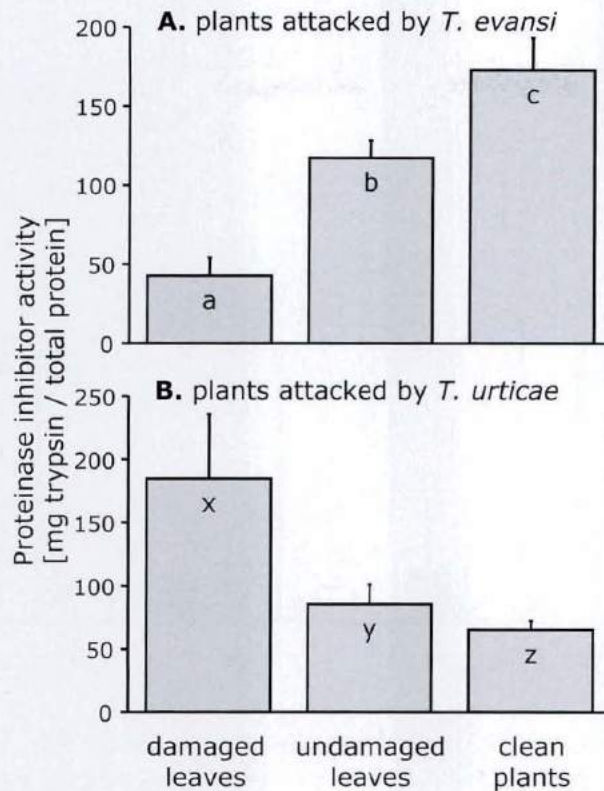


Figura 2. Proteinase inhibitor activity. Mean (+ s.e.m., n = 4 plants) PI activity in leaves damaged by *T. evansi* (**A**) or *T. urticae* (**B**) and non-damaged leaves from similarly damaged plants (systemic) and leaves of non-damaged plants. The effect of treatment was significant (ANOVA on log-transformed relative activity: $F_{3,12} = 25.6$, $P < 0.0001$). Within each panel, bars labelled with different letters are significantly different (Tukey HSD). The experiments with *T. urticae* and *T. evansi* were not carried out at the same time for logistical reasons. As it was impossible to maintain constant greenhouse conditions, plant quality will have varied with time. Treatments can therefore only be compared to their controls within the same experiment (*i.e.* within the same panel).

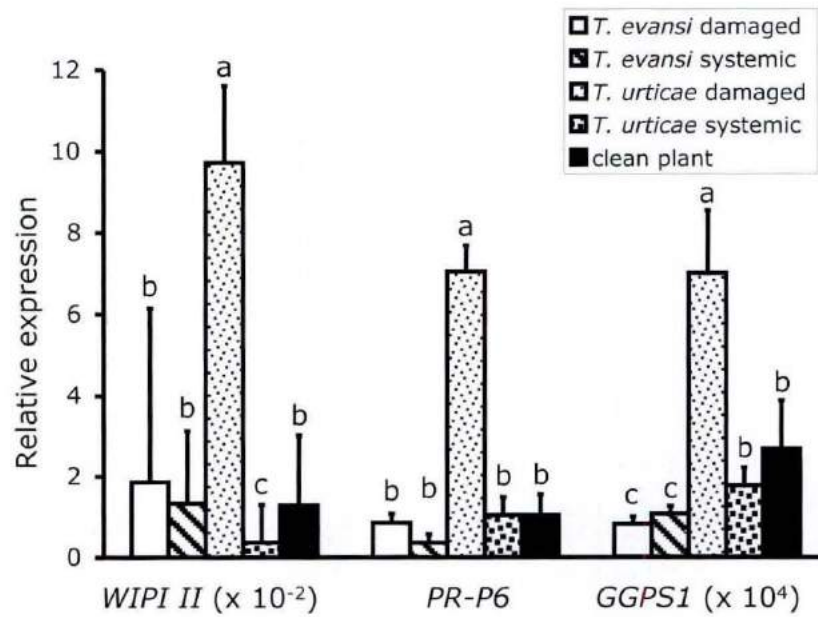


Figura 3. Expression of genes regulated by JA or SA. Mean expression levels normalized to *RCE1* (+ s.e.m., n = 3, 2 technical replicates) of *WIPI II*, *PR-P6* and *GGPS1* in leaves attacked by *T. evansi* (white bars), systemic leaves of the same plants (crosshatched bars), leaves attacked by *T. urticae* (light dotted bars), systemic leaves (dark dotted bars) and leaves of non-attacked plants (black bars). The effect of treatment was significant (MANOVA: Pillai-Bartlett statistic = 1.41, d.f. = 4,13, P = 0.0060), as was the effect on each gene separately (ANOVA: *WIPI II*: $F_{4,13} = 4.78$, P = 0.014; *PR-P6*: $F_{4,13} = 4.67$, P = 0.015; *GGPS1*: $F_{4,13} = 6.13$, P = 0.005). Bars with different letters within each gene differ significantly.

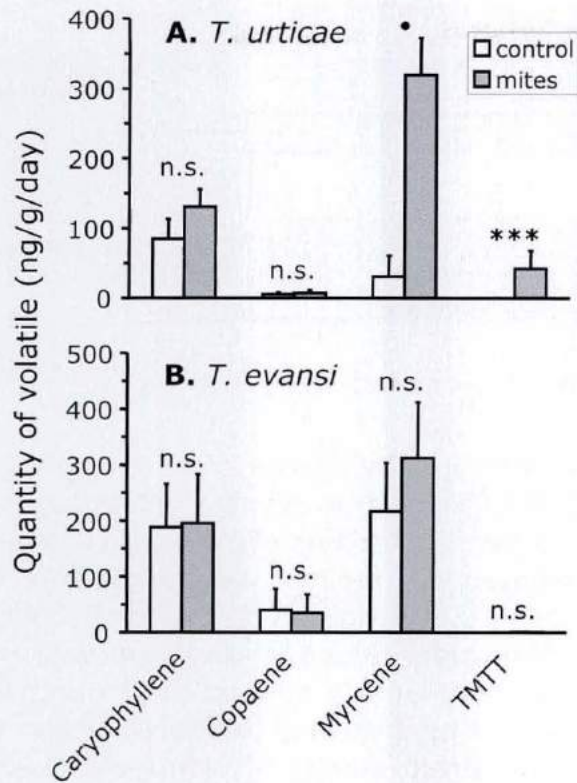


Figura 4. Production of volatile plant compounds involved in indirect plant defence. Shown are mean (+ s.e.m.) volatile profiles of plants. **a.** Plants ($n = 3$) attacked by *T. urticae* (grey bars) produced more TMTT than non-damaged plants (white bars) (lme, $F_{1,2} = 34.8$, $P = 0.0275$) and marginally significantly more myrcene ($F_{1,2} = 7.75$, $P = 0.108$). **b.** Plants ($n = 5$) attacked by *T. evansi* (grey bars) and non-damaged plants (white bars) did not differ significantly (lme, all P 's > 0.17).

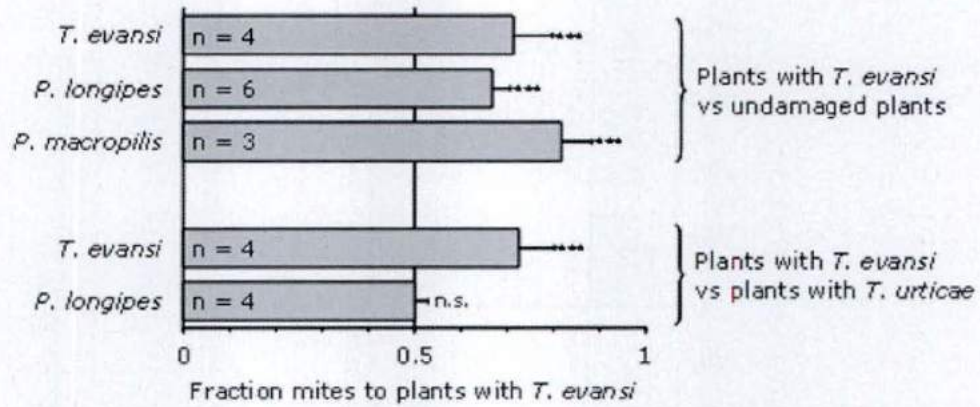


Figura 5. Attraction of mites by odours of tomato plants attacked by *T. evansi*. Bars represent the fraction of mites choosing for the odours of plants attacked by *T. evansi*, a fraction of 0.5 would indicate no preference. Fractions were averaged (+ s.e.m.) over replicates (numbers given inside the bars), carried out using different sets of 3 plants and different groups of 20 mites. The spider mite *T. evansi* (top bar) and the predatory mites *Phytoseiulus longipes* and *P. macropilis* (2nd and 3rd bar) preferred odours of plants attacked by *T. evansi* to odours of non-damaged plants. Moreover, *T. evansi* preferred odours of plants attacked by *T. evansi* to odours of plants attacked by *T. urticae* (4th bar) and *P. longipes* did not show preference for either odour (lower bar). ***: GLM: $P < 0.001$; n.s.: GLM: not significant.

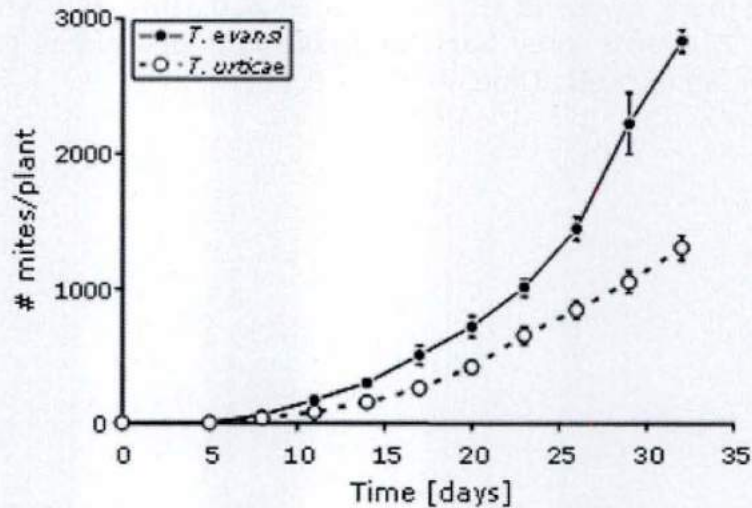


Figura 6. Population growth rates of *Tetranychus evansi* and *T. urticae* on intact tomato plants. Shown are mean densities (+ s.e.m., $n = 4$) of adult female *T. evansi* (closed symbols) and *T. urticae* (open symbols) until the plants were overexploited. Through time, the densities of *T. evansi* were significantly higher than those of *T. urticae* (linear mixed effects model, $\text{Chi}^2 = 116.7$, d.f. = 1, $P < 0.0001$).

Referencias Bibliográficas

- AGRAWAL A.A., VALA F. & SABELIS M.W. (2002). Induction of preference and performance after acclimation to novel hosts in a phytophagous spider mite: Adaptive plasticity? *Am. Nat.*, 159, 553-565.
- AMENT K., VAN SCHIE C.C., BOUWMEESTER H.J., HARING M.A. & SCHUURINK R.C. (2006). Induction of a leaf specific geranylgeranyl pyrophosphate synthase and emission of (E,E)-4,8,12-trimethyltrideca-1,3,7,11-tetraene in tomato are dependent on both jasmonic acid and salicylic acid signaling pathways. *Planta*, 224, 1197-1208.
- BEDE J.C., MUSSER R.O., FELTON G.W. & KORTH K.L. (2006). Caterpillar herbivory and salivary enzymes decrease transcript levels of *Medicago truncatula* genes encoding early enzymes in terpenoid biosynthesis. *Plant Molec. Biol.*, 60, 519-531.
- BELLIURE B., JANSSEN A., MARIS P.C., PETERS D. & SABELIS M.W. (2005). Herbivore arthropods benefit from vectoring plant viruses. *Ecol. Lett.*, 8, 70-79.
- BLEEKER P.M., DIERGAARDE P.J., AMENT K., GUERRA J., WEIDNER M., SCHUTZ S., DE BOTH M.T.J., HARING M.A. & SCHUURINK R.C. (2009). The role of specific tomato volatiles in tomato-whitefly interaction. *Plant Physiol.*, 151, 925-935.
- BRUESSOW F., GOUHIER-DARIMONT C., BUCHALA A.J., METRAUX J.P. & REYMOND P. (2010). Insect eggs suppress plant defence against chewing herbivores. *Plant J.*
- CHATZIVASILEIADIS E.A. & SABELIS M.W. (1997). Toxicity of methyl ketones from tomato thichomes to *Tetranychus urticae* Koch. *Exper. Appl. Acarol.*, 21, 473-484.
- CRAWLEY M.J. (2007). *The R Book*. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, England.
- D'ALESSANDRO M. & TURLINGS T.C.J. (2005). In situ modification of herbivore-induced plant odors: A novel approach to study the attractiveness of volatile organic compounds to parasitic wasps. *Chemical Senses*, 30, 739-753.
- DANGL J.L. & JONES J.D.G. (2001). Plant pathogens and integrated defence responses to infection. *Nature*, 411, 826-833.
- DE VOS M., VAN OOSTEN V.R., VAN POECKE R.M.P., VAN PELT J.A., POZO M.J., MUELLER M.J., BUCHALA A.J., METRAUX J.P., VAN LOON L.C., DICKE M. & PIETERSE C.M.J. (2005). Signal signature and transcriptome changes of *Arabidopsis* during pathogen and insect attack. *Mol. Plant Micr. Interact.*, 18, 923-937.
- DICKE M., VAN BEEK T.A., POSTHUMUS M.A., BEN DOM N., VAN BOKHOVEN H. & DE GROOT Æ. (1990). Isolation and identification of volatile kairomone that affects acarine predator-prey interactions - Involvement of host plant in its production. *J. Chem. Ecol.*, 16, 381-396.
- ELLNER S.P., MCCAULEY E., KENDALL B.E., BRIGGS C.J., HOSSEINI P.R., WOOD S.N., JANSSEN A., SABELIS M.W., TURCHIN P., NISBET R.M. & MURDOCH W.W. (2001). Habitat structure and population persistence in an experimental community. *Nature*, 412, 538-543.

- FROST C.J., APPEL M., CARLSON J.E., DE MORAES C.M., MESCHER M.C. & SCHULTZ J.C. (2007). Within-plant signalling via volatiles overcomes vascular constraints on systemic signalling and primes responses against herbivores. *Ecol. Lett.*, 10, 490-498.
- FURTADO I.P., DE MORAES G.J., KREITER S., TIXIER M.S. & KNAPP M. (2007). Potential of a Brazilian population of the predatory mite *Phytoseiulus longipes* as a biological control agent of *Tetranychus evansi* (Acari : Phytoseiidae : Tetranychidae). *Biol. Contr.*, 42, 139-147.
- GONZALES W.L., RAMÍREZ C.C., OLEA N. & NIEMEYER H.M. (2002). Host plant changes produced by the aphid *Sipha flava*: consequences for aphid feeding behaviour and growth. *Entomol. Exper. Appl.*, 103, 107-113.
- HOSMER D.W.J. & LEMESHOW S. (1999). *Applied Survival Analysis. Regression Modeling of Time to Event Data*. Wiley-Interscience Publication., New York, USA.
- KAHL J., SIEMENS D.H., AERTS R.J., GABLER R., KUHNEMANN F., PRESTON C.A. & BALDWIN I.T. (2000). Herbivore-induced ethylene suppresses a direct defense but not a putative indirect defense against an adapted herbivore. *Planta*, 210, 336-342.
- KAKADE M.L., RACKIS J.J., MCGHEE J.E. & PUSKI G. (1974). Determination of trypsin-inhibitor activity of soy products - Collaborative analysis of an improved procedure. *Cereal Chem.*, 51, 376-382.
- KANT M.R., AMENT K., SABELIS M.W., HARING M.A. & SCHUURINK R.C. (2004). Differential timing of spider mite-induced direct and indirect defenses in tomato plants. *Plant Physiol.*, 135, 483-495.
- KANT M.R. & BALDWIN I.T. (2007). The ecogenetics and ecogenomics of plant-herbivore interactions: rapid progress on a slippery road. *Curr. Opin. Genet. Devel.*, 17, 519-524.
- KANT M.R., SABELIS M.W., HARING M.A. & SCHUURINK R.C. (2008). Intraspecific variation in a generalist herbivore accounts for differential induction and impact of host plant defences. *Proc. R. Soc. B.*, 275, 443-452.
- KARBAN R. & AGRAWAL A.A. (2002). Herbivore offense. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 33, 641-664.
- KARBAN R. & BALDWIN I.T. (1997). *Induced responses to herbivory*. University of Chicago Press, Chicago.
- KESSLER A. & BALDWIN I.T. (2001). Defensive function of herbivore-induced plant volatile emissions in nature. *Science*, 291, 2141-2144.
- KESSLER A. & BALDWIN I.T. (2002). Plant responses to insect herbivory: The emerging molecular analysis. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 53, 299-328.
- KOIWA H., BRESSAN R.A. & HASEGAWA P.M. (1997). Regulation of protease inhibitors and plant defense. *Trends Plant Sci.*, 2, 379-384.
- LAWRENCE S.D., NOVAK N.G., JU C.J.T. & COOKE J.E.K. (2008). Potato, *Solanum tuberosum*, defense against Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata* (Say): Microarray gene expression profiling of potato by Colorado potato beetle regurgitant treatment of wounded leaves. *J. Chem. Ecol.*, 34, 1013-1025.

- LI C.Y., WILLIAMS M.M., LOH Y.T., LEE G.I. & HOWE G.A. (2002a). Resistance of cultivated tomato to cell content-feeding herbivores is regulated by the octadecanoid-signaling pathway. *Plant Physiol.*, 130, 494-503.
- LI L., LI C.Y., LEE G.I. & HOWE G.A. (2002B). Distinct roles for jasmonate synthesis and action in the systemic wound response of tomato. *PNAS*, 99, 6416-6421.
- LI L., ZHAO Y.F., MCCAIG B.C., WINGERD B.A., WANG J.H., WHALON M.E., PICHERSKY E. & HOWE G.A. (2004). The tomato homolog of CORONATINE-INSENSITIVE1 is required for the maternal control of seed maturation, jasmonate-signaled defense responses, and glandular trichome development. *Plant Cell*, 16, 126-143.
- LOMMEN A. (2009). MetAlign: Interface-driven, versatile metabolomics tool for hyphenated full-scan mass spectrometry data preprocessing. *Anal. Chem.*, 81, 3079-3086.
- MCDOWELL J.M. & SIMON S.A. (2008). Molecular diversity at the plant-pathogen interface. *Developmental and Comparative Immunology*, 32, 736-744.
- METZ J.A.J. & GYLLENBERG M. (2001). How should we define fitness in structured metapopulation models? Including an application to the calculation of evolutionarily stable dispersal strategies. *Proc. R. Soc. B.*, 268, 499-508.
- MUSSER R.O., HUM-MUSSER S.M., EICHENSEER H., PEIFFER M., ERVIN G., MURPHY J.B. & FELTON G.W. (2002). Herbivory: Caterpillar saliva beats plant defences - A new weapon emerges in the evolutionary arms race between plants and herbivores. *Nature*, 416, 599-600.
- NOMURA K., DEBROY S., LEE Y.H., PUMPLIN N., JONES J. & HE S.Y. (2006). A bacterial virulence protein suppresses host innate immunity to cause plant disease. *Science*, 313, 220-223.
- O'DONNELL P.J., SCHMELZ E., BLOCK A., MIERSCH O., WASTERNAK C., JONES J.B. & KLEE H.J. (2003). Multiple hormones act sequentially to mediate a susceptible tomato pathogen defense response. *Plant Physiol.*, 133, 1181-1189.
- PALLINI A., JANSSEN A. & SABELIS M.W. (1997). Odour-mediated responses of phytophagous mites to conspecific and heterospecific competitors. *Oecologia*, 110, 179-185.
- PIETERSE C.M.J. & DICKE M. (2007). Plant interactions with microbes and insects: from molecular mechanisms to ecology. *Trends Plant Sci.*, 12, 564-569.
- POELMAN E.H., BROEKGAARDEN C., VAN LOON J.J.A. & DICKE M. (2008). Early season herbivore differentially affects plant defence responses to subsequently colonizing herbivores and their abundance in the field. *Molec. Ecol.*, 17, 3352-3365.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM (2006). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- SABELIS M.W. (1991). Life-history evolution of spider mites. In: *The Acari. Reproduction, Development and Life-history Strategies* (eds.

- Schuster R & Murphy PW). Chapman & Hall London, pp. 23-49.
- SAUGE M.H., MUS F., LACROZE J.P., PASCAL T., KERVILLA J. & POESSEL J.L. (2006). Genotypic variation in induced resistance and induced susceptibility in the peach - *Myzus persicae* aphid system. *Oikos*, 113, 305-313.
- THALER J.S. (1999). Jasmonate-inducible plant defenses cause increased parasitism of herbivores. *Nature*, 399, 686-688.
- TURLINGS T.C.J., TUMLINSON J.H. & LEWIS W.J. (1990). Exploitation of herbivore-induced plant odors by host-seeking parasitic wasps. *Science*, 250, 1251-1253.
- VAN SCHIE C.C.N., AMENT K., SCHMIDT A., LANGE T., HARING M.A. & SCHUURINK R.C. (2007a). Geranyl diphosphate synthase is required for biosynthesis of gibberellins. *Plant J.*, 52, 752-762.
- VAN SCHIE C.C.N., HARING M.A. & SCHUURINK R.C. (2007b). Tomato linalool synthase is induced in trichomes by jasmonic acid. *Plant Molec. Biol.*, 64, 251-263.
- WALLING L.L. (2000). The myriad plant responses to herbivores. *J. Plant Growth Regul.*, 19, 195-216.
- WALLING L.L. (2008). Avoiding effective defenses: Strategies employed by phloem-feeding insects. *Plant Physiol.*, 146, 859-866.
- WU J.Q. & BALDWIN I.T. (2009). Herbivory-induced signalling in plants: perception and action. *Plant Cell and Environment*, 32, 1161-1174.
- ZARATE S.I., KEMPEMA L.A. & WALLING L.L. (2007). Silverleaf whitefly induces salicylic acid defenses and suppresses effectual jasmonic acid defenses. *Plant Physiol.*, 143, 866-875.

Compatibilidade de productos alternativos e agentes de controle biologico para o manejo de pragas na agricultura orgânica

Madelaine Venzon¹, Alberto Soto²,
Hamilton G. Oliveira³, Rafael M. Oliveira⁴,
Elaine Ferrari de Brito⁴,
Fredy Alexander Rodriguez Cruz⁴

¹Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais - EPAMIG,
Vila Gianetti 46, 36570-000, Viçosa, MG,
venzon@epamig.ufv.br;

²Departamento de Fitotecnia, Universidad de Caldas,
Calle 65 No 26-10, Manizales, Caldas, Colombia,
asotog@hotmail.com;

³Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite,
CENIPALMA, Colombia,
hgomes@cenipalma.org;

⁴Depto. Biología Animal, Univ. Federal de Viçosa, 36570-000,
Viçosa, MG,
rafael.dtna@yahoo.com.br, elaineferrariufv@hotmail.com,
iaalexrodriguez@gmail.com

Introdução

O manejo de pragas em sistemas orgânicos de produção de alimentos é um dos principais desafios encontrados pelos agricultores. Em geral, isso pode ser obtido pela manipulação da biodiversidade local, utilizando-se estratégias variadas e integradas para minimizar a necessidade de medidas curativas de controle (Zehnder *et al.*, 2007). Estas medidas devem ser utilizadas como métodos complementares e não como estratégia principal de defesa, uma vez que a utilização isolada dessas medidas não leva a um controle sustentável em longo prazo. O uso de produtos alternativos é uma dessas mediadas curativas cujo uso tem se acentuado especialmente em decorrência do crescimento da produção orgânica em diversos países. Para o uso na agricultura orgânica, esses produtos devem ser permitidos pela legislação vigente de cada país.

No Brasil, segundo a Instrução Normativa nº 64, de 18 de dezembro de 2008 (BRASIL, 2008), as culturas anuais em cultivo orgânico devem ser diversificadas, no mínimo, por meio do consórcio e da

rotação de culturas. Para culturas perenes a obrigação mínima é manter a cobertura vegetal no solo. Quando o manejo ambiental não promove satisfatoriamente o controle das pragas pode-se recorrer a práticas complementares para potencializar esse controle, como o uso de produtos alternativos. A legislação vigente preconiza a execução de práticas e a utilização de insumos que sejam autorizadas pelo Organismo de Avaliação da Conformidade Orgânica (OAC) ou pela Organização de Controle Social (OCS).

Muitos produtos alternativos utilizados na agricultura orgânica possuem baixa toxicidade ao homem e são de fácil preparação ou aquisição. Apesar dessas vantagens a eficiência de diversos desses produtos de uso difundido entre os agricultores tem sido variada. Adicionalmente, muitos produtos são utilizados em formulações e dosagens que não levam em consideração a seletividade aos inimigos naturais, a qual é essencial para a sustentabilidade do controle de pragas. A seguir, serão apresentados alguns resultados de pesquisas recentes onde os efeitos letais e, principalmente, os subletais de produtos alternativos

sobre as pragas e seus predadores foram avaliados e que demonstram que os resultados variam com as espécies envolvidas, com os produtos utilizados, e especialmente com a concentração de tais produtos.

Caldas fitoprotetoras

A utilização das caldas fitoprotetoras nos sistemas orgânicos de produção necessita de autorização pelo OAC ou pela OCS. Essas caldas têm sido utilizadas nos sistemas orgânicos de produção visando além da melhoria da qualidade nutricional das plantas, o controle de pragas e doenças.

Calda sulfocálcica

A calda sulfocálcica é obtida pelo tratamento térmico do enxofre e cal. Esse produto representa uma alternativa para o controle do ácaro-vermelho do cafeeiro *Oligonychus ilicis* (McGregor) (Acari: Tetranychidae) (Venzon *et al.*, 2008a). Em experimentos realizados em laboratório e casa de vegetação, utilizando-se a calda na concentração de 0,35% (30º Baumé), verificou-se a eficiência do produto no controle de *O. ilicis* (Tuelher, 2006). Em experimento de campo verificou-se que a aplicação da calda sulfocálcica nas concentrações de 0,5, 1,0 e 1,5% (31,5º Baumé) foi eficiente na redução da população de *O. ilicis*, sendo a mortalidade do ácaro superior a 90% (Soto *et al.*, dados não publicados).

O uso de concentrações baixas da calda sulfocálcica deve ser priorizado devido à seletividade aos inimigos naturais. A menor concentração testada para *O. ilicis* (0,5%) (Soto *et al.* dados não publicados) corresponde a CL11 (concentração letal) para o predador *Iphiseiodes zuluagai* Denmark & Muma (Acari: Phytoseiidae), um dos principais inimigos naturais de *O.*

ilicis (Tuelher, 2006). Adicionalmente, a calda sulfocálcica a 0,5% é mais seletiva a esse predador do que o enxofre, outro produto de uso frequente na cafeicultura para o controle de *O. ilicis*. A concentração de enxofre recomendada para o controle de *O. ilicis* em café (5 g i.a./L) corresponde a CL₆₀ para *I. zuluagai*, o que causa sua extinção (Teodoro *et al.*, 2005).

Para o controle do ácaro branco *Polyphagotarsonemus latus* (Banks) (Acari: Tarsonemidae), resultados de experimentos conduzidos na EPAMIG Zona da Mata (Viçosa, MG, Brasil) revelaram que a concentração letal do produto, capaz de matar 90% da população de ácaro em laboratório foi de 1% (30º Baumé) (Venzon *et al.*, 2010). Além disso, nesta concentração não houve crescimento populacional do ácaro (Fig. 1). No entanto, o predador *Amblyseius herbicolus* (Chant) (Acari: Phytoseiidae), o qual é encontrado em associação com *P. latus*, teve seu crescimento populacional afetado em concentrações mais baixas do que sua presa *P. latus* (Fig. 1).

Para outro predador de ocorrência freqüente em diversos agroecossistemas, *Chrysoperla externa* Hagen (Neuroptera: Chrysopidae), foi observada redução significativa na sobrevivência larval com o aumento das concentrações da calda sulfocálcica. Insetos expostos a concentrações acima de 1,5% tiveram redução significativa da sobrevivência, em comparação com insetos expostos a água (Fig. 2).

Calda Viçosa

A calda Viçosa consiste na mistura de sulfato de cobre e óxido de cálcio, com a adição de micronutrientes. É utilizada especialmente como fungicida e como adubo foliar. Porém, em algumas culturas como café e olerícolas tem sido usada com o intuito de controlar pragas. No

entanto, resultados de diversas pesquisas revelaram que o produto não atuou eficientemente na redução da população de algumas pragas de hortaliças e do cafeeiro (PICANÇO *et al.*, 1999, VENZON *et al.*, 2008b, MICHEREFF *et al.*, 2008). Há, contudo, a possibilidade dessas caldas aumentarem a resistência das plantas às pragas, via fornecimento de nutrientes.

Um aspecto positivo verificado em experimentos conduzidos em laboratório, na Unidade.

Extratos de plantas

De acordo com a lista de substâncias permitidas para manejo e controle de pragas em sistemas orgânicos de produção no Brasil, os extratos e outros preparados de plantas utilizados na alimentação humana poderão ser utilizados livremente em partes comestíveis das plantas cultivadas (BRASIL, 2008). Já, extratos e preparados de plantas não utilizadas na alimentação humana só poderão ser utilizados em partes comestíveis de plantas cultivadas mediante estudos prévios que comprovem a inocuidade à saúde humana e aprovação pelo OAC ou OCS. Os extratos de fumo, piretro, rotenona e nim (*Azadirachta indica*) para uso em qualquer parte da planta, deverão ter seu uso autorizado pelo OAC ou OCS. O uso da nicotina pura é proibido.

Devido à eficiência apresentada no controle de diversas pragas, o nim tem se destacado como produto alternativo utilizado na agricultura orgânica. Seus derivados possuem além da ação de contato, ação sistêmica e translaminar. Pode ser obtido em preparações caseiras ou em produtos formulados, os quais estão disponíveis no mercado. Apesar do grande potencial do nim, assim como o de outros extratos, o seu uso deve ser embasado em recomendações técnicas, levando-se em consideração a

seletividade aos inimigos naturais.

O extrato de semente de nim a 0,5% diminuiu o crescimento populacional do pulgão verde *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae). No entanto, para *Eriopsis connexa* (Germar) (Coleoptera: Coccinellidae), predador dessa espécie de pulgão, o produto apresentou efeitos deletérios. Somente 9,1% e 10% das larvas do predador em plantas infestadas com o pulgão tratadas com nim a 0,25% e a 0,5%, respectivamente, formaram pupas e não houve emergência de adultos (Venzon *et al.*, 2007).

As concentrações de três produtos comerciais a base de nim (Azamax 497 mg i.a/L, Organic Neem 62 mg i.a/L e Neemseto 49 mg i.a/L) que foram eficientes para o controle do ácaro branco *P. latus* em plantas de pimenta em casa de vegetação não foram seletivas ao ácaro predador *A. herbicolus*. Houve supressão da população do predador em um período de 6 horas após a exposição aos produtos (Fig. 4) (Brito, 2010).

Para o ácaro vermelho do cafeeiro, a aplicação do extrato de semente de nim (10 g/L de azadiractina), em doses superiores a 0,065 g/L de azadiractina, causou declínio na taxa de crescimento populacional de *O. ilicis* em experimento de laboratório (Venzon *et al.*, 2005). Com relação à seletividade do nim a um dos ácaros predadores encontrados com frequência em associação com *O. ilicis*, *I. zuluagai*, os extratos de folha e de semente foram pouco tóxicos, já o extrato de óleo da torta de nim foi altamente tóxico (Mourão *et al.*, 2004).

Considerações finais

Alternativas menos tóxicas, como as caldas fitoprotetoras e os extratos de plantas, que causem menor impacto ambiental e que sejam eficientes para o

controle de pragas, são estratégias com potencial para uso nos sistemas orgânicos de produção. É importante salientar que o fato dos produtos alternativos serem de baixo custo e de fácil manipulação não significa que possam ser utilizados indiscriminadamente e, portanto, seu uso deve ser feito de acordo com as recomendações técnicas. A seletividade aos inimigos naturais deve ser considerada para eficiência de resultados em campo no manejo de pragas, quer seja em sistemas orgânicos ou não. O agricultor e o técnico responsável pelo controle de pragas devem ter conhecimento de que a seletividade é obtida de acordo com a

dosagem e formulação a ser estabelecida para cada praga em cada cultura, como foi aqui apresentado.

Agradecimientos

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA/SAD) pelo financiamento das pesquisas em controle alternativo de pragas. Ao CNPq e à FAPEMIG pela concessão de bolsas aos autores.

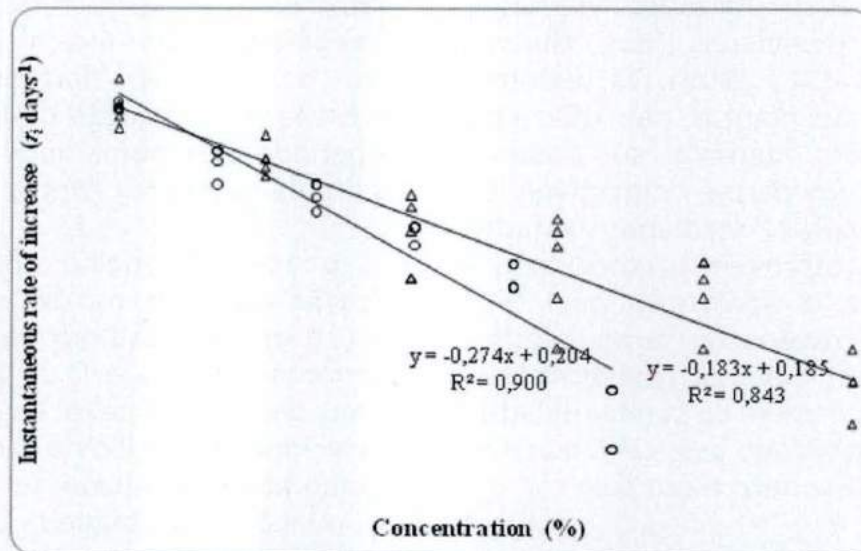


Figura 1. Taxa instantânea de crescimento populacional (r_i , dia $^{-1}$) de *Polyphagotarsonemus latus* (triângulo; $y = 0,1852 - 0,1836x$, $df_{\text{error}} = 28$, $F = 151,13$, $p < 0,0001$, $R^2 = 0,84$) e de *Amblyseius herbicolus* (círculos; $y = 0,2047 - 0,2749x$, $df_{\text{error}} = 28$, $F = 252,39$, $p < 0,0001$, $R^2 = 0,90$) expostos a concentrações crescentes da calda sulfocálcica.

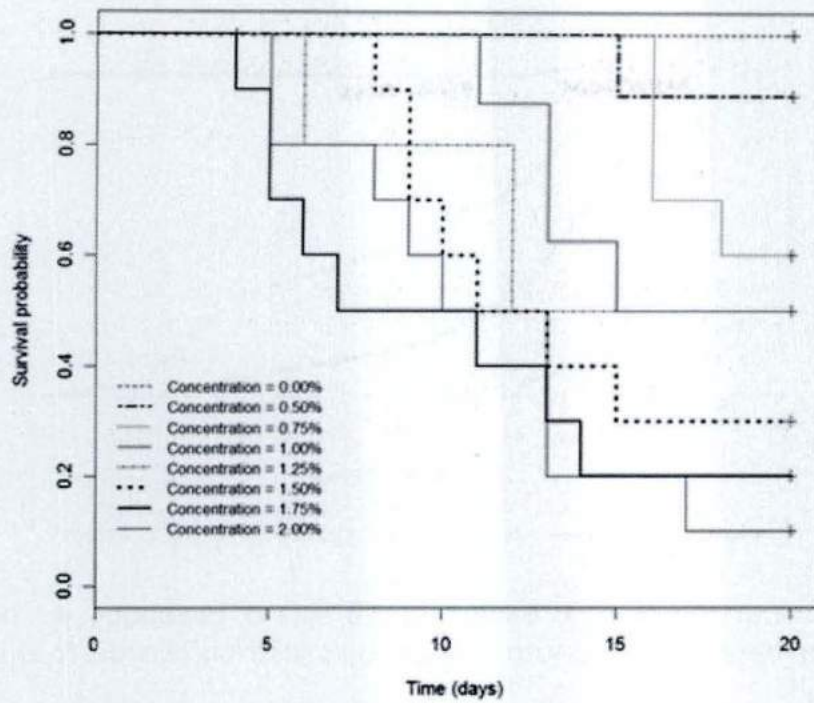


Figura 2. Curva de sobrevivência de larvas de *Chrysoperla externa* expostas a diferentes concentrações da calda sulfocálcica.

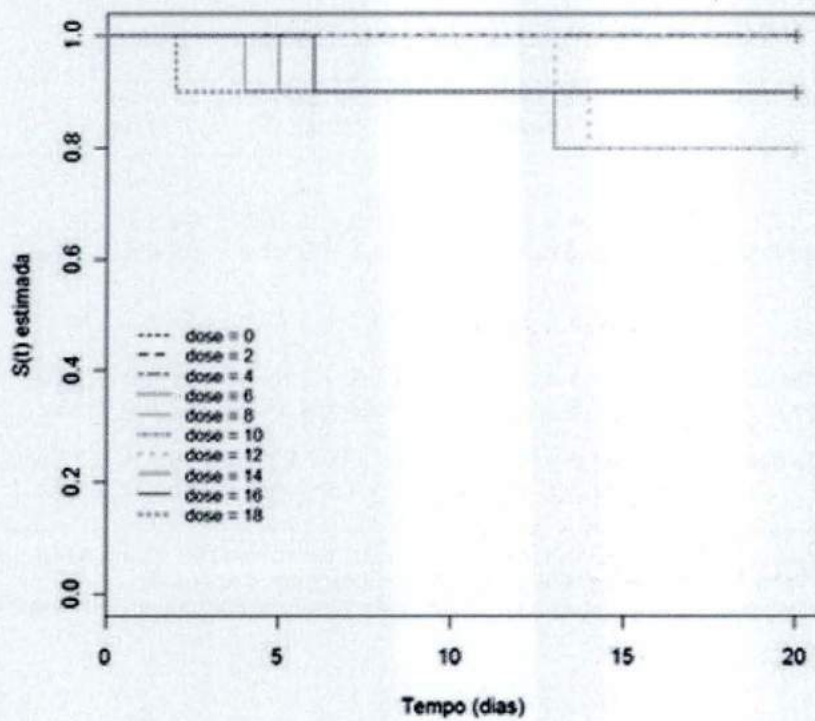


Figura 3. Curvas de sobrevivência de larvas de *Chrysoperla externa* expostas a diferentes concentrações da calda Viçosa.

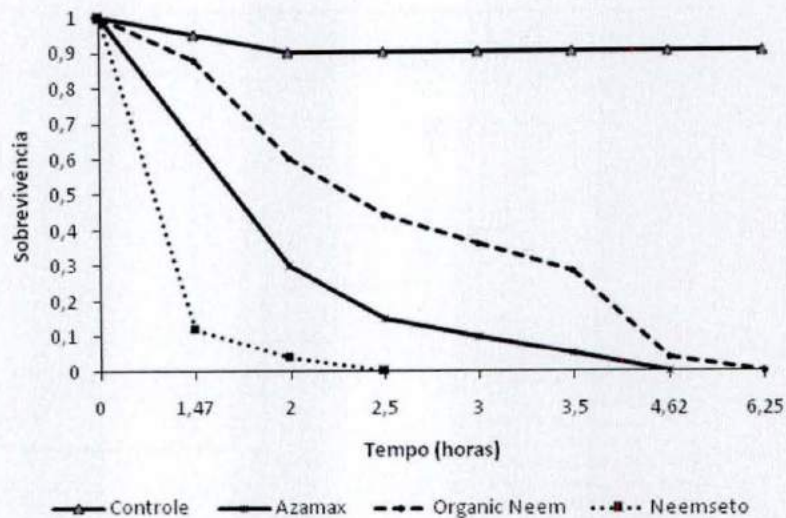


Figura 4. Curvas de sobrevivência do ácaro predador *A. herbicolus* expostos a diferentes produtos, usando a distribuição de frequência do tipo Weibull.

Tabela 1. Porcentagem de redução populacional (RP) de *T. urticae* em morangueiro após a aplicação de produtos a base de nim com e sem a presença de *P. macropolis*.

⁽¹⁾ Tratamentos	RP (%) ⁽²⁾ 1DAA	RP (%) 5 DAA	RP (%) 7 DAA	RP (%) 10 DAA
T.u.	--	--	--	--
T.u.+P.m.	53,4 ± 11,22 a	81,8 ± 1,70 b	94,6 ± 1,02 b	94,2 ± 0,34 b
T.u.+P.m. + NeemPro	66,5 ± 8,17 a	90,1 ± 0,97 a	99,0 ± 0,16 a	99,8 ± 0,12 a
T.u. + NeemPro	57,6 ± 14,00 a	83,3 ± 2,42 b	94,6 ± 1,40 b	87,9 ± 3,56 c
T.u.+P.m. + Organic Neem	52,3 ± 14,52 a	81,9 ± 1,85 b	95,3 ± 1,36 b	96,7 ± 0,98 a
T.u. + Organic Neem	43,5 ± 13,64 a	62,3 ± 4,14 d	82,8 ± 1,93 c	75,1 ± 3,83 d
T.u.+P.m. + Natuneem	56,0 ± 13,48 a	86,2 ± 2,23 ab	96,7 ± 0,77 b	97,9 ± 0,65 a
T.u. + Natuneem	42,2 ± 15,02 a	75,4 ± 4,43 c	86,4 ± 2,52 c	83,8 ± 3,03 c

(1) *T. u.* = *Tetranychus urticae*; *P.m.* = *Phytoseiulus macropilis*; NeemPro (103,91 mg AZA/L), Organic Neem (18,38 mg AZA/L) e Natuneem (21,0 mg AZA/L). (2) DAA = Dias após a aplicação

NOTA: Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($P > 0,05$).

Fonte: Adaptado de Soto (2009)

Referencias Bibliográficas

- BRASIL. 2008. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 64, de 18 de dez. 2008. Aprova o Regulamento Técnico para os Sistemas Orgânicos de Produção Animal e Vegetal. Diário Oficial da União Brasília, 19 de dez. de 2008, Seção 1, pp.21-26.
- BRITO, E.F. 2010. Potencialidade de formulações a base de nim contra o ácaro branco *Polyphagotarsonemus latus* em pimenta malagueta e em pinhão manso. Dissertação (Mestrado em Entomologia) - Departamento de Biologia Animal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- MICHEREFF-FILHO, M., TORRES, J.B., ANDRADE, L.N.T., NUNES, M.U.C., 2008. Effect of some biorational insecticides on *Spodoptera eridania* in organic cabbage. *Pest Management Science*, 64: 761-767.
- MOURÃO, S.A.; SILVA, J.C.T.; GUEDES, R.N.C.; VENZON, M.; JHAM, G.N.; OLIVEIRA, C.L.; ZANUNCIO, J.C. Seletividade de extratos de nim (*Azadirachta indica* A. Juss.) ao ácaro predador *Iphiseiodes zuluagai* (Denmark & Muma) (Acari: Phytoseiidae). *Neotropical Entomology* 33: 613-617, 2004.
- PICANÇO, M.; PALLINI FILHO, A.; LEITE, G.L.D.; MATIOLI, A.L. 1999. Avaliação de produtos não convencionais para o controle de *Tuta absoluta* em tomate. *Manejo Integrado del Plagas*, 54: 27-30.
- SOTO, A.G. 2009. Manejo alternativo de ácaros em morango e tomate. 128f. Tese (Doutorado em Entomologia) - Departamento de Biologia Animal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- TEODORO, A.V.; M.A.M. FADINI; W.P. LEMOS; R.N.C. GUEDES; PALLINI, A. 2005. Lethal and sub-lethal selectivity of fenbutatin oxide and sulfur to the predator *Iphiseiodes zuluagai* (Acari: Phytoseiidae) and its prey, *Oligonychus ilicis* (Acari: Tetranychidae), in Brazilian coffee plantations. *Experimental and Applied Acarology* 36: 61-70.
- TUELHER, E.S. 2006. Toxicidade de bioprotetores da cafeicultura orgânica sobre o ácaro-vermelho do cafeeiro *Oligonychus ilicis* e o ácaro predador *Iphiseiodes zuluagai*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 56p.
- VENZON, M.; ROSADO, M.C.; FADINI, M.A.M.; CIOCIOLA JR., A.I.; PALLINI, A. 2005. The potential of a neem seed extract (NeemAzal T/S) for the control of coffee leaf pests. *Crop Protection* 24: 213-219.
- VENZON, M.; ROSADO, M.C.; PALLINI, A.; FIALHO, A.; PEREIRA, C.J. 2007. Toxicidade letal e subletal do nim sobre o pulgão-verde e seu predador *Eriopsis connexa*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 42: 627-631.
- VENZON, M.; TUELHER, E.S.; BONOMO, I.S.; SOTO, A.G. 2008. Controle de ácaros no cafeeiro com uso de calda sulfocálcica. EPAMIG/CTZM, 3p. (Circular Técnica, 27).
- VENZON, M.; OLIVEIRA, H.G; SOTO, A.; OLIVEIRA, R.M., FREITAS, R.C.P., LOPES, I.P.C. 2008b. Potencial de produtos alternativos para o controle de pragas In: POLTRONIERI, L.S.; ISHIDA, A.K.N. Métodos alternativos de controle de insetos-praga, doenças e plantas daninhas. Belem: Embrapa Amazônia Oriental, p. 263-287.

VENZON, M.; OLIVEIRA, R.M.;
RODRÍGUEZ CRUZ, F.A.; PEREZ, A.L.;
BONOMO, I.S. 2010. Calda sulfocálcica
para o controle do ácaro-branco em
pimenta malagueta. EPAMIG/UREZM,
2010, 3p. (Circular Técnica, 93)

ZEHNDER, G.; GURR, G.M.; KUEHNE, S.;
WADE, M.R.; WRATTEN, S.D.; WYSS,
E. 2007. Arthropod pest management
in organic crops. Annual Review of
Entomology 52: 57-80, 2007.



Symposios

Entomología Diversa

Coordinador: Dr. Alex Enrique Bustillo Pardey
Cenicaña

Wikinsecta: una herramienta que facilitará el acceso a la información entomológica⁶.

Alex Enrique Bustillo Pardey¹, Pablo Benavides Machado²,
Juan Carlos Ortiz Fajardo³, Mario Alejandro Marín⁴,
Sergio Orduz Peralta⁵

¹Entomólogo I, Programa de Variedades, Cenicaña, Florida, Valle del Cauca, *alexe.bustillo@gmail.com*,

²Coordinador Disciplina de Entomología, Cenicafé, Chinchiná, Caldas, *pablo.benavides@cafedecolombia.com*.

³Auxiliar de Investigación, Disciplina de Entomología, Cenicafé, Chinchiná, Caldas, *juancarlos.ortiz@cafedecolombia.com*.

⁴Estudiante de Postgrado, Universidad Nacional, Medellín, *mmarinuribe@gmail.com*.

⁵Profesor, Director Museo "Francisco Luis Gallego", Universidad Nacional, Medellín, *sorduzp@unal.edu.co*.

⁶Proyecto cofinanciado por Ministerio de Educación y Colciencias Proyecto Cintel IFOO3-09 – Cenicafé.

Resumen

Wikinsecta se crea por la necesidad de tener un sitio en la Web donde se pueda depositar información sobre la Entomología en Colombia y de cualquier otra parte en el mundo. Esta información puede estar relacionada con insectos plagas de cultivos, insectos de importancia cuarentenaria, insectos vectores de enfermedades, estudios de biodiversidad con insectos, insectos de importancia en salud humana y animal y fauna benéfica que los afecta y en general cualquier otra información relacionada con insectos. Mucha información no está disponible o yace en publicaciones muy antiguas de difícil acceso, o reside en colecciones de insectos en diversos lugares del país. El contenido inicial de Wikinsecta, se ingresó por personas conocedoras del tema bajo la supervisión y revisión de un "web máster", pero el aplicativo estará disponible para todos los interesados en compartir su información. Wikinsecta a semejanza de Wikipedia, será de uso

libre y los colaboradores podrán depositar información entomológica pertinente. El objetivo general es que Wikinsecta pueda crecer permanentemente a través de la cooperación de todos los interesados, al permitir compartir todos los conocimientos que se generen en el área de la Entomología.

Introducción

Existe información muy fragmentada sobre listados de insectos plagas y sus controladores biológicos (parasitoides, predadores, entomopatógenos) y de reconocimientos de fauna insectil en estudios de biodiversidad. Esta información se encuentra parcialmente en listas de insectos elaboradas por el ICA hace mucho tiempo, (Bustillo, 1973, Bustillo y Sánchez, 1981, ICA 1989, Posada y García, 1976). El boletín interno del programa de Entomología del ICA, "Notas y Noticias Entomológicas (NNE)", producido entre 1972 y 1989, contiene mucha información inédita

sobre el tema. Así mismo, se encuentra información dispersa en los resúmenes que anualmente se presentan en los congresos de la Sociedad Colombiana de Entomología, muchos de los cuales no son publicados en revistas.

También se pueden encontrar registros de insectos de algunas colecciones como la del Museo Entomológico "Francisco Luis Gallego" (Gallego, 1946, Gallego y Vélez, 1992, Madrigal 1980, Vélez, 1985), localizada en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional con sede en Medellín, quizás la colección más antigua y mejor preservada del país. En libros sobre temas específicos (Bustillo, 2008, Cárdenas y Posada, 2001, Madrigal, 2003, Vélez, 1997) es posible encontrar información de utilidad. Por otra parte, existen muchas publicaciones que registran nuevas especies de insectos, que se encuentran en una gran variedad de revistas, que no son fácilmente accesibles. Los listados del ICA y algunos catálogos publicados por Museos Entomológicos de algunas Universidades datan de hace más de 20 años, no han sido actualizados y no se han colocado en la Web.

Tener esta información disponible bajo un sistema de recuperación digital a través de la web es muy importante para muchos investigadores ya que:

- Permite obtener información rápida sobre los insectos plagas que afectan cultivos agrícolas y vectores de enfermedades.
- Permite dar a conocer a los investigadores la presencia de organismos benéficos (parasitoides, predadores, entomopatógenos) que afectan una determinada plaga.
- Los servicios de Sanidad Vegetal, pueden informarse y tomar medidas cuarentenarias contra insectos no registrados y con peligro inminente de entrada al país.

- Provee información sobre la fauna insectil de las diferentes áreas geográficas del país, que sirven como indicadores de biodiversidad y conservación de ecosistemas.

¿Qué es una wiki?

Una Wiki, es un sitio cuyas páginas Web se pueden crear y editar de forma rápida y eficaz por muchos usuarios a través del navegador Web, permite de forma muy sencilla incluir textos, hipertextos, documentos digitales, enlaces y demás. Los textos o "páginas Wiki" tienen títulos únicos. Si se escribe el título de una "página-wiki" en algún lugar de la Wiki, esta palabra se convierte en un "enlace" a la página Web. (<http://www.maestrosdelweb.com/editorial/queeswiki/>, <http://en.wikipedia.org/wiki/Wiki>, <http://www.wiki.com/whatiswiki.htm>).

La Wiki permite que los usuarios puedan crear páginas Web sobre un mismo tema, se logra que cada usuario aporte un poco de su conocimiento para que la página Web sea más completa, creando de esta forma una comunidad de usuarios que comparten contenidos acerca de un mismo tema o categoría. Esto hace que más gente participe en su edición, a diferencia de los sistemas tradicionales, donde resulta difícil que los usuarios del sitio contribuyan a mejorarlo (<http://www.maestrosdelweb.com/editorial/queeswiki/>, <http://www.pbwiki.com/academic.wiki>).

La mayor parte de las wikis actuales conservan un historial de los cambios, lo cual permite recuperar fácilmente cualquier estado anterior y ver quién hizo cada cambio. En general no hace falta revisión para que los cambios sean aceptados. La mayoría de wikis están abiertos al público sin la necesidad de registrar una cuenta de usuario. A

veces se requiere hacer "login" para obtener una "cookie" de "wiki-firma", para registrar las ediciones propias. Otros wikis más privados requieren autenticación de usuario. (http://www.youtube.com/watch?v=_WKza-eUIsA&feature=related, http://www.teachertube.com/view_video.php?viewkey=c04c7bfc822caf7c7459).

¿Cómo se originó la wiki?

En enero de 2001, Jimbo Wales y Larry Sanger, tuvieron la idea de crear una enciclopedia virtual para lo cual decidieron utilizar un wiki para este proyecto que dio como resultado la Wikipedia. Originalmente usaron el software UseMod pero luego Magnus Manske creó un software propio, MediaWiki, que ha sido adoptado después por muchos otras wikis. La primera versión se llamó "Software de Wikipedia fase II". A mediados del 2002 el programa se reescribió y mejoró, dando lugar a la llamada "fase III", y ha seguido desarrollándose a partir de ese código. Desde esa época se han creado nuevas versiones hasta llegar a MediaWiki versión 1.14.0, publicada el 22 de febrero de 2009, pensando en usuarios ajenos a Wikipedia y mejorando especialmente aspectos como la instalación del software. (http://species.wikimedia.org/wiki/Main_Page).

Un software para wikis incluye todo lo necesario para su operación. Esto es, además del motor Wiki, un servidor Web, una herramienta de soporte de versiones, un editor WYSIWYG en JavaScript, un generador de gráficas, de notación matemática, una herramienta de dibujo y muchas otras extensiones (http://species.wikimedia.org/wiki/Main_Page).

MediaWiki es un motor wiki de software gratuito bajo la licencia GNU (General Public License), programado en PHP. A pesar de haberse creado y desarrollado

para Wikipedia y los otros proyectos de la fundación Wikimedia, ha tenido una gran expansión a partir de 2005, existiendo gran número de wikis basados en este software. Puede ser instalado sobre servidores Web Apache o IIS y se puede usar como motor de base de datos MySQL o PostgreSQL. (http://species.wikimedia.org/wiki/Main_Page, <http://www.maestrosdelweb.com/editorial/quesewiki/>).

Actualmente, la wiki más grande que existe es Wikipedia cuya versión en inglés aglutina a la fecha más de 3.6 millones de artículos en inglés y la versión en español está sobre 750.000 artículos. Esta enciclopedia permite a los usuarios acceder y modificar sus contenidos. Los wikis ajenos a Wikipedia son mucho más pequeños y con menor participación de usuarios, generalmente debido al hecho de ser mucho más especializados (<http://en.wikipedia.org/wiki/Wiki>).

En la Web se encuentran muchos desarrollos y aplicaciones recientes basadas en wikis, se destacan entre otros, títulos como: Wikibooks (textos gratuitos de libros y manuales), Wikisource (bibliotecas libres), Wikiquote (colección de citas), Wiktionary (diccionario y tesoro), Wikiversity (contenido libre de materiales de aprendizaje), Wikispecies (un directorio abierto y libre de especies de todas las formas de vida) (18). Sin embargo, no existe ninguno dedicado exclusivamente a la Clase Insecta ó Hexapoda.

Con este proyecto se pretende llenar un vacío de conocimiento sobre registros de insectos en Colombia, cuya información es difícil de acceder o es prácticamente inaccesible, para lo cual se planea migrarlos a un lugar en donde se puedan consultar con eficacia y rapidez. Esta información se requiere de primera mano para los entomólogos y biólogos que desarrollan

investigaciones en biodiversidad, manejo de problemas de plagas en agricultura y estudios de vectores de enfermedades en animales y en el hombre. También es de suma importancia, para el personal de cuarentenas agropecuarias, que desarrollan labores de inspección fitosanitaria en las fronteras del país y conducen programas de erradicación de plagas.

El objetivo general de este proyecto es lograr que la comunidad de académicos e investigadores tengan acceso libre y rápido, de la información producida sobre insectos en Colombia y así tener una mejor comprensión de la problemática de plagas en el sector agrícola, para plantear mejores soluciones. Los objetivos específicos son: 1). Entregar a la comunidad científica el aplicativo Wikinsecta para que se apropie y lo complemente con información sobre estudios de insectos que contribuyen a la solución de problemas que afectan la agricultura; 2). Servir de herramienta de enseñanza y consulta a los académicos e investigadores en los centros de educación e investigación.

Procedimiento para crear Wikinsecta

Este proyecto se realizó en el Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé y en la Universidad Nacional sede Medellín. La propuesta se condujo en dos fases, una mediante la implementación del aplicativo Wiki y la segunda a través de la compilación y migración al aplicativo de información publicada y documentos inéditos de registros sobre insectos de Colombia.

1. Primera fase: La metodología propuesta, sigue la metodología RUP para la implementación de sistemas de información (Larman, 2003). Estos pasos son: instalación y configuración,

pruebas, capacitación, migración de datos, alimentación de Wikinsecta con la información, administración y mantenimiento.

Para cada una de las etapas del proceso se preparó una documentación. A continuación se describen estas etapas:

1.1. Instalación y configuración.

Para la instalación de la plataforma MediaWiki, se contó con un servidor Web con modulo de PHP y un motor de base de datos MySQL, sobre un sistema operativo Linux.

El proceso se desarrolló así: instalación y configuración del servidor Web Apache HTTP Web Server Versión 2.2; instalación y configuración del módulo PHP versión 5.0; instalación y configuración del motor de base de datos MySQL Server 5.0.67, sobre el sistema operativo Suse Enterprise 10; e instalación y configuración de la plataforma MediaWiki.

1.2. Pruebas sobre el aplicativo.

Comprende la realización de pruebas tanto del software como del hardware. En esta etapa se realizaron pruebas de funcionamiento de acuerdo a las políticas de administración impuestas a la base de datos. Se verificó la integridad de los datos y de las copias de seguridad, igualmente se estimó el desempeño del hardware. Las pruebas se llevaron a cabo utilizando información que simulaba las condiciones que pueden ocurrir durante el procesamiento (O'Brien 2003).

1.3. Conversión de bases de datos.

Debido a la disponibilidad de bases de datos existentes en los museos de insectos de Cenicafé y de la Universidad Nacional, se determinará la mejor forma de generar archivos en XML, para posteriormente importarlos a la base de datos de Wikinsecta

1.4. Migración de información a Wikinsecta. Para el desarrollo de esta etapa se definió durante la instalación y configuración, los roles de usuarios y grupos, de acuerdo a las funciones que llevarán a cabo dentro del sistema. Este proceso se desarrolló simultáneamente desde dos lugares, uno ubicado en Cenicafé, y otro en la Universidad Nacional de Medellín.

1.5. Administración y mantenimiento. La administración de Wikinsecta, requiere la asignación de usuarios y grupos de usuarios, comprender la estructura de la base de datos de Wikinsecta para asignar permisos de acceso con diferentes niveles y configurar las políticas de seguridad de acuerdo a las necesidades. El mantenimiento se inició después de la implementación del sistema y operación por los usuarios. El mantenimiento consistió en hacer revisiones frecuentes para depurar las bases de datos y las copias de seguridad.

2. Segunda fase: Para el desarrollo de la segunda fase se procedió con los siguientes pasos:

2.1. Identificación de las fuentes de consulta. Inicialmente en Cenicafé se actualizó la información de la lista de insectos de Colombia (ICA, 1989) y de enemigos de insectos (Posada y García, 1976) con información de Notas y Noticias Entomológicas del periodo 1972 - 1995 (NNE 1972) y de los resúmenes de la Sociedad Colombiana de Entomología. Toda esta información se digitalizó para incorporarla a Wikinsecta y así crear un texto continuo. También se aprovechó la información del museo "Marcial Benavides Gómez" de Cenicafé, contenida en una base de datos para colecciones conocida como "Specify", la cual consta de cerca de 1.500 registros de fauna de la zona cafetera, la cual ha sido documentada y fotografiada.

Por otra parte, en la Universidad Nacional sede Medellín, se compiló la información publicada (Gallego, 1946, Posada y García, 1976) del museo de insectos "Francisco Luis Gallego" y la contenida en Specify y en ficheros, la que se digitalizó para migrarla a Wikinsecta.

2.2. Análisis y pertinencia de la información. Esta información se sometió a revisión por el encargado de autorizar los accesos al aplicativo, con el fin de establecer su origen, veracidad y pertinencia, antes de migrarla a Wikinsecta.

2.3. Digitalización y migración de la información seleccionada.

La información publicada y la contenida en ficheros sobre insectos, considerada importante para el aplicativo, se digitalizó para tenerla disponible e insertarla en Wikinsecta. Mucha información existente, no se alcanzó a tenerla organizada durante la vigencia de este proyecto, sin embargo esto se puede llevar a cabo posteriormente, cuando el aplicativo por su naturaleza de libre acceso, esté disponible a todos los que deseen colaborar.

En el aplicativo se pretendió colocar información de insectos por especie, su posición taxonómica, plantas huéspedes, daño que causan, enemigos nativos e información disponible sobre distribución, biología, comportamiento y manejo de sus poblaciones. A través de hipertextos, se navega entre páginas estableciendo conexiones de temas relacionados.

Funcionamiento de Wikinsecta

El software del aplicativo Wikinsecta se encuentra implementado, se superaron las pruebas de funcionamiento y presenta en su inicio antes de dar acceso a la comunidad de investigadores un poco más de 1780 páginas, sobre temas muy

diversos de la entomología colombiana. Actualmente se puede ingresar a través de la dirección URL: <http://Wikinsecta.cenicafe.org>

Para determinar el impacto de Wikinsecta sobre la comunidad objeto del estudio, una vez terminado de implementar el aplicativo con la información programada, se procedió a darlo a conocer a una muestra de personas académicas, investigadores y estudiantes interesados en esta área del conocimiento. Se solicitó a estas personas que accedieran a Wikinsecta, lo examinaran cuidadosamente y realizaran una evaluación a través de un cuestionario localizado en el interior de Wikinsecta.

En términos generales hubo una aceptación unánime de esta herramienta. Los resultados ponderados de una escala de 1 a 5, en el cual 1 era no estoy de acuerdo y 5 totalmente de acuerdo, se presentan a continuación, seguida entre paréntesis de la desviación estándar de la calificación:

- ¿Está de acuerdo con la propuesta? 4.7 (0.9).
- ¿Estaría dispuesto a compartir sus conocimientos y resultados de su trabajo en Wikinsecta? 4.5 (1.1).
- ¿La información que se puede ingresar en Wikinsecta, la considera importante fuente de consulta para estudiantes de Entomología? 4.6 (1.1).
- ¿La información que se puede ingresar en Wikinsecta, la considera importante para sus actividades profesionales? 4.4 (1.1).
- ¿Considera que Wikinsecta debe darse a conocer a la comunidad científica? 4.7 (1.0).

- ¿Considera que Wikinsecta debe darse a conocer al público en general? 4.5 (1.0).

Estos resultados muestran que hay una alta aceptación entre los profesionales y estudiantes que se dedican a esta rama de la biología aplicada como es la Entomología y que están muy de acuerdo con esta Wiki y que representa una herramienta muy útil como consulta para estudiantes, para las actividades profesionales y que se deber dar a conocer a toda la comunidad científica, al público en general y que están dispuestos a colaborar en su permanente desarrollo.

Conclusiones

Se cuenta con Wikinsecta, que en su forma inicial tiene más de 1.780 páginas de interés entomológico en Colombia, y que están disponibles en Internet para todos los investigadores y académicos interesados en esta área del conocimiento. Al permitir que muchos usuarios puedan crear páginas Web sobre un mismo tema, se logrará que cada usuario aporte un poco de su conocimiento para que la página Web sea más completa, creando en esta forma una comunidad de usuarios que comparten contenidos acerca de un mismo tema o categoría.

Se pretende con Wikinsecta que la comunidad de académicos e investigadores tengan acceso libre y rápido, a la información producida sobre insectos en Colombia y que la puedan enriquecer con sus aportes y así tener una fuente de consulta similar a otros aplicativos como Wikipedia.

Referencias Bibliográficas

- BUSTILLO P., A. E. Editor. 2008. Los insectos y su manejo en la caficultura colombiana. FNC – Cenicafé, Chinchiná (Colombia). Editorial Blancolor Ltda., Manizales, 466 p.
- BUSTILLO, A. E. 1973. Lista preliminar de insectos que atacan los cultivos forestales en Antioquia. Revista ICA 8 (1): 81-86.
- BUSTILLO, A. E.; SÁNCHEZ, G. 1981. Los áfidos en Colombia. Plagas que afectan los cultivos agrícolas de importancia económica. Editorial Producción de Medios ICA, Publicación ICA-COLCIENCIAS, Bogotá, 96p.
- CÁRDENAS, R.; POSADA, F. J. 2001. Los insectos y otros habitantes de cafetales y platanales. Comité Departamental de Cafeteros del Quindío y Cenicafé. Armenia, Colombia. 120 p.
- GALLEGO M., F. L. 1946. Estudios fundamentales. Medellín, Facultad Nacional de Agronomía.
- GALLEGO M., F. L.; VÉLEZ A., R. 1992. Lista de insectos que afectan los principales cultivos, plantas forestales, animales domésticos y al hombre en Colombia. Medellín, Universidad Nacional de Colombia, 142 p.
- INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO, ICA. 1989. Lista de insectos dañinos y otras plagas en Colombia. Boletín Técnico No. 43, 4a ed., 662 p.
- LARMAN, C. 2003. Una introducción al análisis y diseño orientado a objetos y al proceso unificado. 2a.ed. Madrid, Pearson Educación, S. A., 624 p.
- MADRIGAL C., A. 1980. Chinchas de encaje (Hemiptera: Tingidae) en Colombia. Revista Colombiana de Entomología, 4 (3-4): 76 – 95.
- MADRIGAL C., A. 2003. Insectos forestales en Colombia. Biología, hábitos, ecología y manejo. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Imprenta Editorial Marín Vieco, Ltda., Medellín, Colombia. 848 p.
- NOTAS Y NOTICIAS ENTOMOLÓGICAS, (NNE). 1972 – 1989. Instituto Colombiano Agropecuario. Boletín interno Programa de Entomología, ICA. Bogotá, Colombia.
- O'BRIEN, J. A. 2001. Sistemas de información gerencial. 4a. ed. Bogotá, McGraw-Hill, Interamericana, S. A., 700 p.
- POSADA, L.; GARCÍA, F. 1976. Lista de predadores, parásitos y patógenos de insectos registrados en Colombia. Instituto Colombiano Agropecuario, ICA, Bogotá. Bol. Técnico. No. 41, 73 p.
- VÉLEZ A., R. 1985. Catálogo del Museo Entomológico "Francisco Luis Gallego". Medellín, Universidad Nacional de Colombia, 261 p.
- VÉLEZ A., R. 1997. Plagas agrícolas de impacto económico en Colombia: Bionomía y manejo integrado. 2 ed. Medellín, Editorial Universidad de Antioquia. Ciencia y Tecnología. 482 p.
- http://species.wikimedia.org/wiki/Main_Page
- <http://www.maestrosdelweb.com/editorial/queeswiki/> [Publicado el 6 de March, 2006]
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Wiki>
- http://www.youtube.com/watch?v=_WKza-eUIsA&feature=related
- <http://www.pbwiki.com/academic.wiki>
- http://www.teachertube.com/view_video.php?viewkey=c04c7bfc822caf7c7459
- <http://www.wiki.com/whatiswiki.htm>

Caracteres sinapomórficos compartilhados na família Apidae: ênfase na ultra-estrutura dos espermatozóides

Vinícius Albano Araújo

Ph.D., Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de Viçosa/Campus Rio Paranaíba, Minas Gerais, CEP: 38810-000, Brazil, vialbano@gmail.com

Abstract

Morphology of spermatozoa in bees has provided promising results for phylogenetic analyses. In this work, the structure and ultrastructure of spermatozoa from *Thygater* (*Thygater*) *analis* and *Melitoma segmentaria* were characterized and the synapomorphies shared in the family Apidae are discussed. In these species, spermatozoa bundles which are undone in the seminal vesicle possess, on average, 50 cells. Spermatozoa consist of a head and a flagellar region. The head includes an acrosome containing the perforatorium, covered by the acrosomal vesicle and a nucleus. The flagellum is formed by two mitochondrial derivatives, which are asymmetric in diameter and length, with one centriolar adjunct, one axoneme (9 + 9 + 2) and two accessory bodies. In cross section the centriolar adjunct is asymmetric and the accessory bodies are triangular in shape. In the distal region of the flagellum, the derivative terminates before the axoneme and the small derivative terminates first. The axoneme is gradually disorganized and the accessories microtubules are the last to terminate. In these two species, spermatozoa share diverse synapomorphies with those of other bee species previously described in the literature, which allows for the establishment of a morphological pattern for spermatozoa of the family Apidae.

Key words: centriolar adjunct, synapomorphy, phylogeny, Apoidea.

Introdução

A morfologia dos espermatozóides de insetos é uma importante fonte de caracteres para análises filogenéticas em diferentes níveis taxonômicos (Baccetti 1970; Phillips 1970; Dallai 1974; Jamieson 1987; Dallai e Afzelius 1993; Jamieson *et al.*, 1999). O primeiro estudo comparativo da morfologia dos espermatozóides em Hymenoptera foi feito por Quicke *et al.*, (1992), com espécies de 14 famílias representando "symphyta", Aculeata e Parasitica. Jamieson *et al.*, (1999) propuseram uma filogenia para os holometabolos utilizando caracteres morfológicos e moleculares, superpostos pelos caracteres apomórficos dos espermatozóides para cada ordem. Estes autores sugeriram que o "perforatorium inserido em uma curta cavidade na extremidade anterior do núcleo" seja a única característica apomórfica dos espermatozóides nos Hymenoptera.

Em abelhas, a ultra-estrutura dos espermatozóides foi descrita em algumas espécies de Apinae (Rothschild 1955; Hoage e Kessel 1968; Cruz-Hofling *et al.*, 1970; Lensky *et al.*, 1979; Woyke 1984; Peng *et al.*, 1992; 1993; Quicke *et al.*, 1992; Lino-Neto *et al.*, 2000; Zama *et al.*, 2001; 2004; 2005a,b; Báó *et al.*, 2004; Araújo *et al.*, 2005a), Halictinae (Fiorillo *et al.*, 2005), Megachilinae e Andreninae (Quicke *et al.*, 1992). Nestas abelhas os espermatozóides apresentam em comum uma região de cabeça curta, formada pelo acrossomo e núcleo, e a região do flagelo formada por dois derivados mitocondriais

assimétricos, um adjunto do centríolo, um axonema com o arranjo de microtúbulos $9 + 9 + 2$ e dois corpos acessórios. Nas abelhas, assim como nos Aculeata em geral, os espermatozóides são transferidos para as vesículas seminais em feixes (espermatodesmata), os quais são desorganizados durante a maturação sexual (Moreira *et al.*, 2004; Araújo *et al.*, 2005b; Moreira *et al.*, 2008).

Neste trabalho, descrevemos a ultra-estrutura dos espermatozóides em duas espécies de Apinae e comparamos com aquela das demais espécies descritas na literatura, com o objetivo de investigar a existência de caracteres sinapomórficos para as abelhas e, assim, fornecer um padrão ultra-estrutural para os espermatozóides na família Apidae.

Material e Métodos

Oito machos adultos de *Thygater* (*Thygater*) *analis* (Lepelletier, 1841) e oito de *Melitoma segmentaria* (Fabricius 1804) foram coletados com redes entomológicas enquanto visitavam as flores de *Ipomoea* sp. (Convolvulaceae) no campus da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil.

Microscopia de luz - Suspensão de espermatozóides extraídos de uma das vesículas seminais foi espalhada em lâminas histológicas e fixada por vinte minutos em solução de paraformaldeído 4% em tampão fosfato 0.1 M, pH 7.2. Após secar em temperatura ambiente, as lâminas foram observadas em fotomicroscópio equipado com contraste de fase e 50 espermatozóides foram fotografados para serem medidos. Para medir os núcleos, algumas lâminas foram coradas por 15 minutos com DAPI (4,6-diamidino-2-fenilindol) 0.2 µg/ml em PBS, lavadas e montadas em sacarose 50%. Essas lâminas foram observadas em microscópio de epifluorescência

(Olympus, BX-60) equipado com filtro BP360-370 nm e 50 núcleos foram fotografados. Todas as medidas foram feitas usando o software Image Pro-Plus (Media Cybernetics) e os comprimentos foram expressos pela média do número total de espermatozóides analisados.

Microscopia eletrônica de transmissão - De cada macho, uma das vesículas seminais foi fixada por 24 h, a 40C, em solução contendo glutaraldeído 2.5%, ácido pícrico 0.2%, sacarose 3% e 5 mM $CaCl_2$ em tampão cacodilato de sódio, pH 7.2. O material foi pós-fixado em tetróxido de ósmio 1%, desidratado em acetona e incluído em Epon 812. Cortes ultrafinos foram contrastados com solução aquosa de acetato de uranila 2% e citrato de chumbo 0,2% em solução de hidróxido de sódio 1N e observados em microscópio eletrônico de transmissão (Zeiss EM, 109).

Resultados

Os espermatozóides de *T. analis* e *M. segmentaria* são longos, finos e medem, em média, 500 µm e 300 µm de comprimento, respectivamente (Fig. 1A e C). Em *T. analis* o núcleo mede, em média 45 µm de comprimento (Fig. 1B) com razão núcleo/flagelo de 0,09, enquanto em *M. segmentaria* o núcleo mede, em média, 30 µm (Fig. 1D) e a razão núcleo/flagelo é igual a 0,1.

Os espermatozóides de *Thygater* (*Thygater*) *analis* e *Melitoma segmentaria* saem dos testículos em feixes, sendo estes frequentemente desfeitos no lúmen da vesícula seminal (Fig. 1E). Entretanto, algumas vezes, feixes ou seus fragmentos são vistos na vesícula seminal (Fig. 1F-G). O arranjo dos espermatozóides nos feixes é mantido por uma capa fibrosa de material extracelular, na qual a porção anterior das cabeças dos espermatozóides (acrossomo e parte do

núcleo) é embebida (Fig. 1F). Os feixes possuem, em média, 50 espermatozóides (Fig. 1G).

A região da cabeça dos espermatozóides consiste de um complexo acrossomal e do núcleo (Fig. 1H-K). O acrossomo mede aproximadamente 1,8 μm em ambas as espécies e é formado por uma vesícula acrossomal de formato cônico que cobre o perforatorium ao longo de todo o seu comprimento (Fig. 1I-J). A base do perforatorium é inserida em uma cavidade na extremidade anterior do núcleo (Fig. 1K). Esta cavidade mede aproximadamente 0,2 μm em *T. analis* (Fig. 1K) e 0,18 μm em *M. segmentaria*. Em seção transversal, observa-se que a vesícula acrossomal é formada por estruturas lamelares (Fig. 1L-Q). A vesícula acrossomal é circular na região anterior e, a medida que se aproxima do núcleo, ela se torna oval (Fig. 1L-Q). Ao longo do acrossomo, uma camada elétron-lúcida separa o perforatorium da vesícula acrossomal (Fig. 1J e 1O-P).

O núcleo é linear e apresenta-se fortemente elétron denso, com muitas lacunas elétron lúcidas, principalmente, nas regiões periféricas ao longo de todo o seu comprimento (Fig. 2A-B). Em seção transversal, o núcleo possui formato oval (Fig. 2B). A extremidade posterior do núcleo possui um formato coniforme assimétrico e se posiciona paralelamente com a região anterior do axonema e o topo do derivado mitocondrial maior (Fig. 2C-E).

O adjunto do centríolo começa na altura da base nuclear, se estende em paralelo ao axonema e ao derivado mitocondrial maior (Fig. 2E-F) e termina justamente acima do topo do derivado mitocondrial menor, padrão denominado assimétrico. Em corte transversal, o adjunto do centríolo possui formato

aproximadamente triangular sendo compacto e elétron denso (Fig. 2F).

O flagelo consiste de dois corpos acessórios, um axonema e dois derivados mitocondriais. Em cortes transversais, os corpos acessórios possuem formato triangular (Fig. 2H-J) e estão localizados entre o axonema e os derivados mitocondriais, mas não ocorrem entre o axonema e o adjunto do centríolo (Fig. 2F). Na região anterior, o axonema não possui os microtúbulos centrais, sendo que estes começam posteriores a região centriolar (Fig. 2C-E). O axonema apresenta o padrão típico de 9 + 9 + 2 microtúbulos, sendo 9 acessórios, 9 duplas e 2 microtúbulos centrais (Fig. 2H e 3A-B). Os derivados mitocondriais são assimétricos em tamanho e diâmetro (Fig. 2H e 3A). Anteriormente, o derivado mitocondrial maior começa adjacente a extremidade nuclear (Fig. 2C), enquanto o derivado menor começa imediatamente abaixo do adjunto do centríolo. Os derivados mitocondriais são divididos em quatro regiões: (1) uma região clara, circular e de localização central; (2) uma região elétron densa adjacente ao axonema; (3) uma região de crista, a qual é restrita a borda distal em relação ao axonema e (4) uma região de paracristalino que ocorre somente no derivado mitocondrial maior (Fig. 2H e 3C). Em cortes longitudinais, as cristas são perpendiculares ao longo do eixo dos derivados e com espaços em intervalos regulares que medem 25 nm em *T. analis* (Fig. 2G) e 29 nm em *M. segmentaria*. Na região final do flagelo, os derivados terminam antes do axonema e o derivado de menor diâmetro termina primeiro (Fig. 2I-K). O axonema é o componente mais longo do flagelo, sendo que, na sua extremidade posterior, os microtúbulos acessórios são os últimos a terminarem (Fig. 2K-P).

Discussão

Os espermatozoides de *T. analis* e *M. segmentaria* medindo 500 μm e 300 μm , respectivamente, estão dentro do intervalo encontrado em outras abelhas, que varia de 80 μm em *Scaptotrigona xanthotricha* (Araújo *et al.*, 2005a) a 1500 μm em *Euglossa mandibularis* (Zama *et al.*, 2005a). O grande intervalo de comprimento observado demonstra que o comprimento total dos espermatozoides pode não ser um caracter válido em estudos filogenéticos, porque apresenta muitas homoplasias, mas mostra-se um bom indicador taxonômico, já que possui medidas distintas em espécies proximamente relacionadas. Quando se analisa a razão entre o núcleo e o flagelo de *T. analis* (0,09) e *M. segmentaria* (0,1) observa-se grande similaridade entre as espécies das tribos Eucerini e Emphorini, respectivamente. Em outras tribos de Apinae filogeneticamente próximas, a razão núcleo/flagelo de 0,6 em *Exomalopsis auropilosa* (Exomalopsini) e 0,7 em *Paratetrapedia (Lophopedia)* sp. (Tapinotaspidini) também foram muito similares (Báo *et al.*, 2004). Entretanto, é necessário analisar a razão núcleo/flagelo em um número maior de espécies para confirmar se esta razão se mantém similar dentro de grupos proximamente relacionados.

A presença de espermatozoides mantidos em feixes na vesícula seminal tem sido observada em todas as espécies de "symphyta" estudadas (Quicke *et al.*, 1992; Newman e Quicke, 1999; Lino-Neto *et al.*, 2008a) e feixes ou fragmentos destes também são observados na vesícula seminal dos Aculeata (Moreira *et al.*, 2004; Zama *et al.*, 2004; Moreira *et al.*, 2008). Entretanto, nas abelhas e nos Aculeata em geral, quando os indivíduos tornam-se sexualmente maduros, os feixes são desfeitos e raramente são observados na vesícula

seminal, sendo mais comum a presença de espermatozoides individualizados, os quais, dessa forma, serão transferidos para a fêmea. Esta característica representa uma sinapomorfia para as abelhas e para os Aculeata. Isto porque nos "symphyta", considerados os Hymenoptera mais basais, todos os espermatozoides são vistos em feixes na vesícula seminal (Quicke *et al.*, 1992; Newman e Quicke, 1999; Lino-Neto *et al.*, 2008a). Lino-Neto *et al.*, (2008a) sugerem que, a manutenção dos feixes na vesícula seminal dos symphyta, possivelmente esta relacionada ao conteúdo enzimático e/ou pH dos fluidos presentes no lúmen.

Nos folículos testiculares, a organização das células germinativas em cistos é uma característica comum para os insetos. O número de espermatozoides nos feixes representa o número final de células que se desenvolveram em sincronia dentro dos cistos, a partir de uma única espermatogônia (Lino-Neto *et al.*, 2008b). Em abelhas, os machos são haplóides e durante a espermiogênese, pelo menos metade das espermatídes são células inviáveis (Cruz-Landim e Beig, 1980a,b; Cruz-Landim, 2001; Conte *et al.*, 2005; Lino-Neto *et al.*, 2008b). Portanto, em *T. analis* e *M. segmentaria*, a média de 50 espermatozoides por feixe indica a ocorrência de seis divisões celulares mitóticas, como observado para a maioria das abelhas (Observação pessoal). Exceção para a tribo Meliponini, que possui 128 espermatozoides por cisto, indicando sete ciclos mitóticos, o que pode ser considerado um caracter derivado dentro da família.

Os espermatozoides de *T. analis* e *M. segmentaria* apresentam várias semelhanças com aqueles já descritos para outras espécies de Apidae. Em abelhas o acrossomo mede de 1-2 μm e é formado pela vesícula acrossomal e pelo

perforatorium (Zama *et al.*, 2001; 2004; 2005a; Bão *et al.*, 2004; Araújo *et al.*, 2005a; Fiorillo *et al.*, 2005), com exceção de *Apis mellifera*, onde o acrossomo é excepcionalmente longo, medindo 5,6 μm (Hoage e Kessel, 1968; Cruz-Hofling *et al.*, 1970; Lensky *et al.*, 1979; Woyke, 1984). Em corte transversal, o acrossomo, em geral, varia de circular, na região anterior, a elipsoidal na região posterior, exceto em Meliponini, onde na região posterior ele possui formato triangular (Zama *et al.*, 2001; 2004; Araújo *et al.*, 2005a). A vesícula acrossomal formada em lamelas em *T. analis* e *M. segmentaria* não havia sido observada em outras espécies de abelhas. O perforatorium é compacto, assim como em outros Apini (Bão *et al.*, 2004) em Euglossini (Zama *et al.*, 2005a) e em Meliponini (Zama *et al.*, 2001; 2004; Araújo *et al.*, 2005). Em Halictinae (Fiorillo *et al.*, 2005), o perforatorium é paracristalino. A base do perforatorium inserida em uma cavidade na extremidade anterior do núcleo é uma característica que ocorre em praticamente todos os Hymenoptera. Por isso, pode ser considerada uma característica sinapomórfica para a ordem.

Nos espermatozoides da maioria das abelhas, a cromatina nuclear é fortemente elétron-densa e compacta. Entretanto, em *T. analis* e *M. segmentaria* ela apresenta várias lacunas elétron lúcidas, como observado em Exomalopsini e Tapinotaspidini (Bão *et al.*, 2004) e em Halictidae ocorrem inúmeras inclusões paracristalinas (Fiorillo *et al.*, 2005). Em Meliponini, como *Melipona marginata* e *M. rufiventris*, a cromatina é compactada em grumos, dando ao núcleo a aparência de cromatina frouxa (Zama *et al.*, 2004). A projeção assimétrica na parte posterior do núcleo é uma sinapomorfia compartilhada entre as abelhas. Nesta região de transição, o núcleo conecta-se com a extremidade anterior do derivado mitocondrial maior por uma série de

lamelas elétron-densas. Em Apidae, o adjunto do centríolo inicia-se na base nuclear, se estende paralelamente ao axonema e ao derivado mitocondrial maior e termina no topo do derivado mitocondrial menor (padrão assimétrico), sendo este caracter sinapomórfico para a família. Em geral, o adjunto do centríolo é fortemente eletron-denso e compacto, seu comprimento varia de 2-7 μm em Meliponini (Zama *et al.*, 2001; 2004; Araújo *et al.*, 2005a) até 30 μm em *Apis mellifera* (Lino-Neto *et al.*, 2000). Dentre os Aculeata, o adjunto do centríolo do tipo simétrico, quando ele precede ambos os derivados mitocondriais, foi encontrado em vespas Crabronidae (Zama *et al.*, 2005b), considerado grupo irmão das abelhas e em formigas (Lino-Neto e Dolder, 2002; Moya *et al.*, 2007).

Assimetria em comprimento e diâmetro dos derivados mitocondriais são características sinapomórficas para os Apidae. Em outros Aculeata, como em *Microstigmus* (Zama *et al.*, 2007) e em formigas (Lino-Neto e Dolder, 2002; Moya *et al.*, 2007) os derivados mitocondriais são simétricos. Entretanto, em abelhas a assimetria em diâmetro dos derivados mitocondriais é bem evidente, podendo o derivado maior exceder o menor em até três vezes, como observado em Euglossini (Zama *et al.*, 2005a). Em *T. analis* e *M. segmentaria* os derivados possuem formato periforme, como em Euglossini (Zama *et al.*, 2005a) e Meliponini (Zama *et al.*, 2001, 2004; Araújo *et al.*, 2005a). Em Halictidae (Fiorillo *et al.*, 2005) eles são ovalados. Outro caracter sinapomórfico para abelhas é a presença de material paracristalino no derivado mitocondrial maior, na região oposta ao axonema.

Em insetos em geral, o axonema apresenta o padrão 9 + 9 + 2 microtúbulos e se inicia como centríolo na região anterior do flagelo. No final do flagelo, o axonema

é gradualmente desorganizado, primeiro terminam o par central, seguido das nove duplas e, por último, os microtúbulos acessórios, padrão para a maioria dos Aculeata (Lino-Neto *et al.*, 2000; Zama *et al.*, 2001, 2004, 2005a,b,c, 2007; Bão *et al.*, 2004; Araújo *et al.*, 2005a; Fiorillo *et al.*, 2005; Mancini *et al.*, 2006), sendo que em formigas, eles terminam aproximadamente juntos (Wheeler *et al.*, 1990; Lino-Neto e Dolder, 2002). Já em vespas parasíticas (Chalcidoidea) os microtúbulos acessórios terminam primeiro (Lino-Neto *et al.*, 1999).

Os corpos acessórios possuem formato triangular e são inseridos entre os derivados mitocondriais e o axonema, mas não entre este último e o adjunto do centríolo, como nos Aculeata em geral (Lino-Neto *et al.*, 2000; Zama *et al.*, 2001, 2004, 2005a,b,c, 2007; Bão *et al.*, 2004; Araújo *et al.*, 2005a; Fiorillo *et al.*, 2005; Mancini *et al.*, 2006, 2008; Moya *et al.*, 2007).

As duas espécies de abelhas analisadas nesse estudo compartilham várias características morfológicas dos espermatozoides com as demais abelhas já descritas. Estas semelhanças permitem estabelecer um padrão geral para a família baseado nos caracteres sinapomórficos: (1) feixes de espermatozoides desfeitos na vesícula seminal; (2) perforatorium inserido em uma curta cavidade no topo anterior do núcleo; (3) projeção lateral na região posterior do núcleo; (4) adjunto do centríolo assimétrico; (5) assimetria dos derivados mitocondriais e região de paracristalino no derivado maior; (6) seqüência de terminação dos microtúbulos e (7) formato triangular dos corpos acessórios. As sinapomorfias além de estabelecer um padrão geral para os espermatozoides em Apidae reforçam a proposta de Brothers (1999) e Melo (1999) em que todas as abelhas são agrupadas em uma única família Apidae.

Agradecimentos

Ao Núcleo de Microscopia e Microanálise da Universidade Federal de Viçosa (UFV) e ao Laboratório de Microscopia Eletrônica da Universidade de Brasília (UnB). Esta pesquisa foi suportada pelo CNPq (Proc. 142455/2005-9) e FAPEMIG.

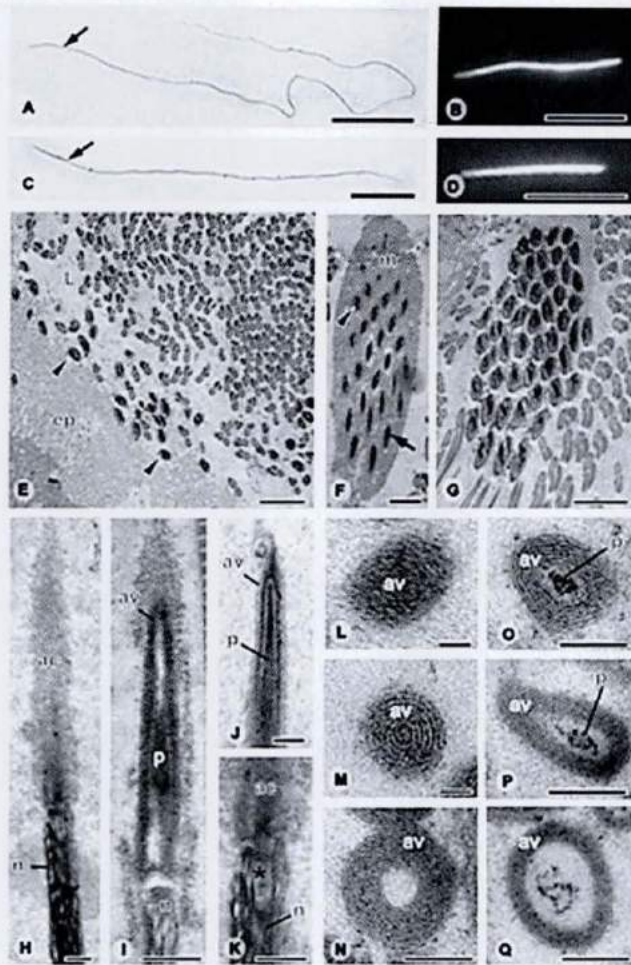


Figura 1. **A-B.** Fotomicrografia de um espermatozóide de *T. analis*. **A.** Contraste de fase, a seta indica o limite entre a cabeça e o flagelo. **B.** Região da cabeça, mostrando o núcleo corado com DAPI. **C-D.** Fotomicrografia de um espermatozóide de *M. segmentaria*. **C.** Contraste de fase, a seta indica o limite entre a cabeça e o flagelo. **D.** Região da cabeça, mostrando o núcleo corado com DAPI. **E-Q.** Fotomicrografia eletrônica de transmissão dos espermatozóides na vesícula seminal de *Thygater analis*. **E.** Corte da vesícula seminal mostrando a região epitelial (ep) e o lúmen (L) repleto de espermatozóides; as cabeças de seta indicam espermatozóides seccionados na região do núcleo. **F.** Seção transversal de um espermatozóide, seccionados na região do núcleo (seta) e acrossomo (cabeça de seta) embebido em uma matriz de material extracelular menos elétron denso (m). **G.** Corte transversal de um espermatozóide na altura dos núcleos, com 50 espermatozóides. **H.** Corte longitudinal da região anterior da cabeça mostrando o acrossomo (ac) e o núcleo (n). **I-J.** Corte longitudinal do acrossomo indicando a vesícula acrossomal (av) e o perforatorium (p). **K.** Corte longitudinal da região de transição entre o acrossomo (ac) e o núcleo (n), mostrando que a base do perforatorium se estabelece em um cavidade no topo nuclear (asterisco). **L-Q.** Cortes transversais da região anterior para a posterior do acrossomo, mostrando a vesícula acrossomal (av) e o perforatorium (p). Barras: A e C = 50 μm ; B e D = 20 μm ; E e G = 2 μm ; F = 1 μm ; H-K = 0,2 μm ; L-Q = 0,1 μm .

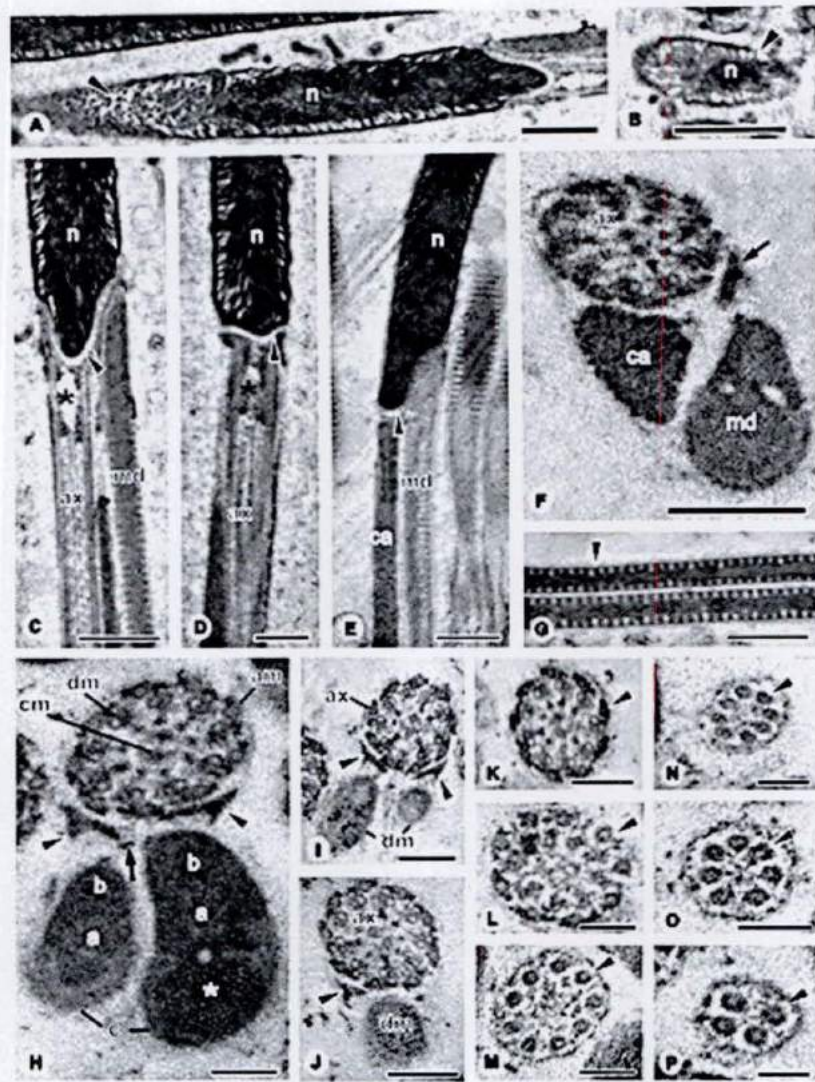


Figura 2. Fotomicrografia eletrônica de transmissão dos espermatozóides na vesícula seminal de *Thygater analis* (A-B e D-P) e *Melitoma segmentaria* (C). **A-B.** Corte longitudinal e transversal, respectivamente, do núcleo mostrando as lacunas elétricas ao longo da periferia (cabeça de seta). **C-E.** Corte longitudinal da região de transição núcleo-flagelo. A cabeça de seta indica a base do núcleo (n). Note a projeção posterior nuclear (n) e a inserção do axonema (ax), do derivado mitocondrial maior (md) e do adjunto do centríolo (ca) e a região centríolar do flagelo (asterisco). **F.** Corte transversal do flagelo mostrando um proeminente adjunto do centríolo (ca) na porção anterior do flagelo, adjacente ao axonema (ax) e ao derivado mitocondrial maior (md) e um corpo acessório (seta). **G.** Corte longitudinal dos derivados mitocondriais evidenciando a região das cristas (seta). **H.** Corte transversal do flagelo mostrando o axonema formado por nove microtúbulos acessórios (am), nove duplas (dm) e um par central (cm). As cabeças de seta indicam os corpos acessórios e seta indica um material central entre as estruturas flagelares. Ambos os derivados possuem uma área central menos elétrica (a), uma região adjacente ao axonema mais elétrica (b) e uma região de crista oposta ao axonema (c). O asterisco indica a região de paracrístalino presente somente no derivado maior. **I-P.** Cortes transversais da extremidade posterior flagelar. **I.** Mostrando o axonema (ax), os derivados mitocondriais (dm) e os corpos acessórios (cabeças de seta). **J.** Mostrando o axonema (ax) e um derivado mitocondrial (dm). Note que um derivado termina antes do outro. A seta indica um corpo acessório. **K-P.** Mostrando a desorganização dos microtúbulos. As cabeças de setas indicam os microtúbulos acessórios que são os últimos a terminarem na extremidade posterior flagelar. Barras: A-C e G = 0,4 μm ; D-F e I-K = 0,2 μm ; H e L-P = 0,1 μm .

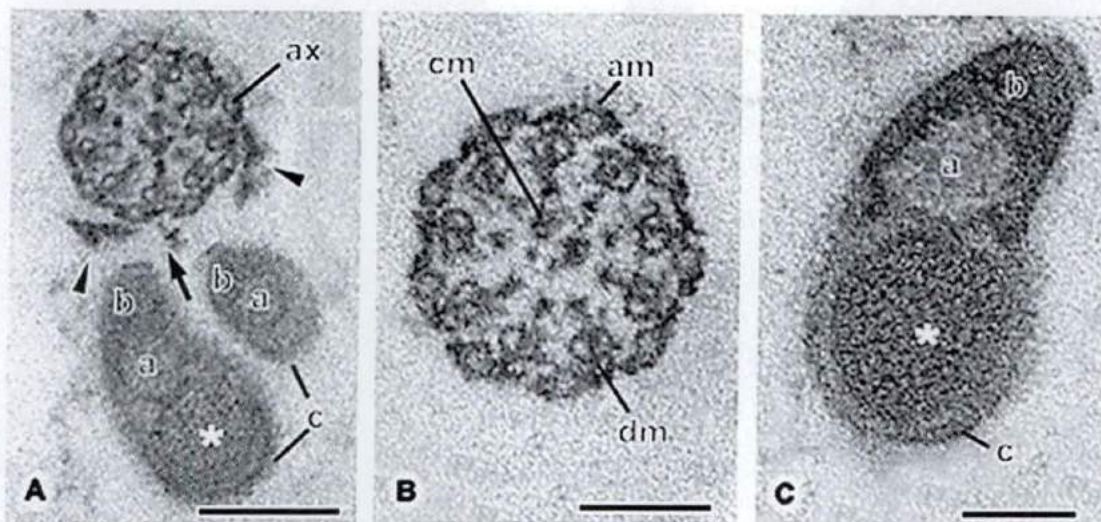


Figura 3. A-C. Fotomicrografia eletrônica de transmissão dos espermatozoides na vesícula seminal de *Melitoma segmentaria*. Corte transversal do flagelo mostrado o axonema (ax), os corpos acessórios (cabecinhas de seta) e um material central entre as estruturas flagelares (seta). Ambos derivados possuem uma área central menos elétron densa (a), uma região adjacente ao axonema mais elétron densa (b) e uma região de crista oposta ao axonema (c). O asterisco indica a região de paracristalino presente somente no derivado maior. **B-C.** Detalhe em maior aumento do axonema e do derivado mitocondrial maior. Em (B) axonema formado por nove microtúbulos acessórios (am), nove duplas (dm) e um par central (cm); em (C) derivado mitocondrial maior mostrando as regiões de área menos elétron densa (a), mais elétron densa (b), de crista (c) e de material paracristalino (asterisco). Barras: A = 0,2 μm ; B-C = 0,1 μm .

Referências Bibliográficas

- ARAÚJO, V. A., ZAMA, U., DOLDER, H., LINO-NETO, J. (2005a) Morphology and ultrastructure of the spermatozoa of *Scaptotrigona xanthotricha* Moure (Hymenoptera, Apidae, Meliponini). *Brazilian Journal Morphological Science*. 22: 137-141.
- ARAÚJO, V. A., NEVES, C. A., DOLDER, H., LINO-NETO, J. (2005b) Ultrastructural, histological and histochemical characteristics of the epithelial wall of the seminal vesicle of mature *Scaptotrigona xanthotricha* Moure males (Hymenoptera, Apidae, Meliponini). *Brazilian Journal Morphological Science*. 22: 129-137.
- BACCETTI, B. (1970) The spermatozoon of Arthropoda. IX. The sperm cell as an index of arthropod phylogeny. In: Baccetti, B. (Ed.). *Comparative spermatology*. New York: Academic Press, p. 169-182.
- BAO, SN., GONÇALVES-SIMÕES, D., LINO-NETO, J. (2004) Sperm ultrastructure of the bees *Exomalopsis (Exomalopsis) auropilosa* Spinola 1853 and *Paratetrapedia (Lophopedia) sp.* Michener & Moure 1957 (Hymenoptera, Apidae, Apinae). *Journal of Microscopy Cytology and Pathology*. 36: 23-28.
- BROTHERS, D. J. (1999) Phylogeny and evolution of wasps, ants and bees (Hymenoptera, Chrysidoidea, Vespoidea and Apoidea). *Zoological Scripta*. 28: 233-249.
- CONTE, M. J., LINO-NETO, J., DOLDER, H. (2005) Spermatogenesis of *Melipona quadrifasciata anthidioides* (Hymenoptera: Apidae): Fate of the atypical spermatids. *Caryologia* 58: 183-188.

- CRUZ-LANDIM, C., BEIG, D. (1980a) Meiose nos Hymenoptera. *Ciência e Cultura* 33: 937-966.
- CRUZ-LANDIM, C., BEIG, D. (1980b) An electron microscopic study of spermatogenesis in the drone of *Scaptotrigona postica* (Hymenoptera: Apidae). *International Journal Invertebrate and Reproduction*. 2: 271-283.
- CRUZ-LANDIM (2001) Organization of the cysts in bee (Hymenoptera, Apidae) testis: number of spermatozoa per cyst. *Iheringia* 91: 183-189.
- CRUZ-LANDIM, M. A; CRUZ-LANDIM, C; KITAJIMA, E. W. (1970) The fine structure of spermatozoa from the honey bee. *Anais da Academia Brasileria de Ciências*. 42: 69-78.
- DALLAI, R. (1974) Spermatozoa and phylogenesis. A few data on Insecta Apterygota. *Pedobiologia* 14: 148-156.
- DALLAI, R., AFZELIUS, B. A. (1993) Development of the accessory tubules of insect sperm flagella. *Journal of Submicroscopy Cytology and Pathology*. 25: 499-504.
- FIORILLO, B. S., COELHO, A. A. M., LINO-NETO, J., BÃO, S. N. (2005) Structure and ultrastructure of the spermatozoa of Halictidae (Hymenoptera, Apoidea). *Journal of Submicroscopy Cytology and Pathology*. 37: 75-81.
- HOAGE, T. R., KESSEL, R. G. (1968) An electron microscope study of the process of differentiation during spermatogenesis in the drone honey bee (*Apis mellifera* L.) with special reference to centriole replication and elimination. *Journal of Ultrastructural Research*. 24: 6-32.
- JAMIESON, B. G. M. (1987) The ultrastructure and phylogeny of insect spermatozoa. Cambridge: Cambridge University Press.
- JAMIESON, B. G. M., DALLAI, R., AFZELIUS, B.A. (1999) *Insects: their spermatozoa and phylogeny*. Enfield, NH, USA: Scientific publishers.
- LENSKY, Y., BEN-DAVID, E., SCHINDLER, H. (1979) Ultrastructure of the spermatozoa of the mature drone honey bee. *Journal of Apicultural Research*. 18: 264-271.
- LINO-NETO, J., BÃO, S. N., DOLDER, H. (1999) Structure and ultrastructure of the spermatozoa of *Bephratelloides pomorum* (Fabricius) (Hymenoptera: Eurytomidae). *International Journal Insect Morphology and Embryology*. 28: 253-259.
- LINO-NETO, J., BÃO, S. N., DOLDER, H. (2000) Sperm ultrastructure of the honey bee (*Apis mellifera*) (L) (Hymenoptera, Apidae) with emphasis on the nucleus-flagellum transition region. *Tissue & Cell* 32: 322-327.
- LINO-NETO, J., DOLDER, H. (2002) Sperm structure and ultrastructure of the fire ant *Solenopsis invicta* Bauren (Hymenoptera, Formicidae). *Tissue Cell* 34: 124-128.
- LINO-NETO, J., DOLDER, H., MANCINI, K., MERCATI, D., DALLAI, R. (2008a) The short spermatodesm of *Arge pagana* (Hymenoptera: symphyta). *Tissue & Cell* 40: 185-193.
- LINO-NETO, J., ARAÚJO V. A., DOLDER, H. (2008b) Inviability of the spermatids with little cytoplasm in bees (Hymenoptera, Apidae). *Sociobiology* 51(1): 163-172.

- MANCINI, K., LINO-NETO, J., DOLDER, H. (2006) Sperm ultrastructure of *Agelaia vicina* (Hymenoptera: Vespidae). *Insectes Sociaux*. 53: 333-338.
- MANCINI, K.; LINO-NETO, J., DOLDER, H., DALLAI, R. (2008) Sperm ultrastructure of the European hornet *Vespa crabro* (Linnaeus, 1758) (Hymenoptera: Vespidae). *Arthropod Structure and Development*. 38: 54-59.
- MELO, G. A. R. (1999) Phylogenetic relationships and classification of the major lineages of Apoidea (Hymenoptera) with emphasis on the crabronid wasps. *Museu National History University Kansas*, 14:1-55.
- MOREIRA, J., ZAMA, U., LINO-NETO, J. (2004) Release, behavior and phylogenetic significance of spermatozoa in bundles in the seminal vesicle during sexual maturation in Aculeata (Hymenoptera). *Brazilian Journal Morphological Science*. 21(4): 185-189.
- MOREIRA, P. A., ARAÚJO V. A., ZAMA, U., LINO-NETO, J. (2008) Morphology of male reproductive system in three species of Trypoxylon (*Trypargilum*) Richards (Hymenoptera: Crabronidae). *Neotropical Entomology*. 37(4): 429-435.
- MOYA, J., MANCINI, K., LINO-NETO, J., DELABIE, J., DOLDER, H (2007) Sperm ultrastructure of five species of the Neotropical ant genus *Pseudomyrmex* (Hymenoptera: Formicidae). *Acta Zoologica*. 88(3): 181-187.
- NEWMAN, T. M., QUICKE, D. L. J. (1999) Ultrastructure of imaginal spermatozoa of sawflies (Hymenoptera: Symphyta). *Journal of Hymenoptera Research*. 8: 35-47.
- PENG, C. Y. S., Yin, C. M., Yin, L. R. S. (1992) Effect of rapid freezing and thawing on cellular integrity of honey bee sperm. *Physiological Entomology*. 17: 269-276.
- PENG, C. Y. S., Yin, C. M., Yin, L. R. S. (1993) Ultrastructure of honey bee, *Apis mellifera* sperm with special emphasis on the acrosomal complex following high-pressure freezing fixation. *Physiological Entomology*. 18: 93-101.
- PHILLIPS, D. M. (1970) Insect flagellar tubule patterns theme and variations. In: Baccetti, B. *Comparative spermatology*. New York: Academic Press, p. 263-278.
- QUICKE, D. L. J., INGRAM, S. N., BAILLIE, H. S., GAITENS, P. V (1992) Sperm structure and ultrastructure in the Hymenoptera (Insecta). *Zoological Scripta*. 21: 381-402.
- ROTHSCHILD, L. (1955) The spermatozoa of the honey bee. *Transactions of the Royal Entomological Society of London*. 107: 289-294.
- WHEELER, D. E., CRICHTON, E. D., KRUTZSCH, P. H. (1990) Comparative ultrastructure of ant spermatozoa (Formicidae: Hymenoptera). *Journal Morphology*. 206: 343-350.
- WOYKE, J (1984) Ultrastructure of single and multiple diploid honey bee spermatozoa. *Journal of Hymenoptera Research*. 23: 123-135.
- ZAMA, U., LINO-NETO, J., DOLDER, H. (2001) Ultrastructure of spermatozoa in *Plebeia (Plebeia) droryana* Friese (Hymenoptera: Apidae: Meliponina). *Journal of Hymenoptera Research*. 10: 261-270.

- ZAMA U., LINO-NETO, J., DOLDER, H. (2004) Structure and ultrastructure of spermatozoa in Meliponini (Stingless bees) (Hymenoptera: Apidae). *Tissue & Cell* 36: 29-41.
- ZAMA U., J., MELO, S. M., CAMPOS, L. A. O., DOLDER, H. (2005a) Ultrastructural characterization of spermatozoa in Euglossini bees (Hymenoptera: Apidae: Apinae). *Insectes Sociaux* 52: 122-131.
- ZAMA, U., Bottura, G., LINO-NETO, J., DOLDER, H., BÁO, S. N. (2005b) The nucleus e flagellum transition in *Trypoxylon* (*Trypargilum*) subgenus, with emphasis on a singular centriolar adjunct (Hymenoptera: Apoidea: Crabronidae). *Brazilian Journal Morphological Science*. 22 (Suppl.): 56-57.
- ZAMA U., BRITO, P., LINO-NETO, J., CAMPOS, L. A. O., DOLDER H; BÁO, S. N. (2005c) The sperm morphology of mud dauber *Sceliphron fistularium* Dahlbom (Hymenoptera: Apoidea: Sphecidae), as an indicative of bees relation. *Journal of Submicroscopy Cytology and Pathology*. 37(3-4): 91-99.
- ZAMA U.; MOREIRA, J. C. S., BÁO, S. N., CAMPOS, L. A. O., DOLDER, H., LINO-NETO, J. (2007) Morphology of testicular and post-testicular spermatozoa in *Microstigmus arlei* Richards, 1972 and *M. nigrophthalmus* Melo, 1992 (Hymenoptera: Apoidea: Pemphredoninae) with phylogenetic consideration. *Arthropod Structure and Development*. 36: 304-316.

Paleoentomología con invertebrados acuáticos del ecosistema paramuno

Gonzalo Abril Ramírez

Ph.D. Candidato Science of Terre .Universidad de Ginebra Suiza.
Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín AA 3840 Medellín.
gabril@unal.edu.co

Los estudiosos de la entomología han concentrado sus esfuerzos investigativos en dilucidar y comprender las relaciones de los artrópodos en sus ambientes naturales actuales llamados micro y mesohábitat, para lo cual han requerido de otras ciencias y disciplinas tales como la genética, la etología, química, física, bioquímica, edafología, ecología, limnología, entre otras. Los resultados de estas investigaciones han derivado en el estudio puntual de ciertos grupos de organismos en los que sus ciclos de vida, comportamiento, estructura etaria, mecanismos de reproducción, filogenia basada en caracteres moleculares y morfológicos y, distribución geográfica han conducido a definir con exactitud y rigor científico alguna especie en cuestión.

En este grupo de investigadores están los neoentomólogos, llamados así por Melic, (1996), que realizan sus investigaciones en lo que se podría llamar un plano cartesiano, donde **X** son las mediciones de algunas variables fisicoquímicas y dan el mayor soporte del ambiente donde se encuentran las especies actuales, y **Y** el género o la especie en estudio, medida a nivel autoecológico o sinecológico. Para este investigador es bastante complejo entrar a formular hipótesis sobre el comportamiento y el devenir del grupo de estudio y mucho más utilizarlo como un posible indicador de cambios de temperatura o de un gradiente en particular ya que sus mediciones son puntuales y en lapsos muy cortos de tiempo, que se ajustan especialmente al ciclo de vida del organismo o a periodos climáticos bimodales (invierno y verano),

trimestrales (invierno, transición y verano) y desconoce un tercer eje necesario para este tipo de interpretaciones; este tercer eje es el tiempo acumulado sobre organismos de la misma especie en periodos quinquenales, decadales o a nivel de centurias o milenios.

Para la medición temporal se ha recurrido a diferentes indicadores (proxies) tales como: la tefrocronología, que utiliza las cenizas de erupciones volcánicas, la dendrocronología que utiliza los anillos de crecimiento de los árboles, las varvas en los sedimentos lagunares que son pequeñas láminas depositadas con variaciones en textura, color y materia orgánica o mineral, los corales, las glaciaciones, los ciclos de Milankovic que se centran en la aparición y desaparición de las manchas solares, el O- δ 18 de cápsulas cefálicas de quironómidos y ostrácodos y las partes por millón (ppm) de CH₄, entre otros. Para datar cronológicamente estos indicadores, se recurre a las técnicas convencionales de C14 y AMS (Espectrometría Acelerada de Masas) y para dataciones relativas menores de 150 años se recurre a elementos minerales de síntesis artificial como el Cesio¹³ y Plomo ²¹⁰.

Los artrópodos han sido ampliamente utilizados como indicadores ambientales por su ubicuidad en los diferentes ecosistemas y por su sensibilidad a variables físicas, químicas y biológicas, que permiten reconstruir los ambientes palaeoecológicos en los cuales se desarrolló la especie.

Para Colombia, los primeros registros de restos o macrorestos fósiles, identificados hasta algunos rangos taxonómicos y pertenecientes a artrópodos, conservados en materia orgánica sedimentaria (MOS) son los reportados por Kuhry 1998, para perforaciones en el páramo de laguna Verde, el páramo la Peña Negra y el páramo de Agua Blanca de la Cordillera Oriental colombiana. Este autor, registra artrópodos de la clase Arachnida, algunos fragmentos de cápsulas cefálicas de Insecta y un cocón de *Oligochaeta*, quedando solo como registro nueve ejemplares que se hallaron desde el Pleniglacial Tardío (22,500 AP, antes del presente) hasta el Holoceno (1,800 AP) (Tabla 1) (Figura 1).

Otras investigaciones también han reportado la existencia de restos de artrópodos en distintos ambientes sedimentarios (zooclastos), pero sin asignarles una clasificación taxonómica adecuada; solo en la investigación de Jaramillo 1998 se hace un conteo exhaustivo de alta resolución en un perfil sedimentario de una turbera del complejo lagunar de Puente Largo. Igualmente listados de zooclastos hallados en diferentes perforaciones de las lagunas Campanas y Puente Largo y la Turbera Llano Grande del páramo de Frontino, Antioquia Colombia, todas ellas comprendidas en el Holoceno temprano 11.500 años AP han sido registradas en los últimos 10 años, (Monsalve, 2004, Velásquez, 2005 y Velásquez y Parra, 2002 Parra, 2005, 2010).

Como se resalta en los párrafos anteriores los estudios palaeontológicos en Colombia son incipientes, es por ello que se ha dado inicio al estudio de la palaeoentomología con especial énfasis en los macroinvertebrados acuáticos de los ecosistemas de páramo, principalmente en el páramo

de Frontino, Antioquia, Colombia. La investigación centra su objetivo en la familia Chironomidae (Diptera), siendo esta una de las familias más dominantes en ecosistemas acuáticos continentales y en los estudios limnológicos, que desempeñan un papel importante como indicadores de diferentes tipos de hidroecosistemas. En Colombia se han registrado en los altos lagos (reofilicos) de la Sierra Nevada del Cocuy (5.000 msnm), las zonas bajas de la Amazonía colombiana (a 50 msnm) y estudios palaeontológicos los registran en antiguos lagos de la Cordillera Occidental Páramo del Sol, desde el Pleniglacial tardío (22,000 AP hasta el presente).

Las larvas de estos insectos pueden desarrollarse en cualquier ambiente que contenga agua, en fuentes de agua glacial, en aguas calientes, en pequeñas láminas de agua o en pequeños contenedores tipo fitotelmata como los formados por las axilas de las hojas de *Paepalanthus* sp., *Puya* sp. y otras bromelias, o en agujeros de árboles. Otras especies viven en pozos de agua a temperaturas de -16°C. en el Himalaya (5.000 msnm). La larva de *Sergentia* sp. se encontró a 1.000 m de profundidad en el lago Baikal y *Pantomyia* sp. se ha encontrado en el océano atlántico a 30 m de profundidad. Por su parte, la larva de *Polypedilum vanderplanky* reportada para la región subsahariana es un caso de excepcional de adaptación fisiológica que resiste temperaturas entre -270 y 120°C.

Los quironómidos pueden colonizar diferentes sustratos tales como rocas, sedimentos blandos que incluyen arena y lodo, madera sumergida y plantas acuáticas, también colonizan cantos rodados, y guijarros. Estos sustratos han permitido que se den y originen otros procesos de adaptación tales como la construcción de túneles en sedimentos

blandos como, es el caso de *Chironomus plumosus* y que se encuentren especies xilófagas como *Stenochironomus* sp. Kiefer.

Adicionalmente estos insectos juegan un papel fundamental en los ecosistemas acuáticos y son sensibles a cambios de las condiciones físicas (sequías, temperatura, vientos y demás perturbaciones), químicas (concentración de O², pH, conductividad, sólidos disueltos) y biológicas (dependiendo de los hábitos de los organismos: predadores, comensales, consumidores-filtradores y en algunos casos minadores de plantas acuáticas). Tan importante como su uso como bioindicadores, es la posibilidad de realizar investigaciones sobre otros procesos fundamentales como su papel en las estructuras de las redes tróficas.

Los quironómidos son principalmente detritófagos y filtradores de perifiton, algunas larvas son micófagas, pueden alimentarse de algas en especial diatomeas (Sterhn, 1991). Las subfamilias más comunes en nuestro medio son: Orthocladiinae que se alimentan más pronunciadamente de perifiton; Tanypodinae que generalmente son predadores de vida libre y no construyen casas; su cápsula cefálica es alargada en la región hipostomal, con mandíbulas falciformes que capturan la presa; y los Chironominae con las tribus Pseudochironomini, Tanytarsini y Chironomini son en su mayoría filtradores de plancton y seston (Ospina *et al.*, 2000 y Berg, 1995).

A nivel autoecológico, varias subfamilias de los quironómidos penetran a unos cuantos centímetros en sustratos de fondo blando, bien sea en cuerpos de agua lóticos o lénticos, pero cerca del 95% de las larvas se encuentran a menos de 1 cm y solo unos pocos profundizan más de 4 cm. Algunos Chironominae

que profundizan 7 cm construyen tubos en forma de túneles con partículas cementadas con secreciones de las glándulas salivares, pero los niveles a los que pueden profundizar está determinado por las concentraciones de oxígeno y su comportamiento alimenticio (Berg, 1995).

Otro aspecto importante de su diversidad fisiológica está soportado en la capacidad que tienen algunas larvas de sobrevivir en condiciones con bajas concentraciones de oxígeno disuelto (subóxicas y anóxicas), debido a la presencia de hemoglobina. Este pigmento es una proteína que se encuentra en solución en la hemolinfa de los quironómidos cuya función de respiración cutánea caracteriza a los organismos hidroneústicos.

El potencial de los quironómidos como indicadores

El uso de los quironómidos como indicadores se reporta por Gams (1927). Aunque han sido usados más como indicadores hipolimnéticos, su potencial palaeoambiental empezó a demostrarse a partir de los años ochenta, especialmente los noventa (Andersen, 1938). Las revisiones de Frey (1964, 1976, 1988), Stahl (1969), Hofmann (1971, 1986, 1988), Crisman (1978, 1988), Brugam (1984), Walker (1987, 1993, 1995), y Sadler y Jones (1997) documentan este potencial. El incremento en las investigaciones en los años recientes radica en su amplia distribución con respecto al clima en diferentes latitudes y su sensibilidad a la temperatura, lo cual los convierte en buenos paleotermómetros (Walker y Mathewes, 1989; Walker, 1991; Walker *et al.*, 1991a, 1997; Lotter *et al.*, 1997; Olander *et al.*, 1997, 1999). El desarrollo de modelos cuantitativos que permiten inferir las condiciones de temperatura del pasado han dado bases suficientemente sólidas

para la reconstrucción palaeambiental de esta variable a partir de los artrópodos.

Los quironómidos como herramienta palaeoentomológica en Colombia

Subfósiles de cápsulas cefálicas de Podonominae, Diemesinae y Orthocladiinae al igual que, conchas de ostrácodos, branquiópodos y macrorrestos de Acari han sido empleados como proxies o herramientas palaeoclimáticas en diferentes latitudes, que han permitido reconstruir los regímenes térmicos durante la última glaciación del planeta. Nuevas aplicaciones de la disciplina entomológica como la palaeoentomología, se vienen desarrollando en Colombia (Abril y Parra, 2.010) a partir de hallazgos fósiles de macroinvertebrados acuáticos como: Podonominae (*Podomus* sp), *Hyaella* sp, Ostrácodos, Banquiópodos y Acari (Eremaidae) y otros zooclastos propios de ecosistemas de la alta montaña que datan del Tardiglacial (22.000 años AP). Estos registros han permitido establecer relaciones palaeoecológicas de varios grupos de organismos de los complejos lagunares como plantas acuáticas, semiacuáticas, terrestres y con éstos se han inferido aspectos relacionados con los procesos biogeoquímicos sedimentarios que se evidencian en los respectivos análisis estratigráficos de los sedimentos de las antiguas lagunas. Otras áreas de la Palaeoecología como la Palaeontología, Palaeobotánica y la Palaeoentomología han podido conducir a la Palaeoetología, que ha permitido hacer las reconstrucciones del comportamiento de los invertebrados en sistemas acuáticos del pasado. La importancia de la nueva disciplina Palaeoentomológica a partir del uso especialmente de los quironómidos que se está desarrollando en Colombia radica en que:

A. Ayuda a la comprensión de los ecosistemas lagunares paramunos y revelan como huellas digitales la existencia de varias comunidades endógenas y exógenas y de ellas, especies de invertebrados acuáticos que responden simétricamente a las condiciones ambientales que se sucedieron en una determinada época de tiempo. Tal es el caso de las erupciones volcánicas que dejaron huellas y quedan registradas en los sedimentos de la laguna Puente Largo en el Páramo del Sol, Antioquia, Colombia y en las que los quironómidos y otros organismos muestran cambios en sus asociaciones debido a los productos de la depositación de la ceniza volcánica.

B. Otras implicaciones de mayor interés son las que se evidencian en las poblaciones que muestran cambios morfofuncionales como respuesta a condiciones ambientales, lo que puede derivar en estudios ecofisiológicos (Figura 2) y por último, estos grupos muestran claramente una respuesta a los cambios de temperatura la que permite utilizarlos como indicadores de cambios climáticos de alta resolución que permiten descifrar el clima a nivel bianual, décadal, quincenal, de centurias y milenios.

El estudio de los macroinvertebrados actuales existentes de la alta montaña, como la laguna Sierra Nevada del Cocuy, Iguaque (Cundinamarca), y especial el Páramo del Sol, Antioquia, Colombia han permitido entender la dinámica sinecológica y autoecológica de diferentes grupos en los que se les conoce sus preferencias alimenticias y su hábitat específico, como el caso del tricóptero *Oxyethira* sp. que cumple parte de su ciclo de vida dentro de las hojas de la macrófita acuática *Sphagnum* sp. que

coloniza los mesohábitats del litoral de las lagunas.

Esta catalogación de la fauna y flora acuática junto con los análisis nictimerales y geoquímicos de los cuerpos de agua y de los sedimentos han permitido establecer comparaciones con las poblaciones de diferentes periodos en las que se han observado: alta abundancia, baja diversidad, alto endemismo, aumento y disminución de las densidades poblacionales y desaparición de taxones como en el caso de *Podonomus* sp. que solo se ha registrado su existencia en el Pleniglacial Tardío del Páramo del Sol. Macrorestos de otros invertebrados del Pleniglacial Tardío y Holoceno temprano son la guía fundamental para hacer las reconstrucciones taxonómicas desde hace 22.000 años, la fidelidad para poder usar estos organismos radica en que gran parte de sus estados de desarrollo se dan dentro de la columna de agua.

Según Parra (2005) se puede afirmar que cualquier fenómeno que tenga una interacción con los diversos sedimentos de un lago, es susceptible de análisis paleoecológico. Esto es posible, debido a que por medio de los diversos acoples, algunas características ambientales del pasado son transferidas a los sedimentos, donde se conservan como evidencias las interacciones de la geósfera, la biosfera, la hidrosfera y los elementos del clima. En otras palabras un lago es un museo que ha tenido como único curador el tiempo.

Con los estudios actuales de los ecosistemas paramunos se ha entrado en el concepto de la neocología en el cual la gran mayoría de las variables fisicoquímicas del meso, microhábitat son medidas y cuantificadas en largos periodos de tiempo (10-20 años) para luego mediante programas basados en algoritmos matemáticos se depuran las variables

control y los tensores ambientales más críticos para las comunidades, se excluyen las que son causales de ruido y mediante las funciones de transferencia (Juggins, 2010) que utiliza algoritmos matemáticos que permiten relacionar variables fisicoquímicas mediante una serie de ecuaciones con una serie de organismos y como respuesta se pueden formalizar algunos eventos del pasado se han podido hacer reconstrucciones del clima y de la vegetación a escala de milenios. Convirtiéndose así en una de las principales herramientas para el estudio de los cambios medioambientales en las diferentes escalas de tiempo, utilizando proxies de archivos sedimentarios, siendo Imbrie y Kipp (1.971) los pioneros en el tema. En las figuras 3-5 se muestran secciones de 50 cm de longitud de un núcleo de 14,75 m de profundidad datados mediante la técnica de C^{14} y AMS en diferentes laboratorios de Europa, cuya edad cronológica es de 15.000 años (AP), en la Figura 3, se observa un histosol fibroso y algunos de los artropodos encontrados, la Figura 4 presenta capas de ceniza volcánica (tefras), palaeosuelos, y en el interior de cada una de estas secciones se encuentran capas de diatomitas y subfósiles de macroinvertebrados en especial capsulas cefálicas de Chironomidae. Observaciones preliminares muestran cambios en las asociaciones después de la ocurrencia de estas erupciones, y en la Figura 5 la columna muestra una muy fina fase mineral con grava gruesa y arenas finas que corresponden al inicio de la formación de pequeños lagos verde azules de la zona de superpáramo y en su interior se hallan cápsulas cefálicas del quironómido (*Podonominae: Podonomus* sp.), conchas de ostrácodos y branquiópodos, siendo estos los primeros hallazgos registrados en el Tadioglacial para Colombia en una turbera del ecosistema paramuno.

Con la información y datos obtenidos de estas perforaciones se ha podido elaborar el primer atlas de macrorrestos de invertebrados acuáticos (Abril y Parra, 2010) y se han construido las primera gráficas en el programa Tilia Graf en el que se demuestra la sensibilidad de los macroinvertebrados acuáticos a los regimenes de precipitación y la asociación con plantas acuáticas (Figura 6). Igualmente, se han podido hacer cerca de 40 dataciones en el sitio de estudio lo que ha permitido estudiar las tasas de sedimentación y la cronoestratigrafía para cada uno de los segmentos en 14,75 m de profundidad y mediante interpolaciones, (Figura 7) se han podido establecer curvas de calibración que permiten definir las temperaturas y los periodos fríos y secos sucedidos en el ecosistema paramuno colombiano convirtiéndose en la investigación de línea de base sólida para futuras exploraciones de los ecosistemas paramunos a nivel mundial.

Consideración final

Si bien en Colombia, no se ha encontrado grandes depósitos y afloramientos que contengan los registros fósiles de artrópodos como en las zonas templadas, se han descubierto grandes palaeolagos que contienen la historia natural del ecosistema paramuno desde el Tardiglacial que a la fecha se conservan intactos. Y son los insectos encontrados en estos depósitos naturales los que darán soporte a los futuros estudios paleoentomológicos en Colombia.

Solo involucrando inter y transdisciplinariamente las ciencias como la microestratigrafía, geología glacial, tefrocronología, geomorfología, sedimentología, petrografía, palaeoentomología, palinología, diatomología y fitología, en la que cada una aporte sus objetos de estudio, se podrán hacer las más fieles reconstrucciones para el entendimiento de los ecosistemas y los

aspectos relacionados con los ambientes sedimentarios y bajo estudios multiproxi, quizás podamos dejar atrás las especulaciones sobre el cambio climático.

Con base en los datos de estos estudios y futuros en los ecosistemas paramunos, que son únicos en el mundo demuestran la prioridad y la urgente necesidad de declarar estos ecosistemas como zonas de alto valor patrimonial y que sean todos incluidos dentro del sistema nacional de áreas protegidas por que de hecho sabemos muy bien y sin muchos estudios que las nieves no son perpetuas.

Agradecimientos

El autor agradece a la Sociedad Colombiana de Entomología (SOCOLEN) por la invitación a compartir los avances de la palaeoentomología en Colombia, a la dirección de Parques Nacionales Naturales (PNN) seccional Urrao, Héctor Velásquez y Arley Duque, al colega Carlos A. Monsalve y a mi maestro Luis Norberto Parra S., al profesor Georges Gorín de la Universidad de Ginebra Suiza y al Grupo de Palinología, Palaeoecología de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín y a Estela M. Barrientos por las sugerencias al manuscrito.

Tabla 1. Taxonomía de macrofósiles encontrados en la Cordillera Oriental colombiana

Ejemplar	Taxon
Tipo T 157	Cladóceras, ephippia
Tipo T 158	Acaridae, exoesqueleto
Tipo T 159	Coleoptera, élitro
Tipo T 160	Collembola, exoesqueleto
Tipo T 161	Cf. Hymenoptera, puparia
Tipo T 162	Cf. Psocoptera, exoesqueleto
Tipo T 163	Cf. Hemiptera, exoesqueleto
Tipo T 164	Insecta, cápsula cefálica
Tipo T 165	Cf. Oligochaeta, Cocón

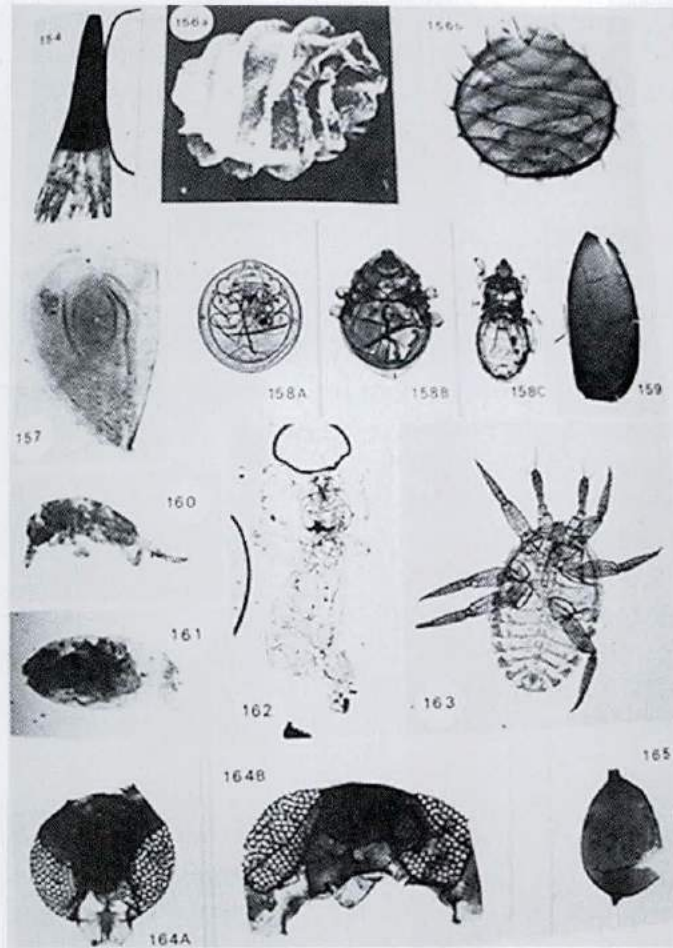


Figura 1. Macrofósiles de la perforación Páramo Laguna Verde, Páramo de Agua Blanca y Páramo de Peña Negra. Tomado de Kuhry (1988).

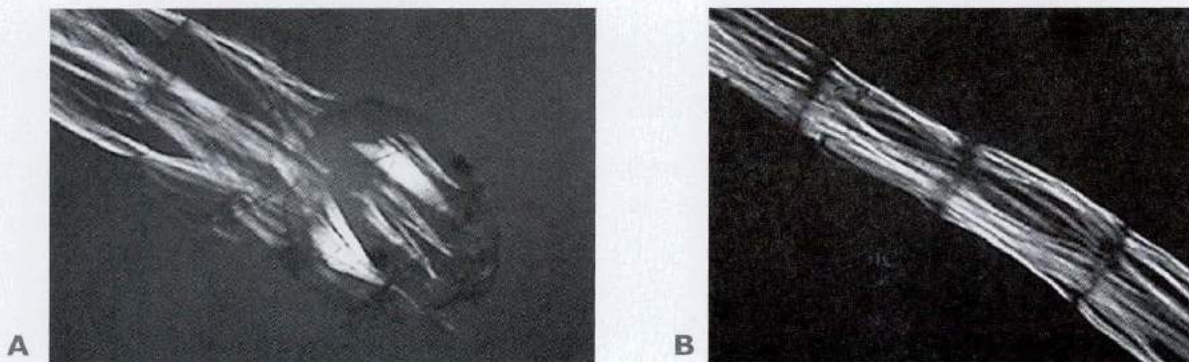


Figura 2. Sistema muscular de larva de (Diptera:Chironomidae). a. cabeza, b. segmentos abdominales. Fotografías en Microscopio petrográfico (del autor)

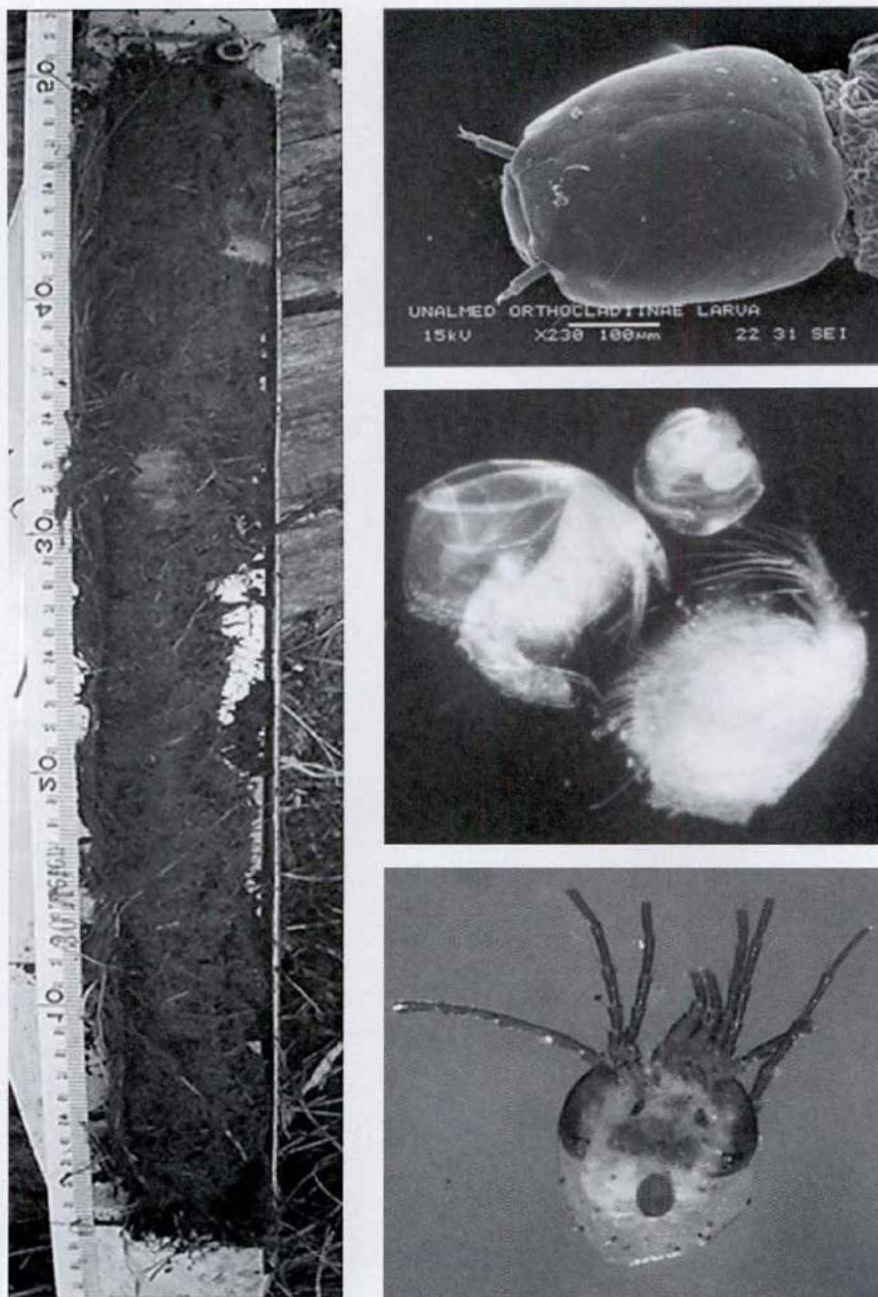


Figura 3. Sección del núcleo Llano Grande Páramo del Frontino, Antioquia, Colombia. Histosol fibroso y artrópodos encontrados

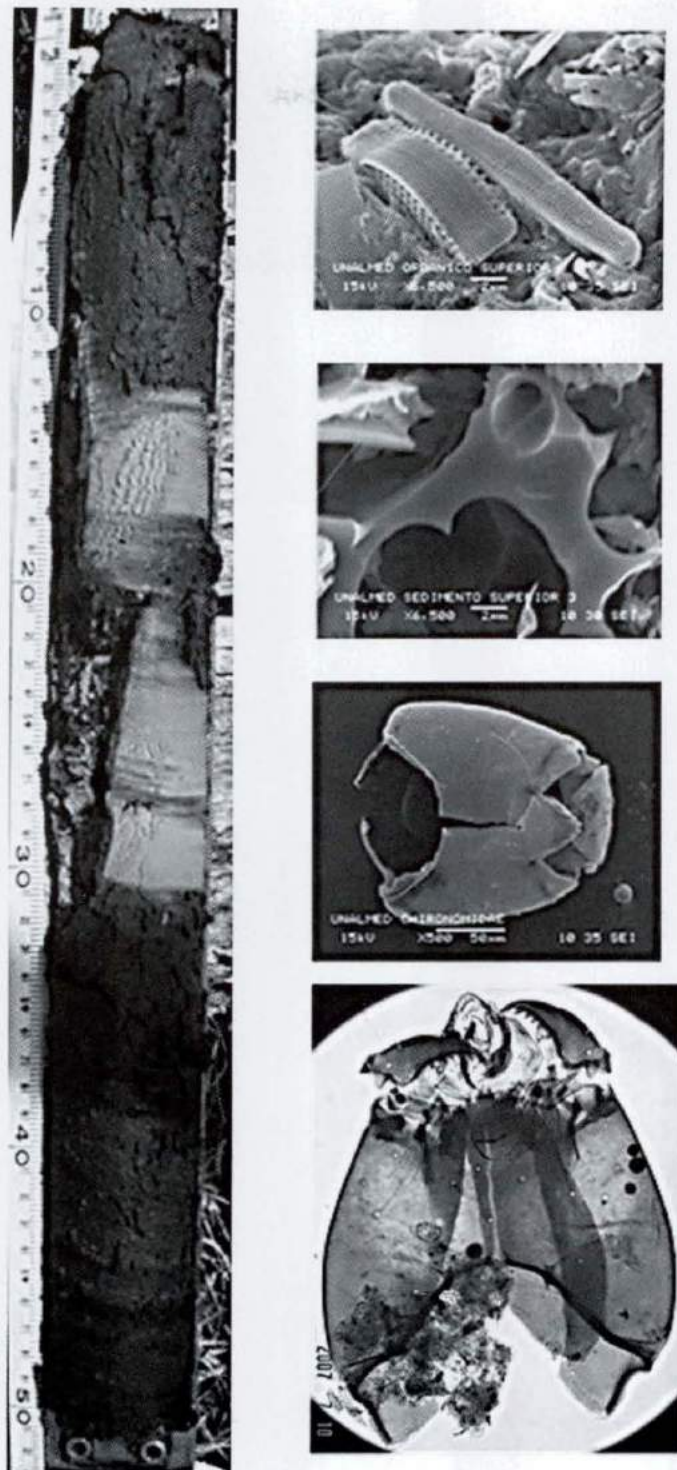


Figura 4. Sección del núcleo Llano Grande Páramo del Frontino, Antioquia, Colombia. Diatomeas, Tefras de Erupciones volcánicas y artrópodos encontrados.

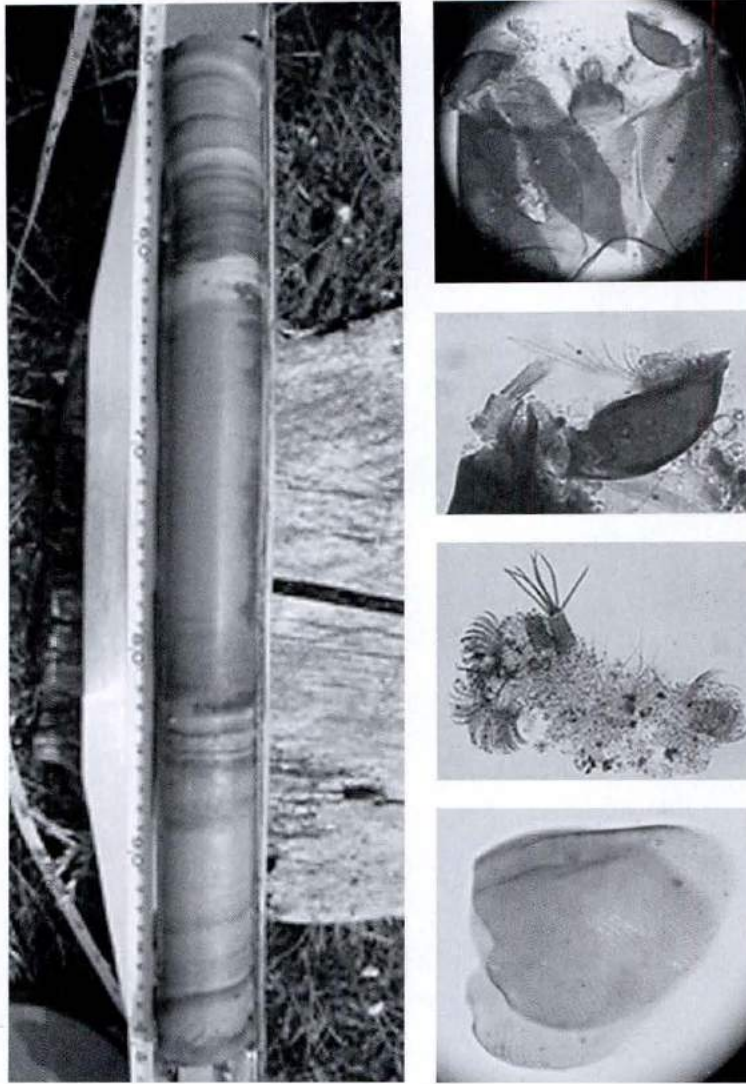


Figura 5. Sección del núcleo Llano Grande Páramo del Frontino, Antioquia, Colombia. Sedimento mineral y artrópodos encontrados

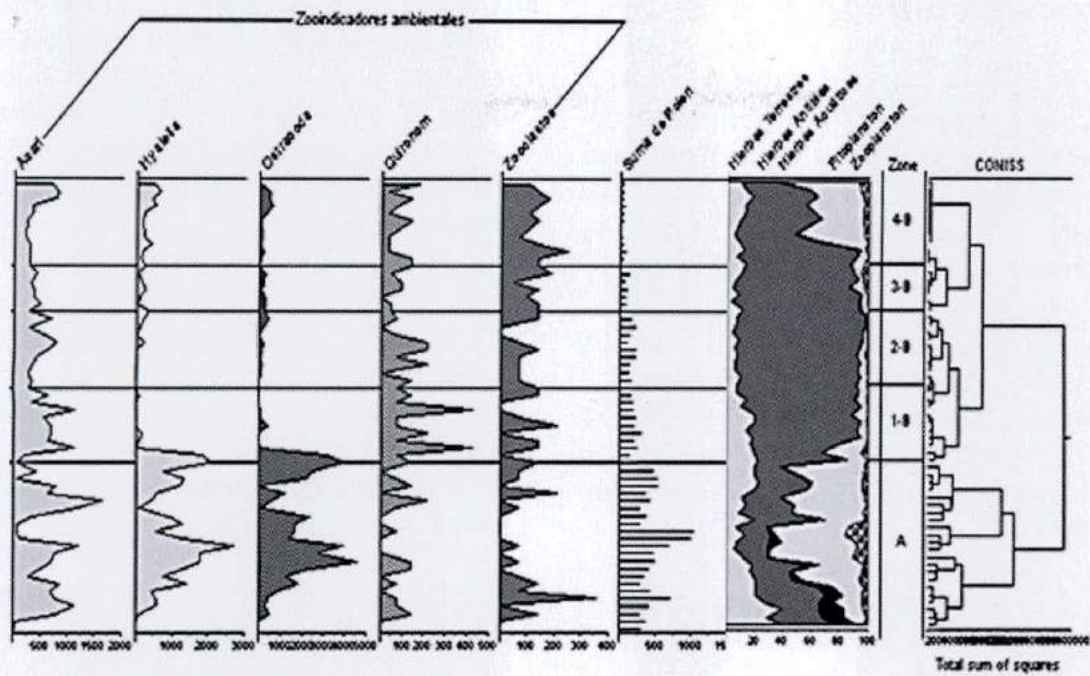


Figura 6. Diagrama de zooindicadores y plantas acuáticas sección núcleo Llano Grande Páramo de Frontino, Antioquia, Colombia.

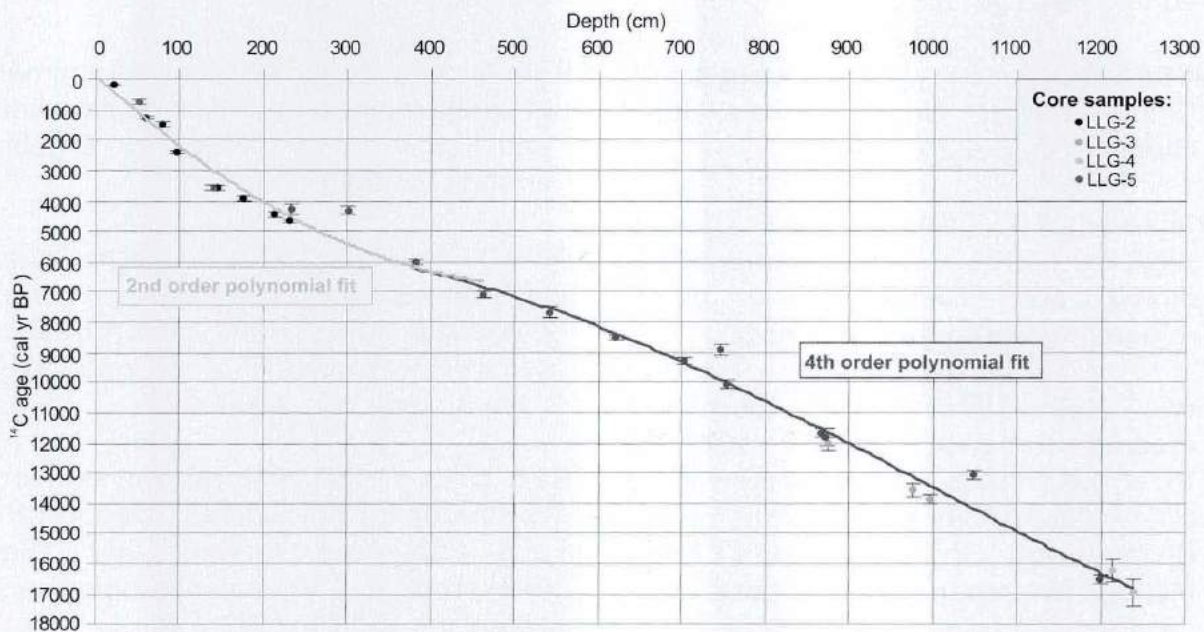


Figura 7. Modelos de edad para de los núcleos LLG 2-5 del Páramo de Frontino, Antioquia, Colombia. Tomado de Monsalve y Muñoz 2010.

Referencias Bibliográficas

- ABRIL R. G. y L. N. PARRA. 2007. Macroinvertebrados acuáticos del páramo de Frontino Antioquia Colombia con énfasis en Chironomidae. Tesis Maestría Universidad Nacional de Colombia sede Medellín 60 p.
- ABRIL R. G., C. MONSALVE MARÍN Y L. N. PARRA. 2008. Fósiles de (Diptera:Chironomidae) de la Turbera Llano Grande IV del Páramo de Frontino- Antioquia-Colombia. Socolen 2008.
- ABRIL R. G. y L. N. PARRA. 2010. Zooclastos de la turbera Llano Grande del páramo de Frontino Antioquia Colombia. En: Colombia Diversidad Biótica X. Cambio global (Natural) y climático (Antrópico) en el páramo colombiano. J. Orlando Rangel Ch, editor. Pag.167-180.
- ANDERSEN, F. S., 1938. Spätglaciale Chironomiden. Medd. Dansk geol. Foren. 9: 320-326.
- ARMITAGE, P.D., CRANSTON P.S Y L.C.V. PINDER, 1995. The Chironomidae, biology and ecology of non. biting midges. Chapman y Hall 572 p.
- BERG, M.B. 1995. Larval food and feeding behaviour. Pages 136-168 In: P.D.Armitage, P.S. Cranston and L:C:V: Pinder (eds.) The Chironomidae. Biology and Ecology of non-Biting Midges. Chapman and Hall, London.
- BRUGAM, R. B., 1984. Insect Remains. In R. B. Brugam. Holocene Paleolimnology. In Wright, H. E., Jr. (ed.) Late Quaternary Environments of the United States. 2. The Holocene. Longman, London: 217-218.
- BRUNDIN, L. 1966. Transantartic relationships and their significance, evidence by chironomid midges. With a monograph of the subfamilies Podonominae and Aphroteniinae and the austral Heptagytiae. Konglia Sveska Vetenskaps Akademien, Handlingar 11:1-472.
- CRISMAN, T. L., 1978. Reconstruction of past lacustrine environments based on the remains of aquatic invertebrates. In Walker, D. & J. C. Guppy (eds.) Biology and Quaternary Environments. Aust. Acad. Sci., Canberra: 69-101.
- CRISMAN, T. L., 1988. The use of subfossil benthic invertebrates in aquatic resource management. In Adams, W. J., G. A. Chapman & W. G. Landis (eds.) Aquatic Toxicology and Hazard Assessment: 10th volume, ASTM STP 971. Am. Soc. Testing Materials, Philadelphia: 71-88.
- FREY, D. G., 1964. Remains of animals in Quaternary lake and bog sediments and their interpretation. *Ergebn. Limnol.* 2: 1-114.
- FREY, D. G., 1976. Interpretation of Quaternary paleoecology from Cladocera and midges, and prognosis regarding usability of other organisms. *Can. J. Zool.* 54: 2208-2226.
- FREY, D. G., 1988. Littoral and offshore communities of diatoms, cladocerans and dipterous larvae, and their interpretation in paleolimnology. *J. Paleolim.* 1: 179-191.
- GAMS, H., 1927. Die Geschichte der Lunzer Seen, Moore und Wälder. *Int. Revue ges. Hydrobiol. Hydrogr.* 18: 305-395.

- HOFMANN, W., 1971. Zur Taxonomie und Palökologie subfossiler Chironomiden (Dipt.) in Seesedimenten. *Eggen. Limnol.* 6: 1-50.
- HOFMANN, W., 1986. Chironomid analysis. In Berglund, B. E. (eds.) *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*. John Wiley & Sons, Chichester: 715-727.
- HOFMANN, W., 1988. The significance of chironomid analysis (Insecta: Diptera) for paleolimnological research. *Palaeogeogr. Palaeoclim. Palaeoecol.* 62: 501-509.
- IMBRIE, J y N, G, KIPP. 1971. A new micropaleontological methods for quantitative paleoclimatology. Application to a late Pleistocene Caribbean core. In. KK Turekian, editor, *The late Cenozoic glacial ages*, Yale Univ. Press, New Haven (1971), pp 71-131
- JARAMILLO, J.A. 1998. Registro palinológico de un de las turberas del complejo lagunar de Puente Largo, páramo de Frontino, Cordillera Occidental Colombiana. Trabajo de investigación para optar al título de magíster en biología. Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.
- JUGGINS, STEVEN. 2010. C2 Version 1.6.5: Software for ecological and palaeoecological data analysis and visualization. Newcastle upon Tyne: University of Newcastle, 2010.
- LOTTER, A. F., H. J. B. BIRKS, W. HOFMANN Y A. MARCHETTO, 1997. Modern diatom, cladocera, chironomid, and chrysophyte cyst assemblages as quantitative indicators for the reconstruction of past environmental conditions in the Alps. I. Climate. *J. Paleolim.* 18: 395-420.
- MELIC, A. 1996. Paleontología para neoentomólogos. *Bol, SEA*, 16 (1996), *Paleontología*: 5-24.
- MONSALVE, C. A. 2004. Palinología del Holoceno superior en la laguna Puente Largo, Páramo de Frontino, Antioquia, cordillera Occidental, Colombiana. Tesis Magíster, Universidad Nacional de Colombia (Medellín). Facultad de Ciencias Agropecuarias. 117 p.
- OLANDER, H., A. KORHOLA Y T. BLOM, 1997. Surface sediment Chironomidae (Insecta: Diptera) distributions along an ecotonal transect in subarctic Fennoscandia: Developing a tool for palaeotemperature reconstructions. *J. Paleolim.* 18: 45-59.
- OLANDER, H., H. J. B. BIRKS, A. KORHOLA & T. BLOM, 1999. An expanded calibration model for inferring lakewater and air temperatures from fossil chironomid assemblages in northern Fennoscandia. *Holocene* 9: 279-294.
- OSPINA, T.R., W. RISS Y J.L. RUIZ. 2000. Guía para la identificación genérica de larvas de quironómidos (Diptera: Chironomidae: Orthocladiinae) de la Sabana de Bogotá. En: Amat G., G. Andrade y F. Fernández eds. *Insectos de Colombia Vol. II Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Colección Jorge Álvarez Lleras N° 13*. Editora Guadalupe, Bogotá, 363-384.
- PARRA, S. L. N. 2005. Análisis facial de alta resolución de sedimentos del Holoceno Tardío en el Páramo de Frontino, Antioquia. Tesis doctorado en biología. Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. 240pp.

- PARRA, LN Y J. O. C. y T. VAN DER HAMMEN 2010. Los sedimentos paramunos y la estratigrafía de la turbera Llano Grande, Páramo de Frontino (Antioquia; Colombia) En: Colombia diversidad Biótica X. Cambio global (Natural) y climático (Antrópico) en el páramo colombiano. J. Orlando Rangel Ch, editor. Pag.93-100.
- PETER KUHR. 1988. Palaeobotanical-Palaeoecological studies of tropical high Andean peatbog sections (Cordillera Oriental, Colombia) en: The Quaternary of Colombia, Vol 14 T. Van der Hammen (editor).
- SADLER, J. P. & J. C. JONES. 1997. Chironomids as indicators of Holocene environmental change in the British Isles. In Ashworth, A. C., P. C. Buckland & J. P. Sadler (eds.) Studies in Quaternary Entomology—An Inordinate Fondness for Insects. Quat. Proc. No. 5, John Wiley & Sons, Chichester: 219-232.
- STAHL, J. B., 1969. The use of chironomids and other midges in interpreting lake histories. Mitt. int. Ver. Limnol. 17: 111-125.
- VELÁSQUEZ, R. C. 2005. Paleoecología de alta resolución del Holoceno tardío en el Páramo de Frontino, Antioquia, Tesis doctorado en Biología. Línea Palinología y Paleoecología. Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. 240pp.
- VELÁSQUEZ, R. C. y PARRA, L. N. 2002. Cambios en el clima y en la vegetación del páramo. En: Resúmenes, Congreso Mundial de Páramos. Paipa, Boyacá: s.n., Mayo 13-18. 2002. p.37-38.
- WALKER, I. R. & R. W. MATHEWS. 1989. Chironomidae (Diptera) remains in surficial lake sediments from the Canadian Cordillera: analysis of the fauna across an altitudinal gradient. J. Paleolim. 2: 61-80.
- WALKER, I. R. 1987. Chironomidae (Diptera) in paleoecology. Quat. Sci. Rev. 6: 29-40. R., 1993. Paleolimnological biomonitoring using freshwater benthic macroinvertebrates. In Rosenberg, D. M. & V. H. Resh (eds.) Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates. Chapman & Hall, N. Y: 306-343.
- WALKER, I. R., 1993. Paleolimnological biomonitoring using freshwater benthic macroinvertebrates. In Rosenberg, D. M. & V. H. Resh (eds.) Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates.
- WALKER, I. R., A. J. LEVESQUE, L. C. Cwynar & A. F. Lotter. 1997. An expanded surface-water palaeotemperature inference model for use with fossil midges from eastern Canada. J. Paleolim. 18: 165-178.
- WALKER, I. R., J. P. Smol, D. R. Engstrom & H. J. B. Birks, 1991a. An assessment of Chironomidae as quantitative indicators of past climatic change. Can. J. Fish. aquat. Sci. 48: 975-987.
- WALKER, I. R., R. J. Mott & J. P. Smol, 1991b. Allerød-Younger Dryas lake temperatures from midge fossils in Atlantic Canada. Science 253: 1010-1012.
- WALKER, I., 1995. Chironomids as indicators of past environmental change. In Armitage, P. D., P. S. Cranston & L. C. V. Pinder (eds.) The Chironomidae: Biology and Ecology of Non-Biting Midges. Chapman & Hall, Lond.: 405-422.

Interferencia de las relaciones planta – insecto, alternativa para el control de plagas

James Jiménez

Ingeniero Agrónomo – Universidad de Caldas; MSc Biología Universidad de Antioquia. Gerente I+D+i – ecoflora® SAS. Mall Indiana Center vía Medellín Rionegro, oficina 279. ide@ecoflora.com

Resumen

La relación milenaria de las plantas con su entorno, ha hecho que desarrollen mecanismos de comunicación enmarcados en el ámbito químico, dada su incapacidad de desplazamiento, desplegando una ruta metabólica secundaria que se encarga de la defensa, la atracción y en general de la relación de las plantas con los demás componentes bióticos de los ecosistemas donde se encuentran. Se trata de un proceso coevolutivo, donde los demás organismos también han desarrollado la capacidad de identificar los metabolitos secundarios de las plantas y se benefician de ello, bien sea para utilizarlas o para evitarlas. En ecosistemas naturales se pueden encontrar una gran cantidad de metabolitos secundarios vegetales, llamados también semioquímicos, son en parte los encargados de mantener el equilibrio de las poblaciones. Sin embargo la agricultura con sus monocultivos reduce drásticamente la cantidad de estos compuestos, facilitando el desarrollo de poblaciones que afectan el desarrollo vegetal. Enmarcado en este contexto, el uso de extractos vegetales en monocultivos, busca restablecer la complejidad química natural, con lo que se ha denominado "diversidad semioquímica aparente", lo cual tiende a usar los efectos de protección (repelente, antioviposición, antialimentación, entre otros) para proteger las plantas del ataque de herbívoros o microorganismos. Se trata de medidas de manejo de poblaciones, en ningún momento se busca su erradicación.

Abstract

The millenary relationship between the plants and their environment, has lead them to develop communications mechanisms framed in the chemical field, given their inability of motion, unfolding a secondary metabolic pathway, responsible for the defense, attraction and in general the relationship among plants and the other biotic components in the ecosystem where they are. This is a coevolutionary process, where the surrounding organisms have also developed the skills to identify the plant secondary metabolites and get advantage from it, either to use or avoid them. In natural ecosystems it is able to find out a huge amount of plant secondary metabolites, also called semiochemicals, which are partly responsible for maintaining the balance of the populations. However the agriculture with its monoculture procedures drastically reduces the amount of these compounds, facilitating the increase of populations that affect the plant development. Framed in this context, the use of plant extracts on monocultures, looks for restore the natural chemistry complexity, which has been termed "apparent semiochemical diversity", which tends to use protection effects (repellent, antiegglying, antifeedant, etc.) to defend plants from the herbivore or microorganisms attack. These are measures to populations management, at no time sought to eradicate them.



Simpósios

**Variabilidade climática y efectos
en el Control biológico**

VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y EFECTOS EN EL CONTROL BIOLÓGICO

Coordinadora: Dra. Carmenza Góngora
Entomología, Cenicafe

Efecto del cambio y la variabilidad climática en la dinámica de infestación de la broca del café, *Hypothenemus hampei*, en la zona central cafetera de Colombia

Luis Miguel Constantino¹, Zulma N. Gil²,
Álvaro Jaramillo³, Pablo Benavides M.⁴, Alex E. Bustillo⁵

¹ Investigador Científico I, Cenicafe,
luismiguel.constantino@cafedecolombia.com

² Investigador Científico I, Cenicafe, zulma.gil@cafedecolombia.com

³ Investigador Científico III, Cenicafe, alvaro.jaramillo@cafedecolombia.com

⁴ Investigador Científico II, Cenicafe, pablo.benavides@cafedecolombia.com

⁵ Entomólogo I, Programa de Variedades, Cenicaña, alexe.bustillo@gmail.com

Introducción

Los cambios en el clima no solo afectan a los cultivos, sino también a las plagas y enfermedades. La mayor parte de las especies tienen asociado un rango térmico, de humedad y de radiación, relacionado con su fenología y fisiología. Además, como consecuencia del aumento de la temperatura y la variación en el reparto de las precipitaciones asociadas al Cambio Climático, numerosas especies van a ver modificado su hábitat aumentando o disminuyendo su rango de distribución. Con un aumento proyectado en la temperatura media anual del aire para el territorio nacional entre 1°C y 2°C, y una variación en la precipitación entre $\pm 15\%$ (IDEAM, 2007) para los próximos 50 años puede ocasionar cambios de adaptación en las poblaciones de los insectos entre los diferentes rangos altitudinales, tales como cambios en el comportamiento con sus hospedantes,

generar alteraciones y desfases en la sincronización de periodos de actividad de insectos huésped e insectos parasitoides, así como afectar el crecimiento y abundancia, la supervivencia, las tasas de alimentación y ciclos de vida de los insectos herbívoros (Walther *et al.*, 2002; Parmesan, 2006; Menéndez, 2007; Hill *et al.*, 2011). 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 fitosanitarios como para el desarrollo de estrategias de adaptación a los cambios esperados.

Las predicciones para el clima futuro indican no sólo un aumento de la temperatura media del planeta a lo largo de este siglo, sino patrones de cambio muy claros, como un mayor calentamiento en latitudes altas (hacia los polos) que cerca del Ecuador, y en las montañas. Esto

significa que muchas especies podrían ser capaces de colonizar y adaptarse a nuevos territorios antes inaccesibles para ellas al encontrarse climas aptos donde hasta hace poco hacía demasiado frío (IPCC, 2007). Por otra parte un 20-30% de las especies vegetales y animales evaluadas hasta la fecha estarían sujetas probablemente a un mayor riesgo de extinción si el aumento del promedio mundial de temperatura excediese de 1,5-2,5°C por encima de los niveles normales, especialmente crítico para numerosos sistemas únicos y amenazados y, en particular, para numerosas regiones de alta biodiversidad en el trópico (IPCC, 2007). Para el caso de la región andina de Colombia con sus tres cordilleras y macizos montañosos es uno de los ecosistemas más vulnerables al cambio climático. El cultivo de café (*Coffea arábica*) en Colombia está ampliamente distribuido en toda la zona andina del país en un rango altitudinal entre 1.000-2.000 m.s.n.m. abarcando una área cultivada de 910.000 ha (SICA-FNC, 2011), del cual subsisten más de 500.000 familias campesinas, siendo el principal cultivo de exportación en Colombia.

La broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) es la principal plaga del cultivo en Colombia y en todas las zonas productoras de café en el mundo. Es una especie monofaga específica del género *Coffea* que se alimenta y reproduce exclusivamente de la almendra del café, razón por la cual esta plaga está ampliamente distribuida en toda la zona cafetera del país, afectando más de 850.000 has del cultivo, en todo el rango altitudinal favorable para el cultivo del café, que está entre los 18 a 22°C. Debido a la fenología del cultivo del café, con dos cosechas al año en la zona central cafetera, la broca tiene alimento durante todo el año. Dentro de la variación altitudinal del cultivo, existe una relación entre la dinámica de infestación de la broca y la altitud, siendo mayor el desarrollo del insecto en localidades

bajas, por debajo de 1.200 m.s.n.m. con temperaturas superiores a 21°C, y el desarrollo es menor en sitios por encima de 1.600 m, con temperaturas medias por debajo de 20°C (Constantino, 2010).

El daño lo causa la hembra al perforar los frutos de café hasta el endospermo donde construye una cámara para depositar entre 150-200 huevos, de los cuales emergen las larvas que destruyen gran parte de la semilla, causando la pérdida parcial o total del grano, la pérdida de peso y la depreciación en la calidad del grano (Bustillo, 2006, 2008). La hembra fundadora que tiene una longevidad de 150 días permanece dentro del fruto de café con toda su progenie y si los frutos se caen al suelo, el insecto continua reproduciéndose durante dos o más generaciones (Baker, 1999). Los machos de la broca son ápteros y ocurren en una proporción de 1:10 hembras por lo que permanecen todo el tiempo dentro de los frutos apareándose con sus hermanos (Benavides, 2008; Bustillo, 2008) siendo los frutos secos y sobremaduros que quedan después de la cosecha los que representan el mayor riesgo de reinfestaciones posteriores en el árbol (Cárdenas, 1991).

La dinámica de infestación de la broca del café está influenciada por los factores climáticos como la precipitación y la humedad relativa y el estado fisiológico de los frutos de café (Jaramillo y Arcila, 2009), siendo el periodo crítico para el café cuando los frutos han alcanzado un 20% de peso en materia seca o sea cuando han alcanzado 120 días de desarrollo (Salazar *et al.*, 1993, Ruiz, 1996). En los frutos sobremaduros y secos que quedan en el árbol y en el suelo después de la cosecha pueden albergar entre 10 hasta 150 adultos y allí permanecen hasta que las condiciones ambientales le sean favorables para su reproducción. Cuando el periodo de

lluvias llega, se inicia la emergencia de las brocas que van a colonizar nuevos frutos en el árbol. Esta emergencia de brocas se incrementa considerablemente después de periodos prolongados de déficit hídrico ocasionados por los eventos climáticos de El Niño donde hay mayor emergencia de adultos de broca con el inicio de las primeras lluvias. (Figura 1)

Efecto de la temperatura en el desarrollo de la broca del café

La distribución territorial de los insectos y el tiempo generacional son afectados por las condiciones climáticas, especialmente por las temperaturas. La temperatura ambiental es determinante para la reproducción y el desarrollo de los insectos. Generalmente a mayor temperatura el desarrollo es más rápido, es decir, el tiempo requerido para una determinada etapa del desarrollo se acorta. La razón está en que a mayor temperatura se aceleran los procesos fisiológicos del

organismo. Todo ser vivo, planta o animal, es sensible a una temperatura mínima, óptima y máxima. Esto determina la distribución de los organismos por zonas climáticas, debido a las adaptaciones a la temperatura ambiental.

La influencia de la temperatura sobre el proceso de reproducción y el número de descendientes es determinante en muchos casos. Por ejemplo, la duración del ciclo de vida de la broca del café *H. hampei* demora 63 días a 19°C y sólo 20,3 días a 30°C bajo condiciones de laboratorio (Mendes, 1949; Jaramillo, *et al.*, 2009) (Tabla 1). Sin embargo en condiciones de campo los tiempos en la duración del ciclo de vida se alargan debido a la variación de las temperaturas máximas, y mínimas que ocurren durante la noche y el día. Por ejemplo a 22°C el tiempo generacional de la broca tarda en promedio 45 días y 60 días para una temperatura de 19°C en la zona central cafetera (Bustillo, 2006).

Tabla 1. Efecto de la temperatura en el tiempo generacional de la broca del café *H. hampei* bajo condiciones de laboratorio.

Autor	Huevo	Larva	Prepupa	Pupa	Total	T (°C)
Mendes, 1949	13,5	29,5	6,0	14,0	63,0	19,2
Vargas, 2006	8,0	12,0	6,0	10,0	36,0	21,0
Mendes, 1949	6,0	14,0	4,0	8,0	32,0	22,0
Montoya, 1993	6,5	12	2,5	4,0	25,0	23,0
Bergamín, 1943	5,5	12,5	3,5	6,0	27,5	24,5
Bustillo <i>et al.</i> , 1996	6,0	12,0	2,0	6,0	26,0	25,0
Romero, 2003	4,0	10,0	2,0	4,0	20,0	26,0
Mendes, 1949	4,0	11,0	2,0	4,0	21,0	27,0
Jaramillo <i>et al.</i> , 2009	4,3	7,0	5,0	5,2	21,8	27,0
Jaramillo <i>et al.</i> , 2009	3,3	5,7	5,3	6,0	20,3	30,0

El metabolismo de los insectos está muy influenciado tanto por las actividades del mismo insecto como por las condiciones externas que lo rodean, tales como la temperatura, humedad y atmósfera. Los insectos son organismos ectotermos, no pueden regular su temperatura corporal, o sea que dependen de la temperatura del ambiente y obtienen el calor exponiéndose a la radiación solar; a su vez lo disipan mediante evaporación, conducción o

convección. Dentro de ciertos límites, los insectos pueden modificar la temperatura de su cuerpo. En medios muy cálidos, los insectos de mayor tamaño corporal pueden reducir su temperatura por evaporación de agua a través de la cutícula del cuerpo. En climas muy fríos los cambios producidos en el cuerpo pueden elevar su temperatura por encima de lo ambiental. Sin embargo en condiciones extremas de alta temperatura, los insectos pueden

perder agua por desecación por las altas temperaturas que se encuentren por encima de los umbrales máximos de tolerancia térmica de desarrollo para el insecto que resultarían perjudiciales para su vida.

La temperatura es la variable climática más importante que afecta directamente el desarrollo biológico de los insectos y seres vivos, afectando el número de generaciones al año, el rango de distribución, la interacción con sus plantas y enemigos naturales y el comportamiento conductual (Deutsch *et al.*, 2008, Thomson *et al.*, 2010). El conocimiento de la constante térmica de desarrollo es esencial para predecir los efectos del cambio climático en un organismo dado. Para el caso de la broca del café, los umbrales mínimos y máximos de tolerancia térmica de desarrollo del insecto se han determinado en 15, 12°C y 32°C respectivamente (Mendes, 1949; Jaramillo *et al.*, 2009), es decir que por debajo o por encima de dicho rango de temperatura la broca cesa por completo su desarrollo y oviposición (Figura 2).

Mediante modelos de regresión lineal y registros climáticos es posible predecir el efecto del incremento de la temperatura en el desarrollo de la broca del café. El modelo muestra que por cada incremento de 1°C en la temperatura térmica

óptima (T_{opt}), el porcentaje máximo de crecimiento intrínseco (r_{max}) de la broca aumenta en promedio 8,5% (Jaramillo *et al.*, 2009). Montoya y Cárdenas (1994) y Ruiz (1996) asumiendo un umbral mínimo de desarrollo para la broca de 16,5°C calcularon la constante térmica (K) o tiempo fisiológico de desarrollo para un ciclo biológico completo del insecto. Esta constante expresa las unidades de calor acumulado requerido para completar su desarrollo y se mide en grados-día (un grado-día equivale a un grado centígrado por encima del umbral mínimo de desarrollo del insecto en un periodo de 24 horas). Por ejemplo para la broca del café los grados-día acumulados necesarios para el desarrollo del ciclo completo desde oviposición hasta obtener un adulto completamente melanizado es de 228 grados-día en los machos y 245 grados-día en las hembras a una temperatura base de 16,5°C. Por ejemplo por cada 0,2°C de incremento en la temperatura media, el tiempo fisiológico de desarrollo de la broca se disminuye de 245°D a una temperatura de 16,5°C hasta 53,2°D a una temperatura de 21,5°C. Para cada día se calculan, por tanto, la diferencia entre la temperatura media diaria y el umbral mínimo de desarrollo: °D = temperatura media - temperatura umbral mínima o temperatura mínima efectiva (T_o) que para el caso de la broca del café es de 15,12°C. (Tabla 2)

Tabla 2. Constante térmica de desarrollo de la broca del café *H. hampei* (grados día) en un rango de 16,5 a 21,5°C estimada con una temperatura mínima efectiva (T_o) de 15,12 °C. (Mendes, 1949)

T°C	T-To	°D	T°C	T-To	°D
16,5	1,38	245,0	19,2	4,13	82,2
16,7	1,58	214,1	19,5	4,38	77,5
17,0	1,88	180,4	19,7	4,63	73,3
17,2	2,13	159,3	20,0	4,88	69,5
17,7	2,63	129,0	20,2	5,13	66,1
18,0	2,88	117,8	20,5	5,38	63,1
18,2	3,13	108,4	20,7	5,63	60,3
18,5	3,38	100,4	21,0	5,88	57,7
18,7	3,63	93,5	21,2	6,13	55,4
19,0	3,88	87,4	21,5	6,38	53,2

Efecto de la humedad relativa en la broca del café

La humedad relativa está estrechamente relacionada con la salida de la broca de los granos. La mayor emergencia de la broca de frutos infestados se incrementa con humedades altas entre 90 y 100% H.R. y es menor por debajo de 80%. Igualmente a mayor humedad (90% y 93,5% H.R.) se incrementa la fecundidad (Baker *et al.*, 1992). En un estudio en la zona central cafetera (Constantino, *et al.*, 2010, sin publicar) los frutos que caen al suelo en periodos secos perduran más tiempo, y el desarrollo de la broca es mayor por el aumento de la temperatura media en comparación con un periodo lluvioso donde la descomposición de los frutos es más rápida, lo cual ocasiona alta mortalidad de los estados biológicos de la broca por falta de alimento y en consecuencia el desarrollo y emergencia de la broca es menor.

Respuesta potencial de los insectos frente al cambio climático

El clima influye en el desarrollo y la distribución de los insectos. Estos aumentos de temperatura y los cambios en el clima puede resultar en cambios en la distribución geográfica y altitudinal de las especies, los cambios en las tasas de crecimiento de la población, el aumento del número de generaciones, la extensión o disminución del desarrollo de los ciclos de vida, los cambios en la sincronía de las plagas, los cambios en las interacciones interespecíficas y un mayor riesgo de invasión por plagas migratorias (Parmesan, 2006; Menéndez, 2007; Robinet y Roques, 2010). A pesar de la escasez de series de datos temporales, existe evidencia de efectos directos del cambio climático ocurrido hasta el presente para algunas especies de

insectos europeos y de Norteamérica. Así se han detectado importantes cambios en la biología de algunas poblaciones, con adelantos y en ciertos casos retrasos en procesos de inicio de actividad, llegada de migración o reproducción. Igualmente, los desajustes entre predadores y sus presas debido a respuestas diferenciales al clima, la distribución de ciertas especies hacia el norte o hacia mayores altitudes, lo que para ciertas especies de montaña está significando una clara reducción de sus áreas de distribución (Parmesan, 2006), sin embargo estos cambios en el clima y la temperatura no siempre están asociados con el cambio climático, ya que existe la variabilidad climática natural que ocurre en periodos y lapsos más cortos de tiempo en una determinada región o país por lo tanto es necesario diferenciar estos dos términos que generalmente son confundidos por muchos investigadores cuando se habla del efecto del cambio climático en las poblaciones de una determinada especie animal o vegetal a nivel ecosistémico, regional o nacional.

El concepto de cambio climático

De acuerdo al Panel Intergubernamental de Cambio Climático, conocido por su sigla en inglés, IPCC, muestra pruebas claras del cambio climático como consecuencia de las emisiones de gases de efecto invernadero principalmente en los países industrializados por las actividades relacionadas con la quema de combustibles fósiles para generar energía, lo procesos industriales, el cambio en el uso de la tierra, la deforestación, la ganadería y la quema de bosques. Las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono, el metano, el óxido nitroso, y los residuos orgánicos volátiles entre otros, son en última instancia responsables del

calentamiento global (IPCC 2007). La temperatura global media de la superficie ha aumentado aproximadamente 0,6°C durante los últimos 100 años (Figura 3) lo que significa un incremento de apenas 0,006°C por año, lo cual es imperceptible si quisiéramos evaluar el efecto del cambio climático en alguna población de un insecto en un plazo de pocos años. Las estimaciones actuales de los cambios en el clima indican un aumento en la temperatura media global de 1°C para el año 2025 y hasta 3°C para finales del próximo siglo. Esto significa que debemos tener datos de línea base de la abundancia, distribución geográfica, rango altitudinal y latitudinal, tamaño poblacional, comportamiento conductual y de interacciones con sus plantas nutricias y sus enemigos naturales de la especie o especies que se requieren monitorear para cuantificar los cambios en las poblaciones dentro de 20, 30 ó 50 años cuando la temperatura global se haya incrementado 1°C o más. Todos los datos que se manejan actualmente para evaluar el efecto del cambio climático con grupos animales están basados generalmente en predicciones y en la modelación, ya que no se tienen datos históricos para soportar cambios relacionados con el cambio climático, a excepción de algunas especies de insectos en Europa y Estados Unidos, pero para la totalidad de las especies de insectos tropicales la información es prácticamente inexistente.

El concepto de variabilidad climática

La variabilidad climática, por el contrario, son eventos naturales que se suceden en periodos de tiempo más cortos, como el caso de los periodos El Niño y La Niña. El Niño Oscilación Sur (ENOS) es un fenómeno natural de interacción entre el océano y la atmósfera que

ocurre en la región del océano Pacífico tropical, en forma no - periódica, con intervalos que varían entre los 2 y 7 años, aproximadamente (Figura 4 B). En este sistema océano-atmósfera, El Niño corresponde a la componente oceánica y la Oscilación Sur a la componente atmosférica. El Niño Oscilación Sur (ENOS) se manifiesta en el océano como una oscilación entre 2 fases o eventos. La fase cálida (o evento cálido) es conocido como El Niño, cuando la Temperatura Superficial del Mar (TSM) a lo largo del Pacífico ecuatorial presenta anomalías positivas (calentamiento) (Figura 4A). La fase fría (o evento frío) es conocido como La Niña, cuando la Temperatura Superficial del Mar (TSM) a lo largo del Pacífico ecuatorial presenta anomalías negativas (enfriamiento) (Figura 4C). En general, durante el fenómeno de El Niño, en la zona cafetera colombiana se registra hasta un 20% de reducción en la precipitación anual. Durante los años en que ocurre La Niña, se registran excesos de precipitación sobre la región andina de Colombia, incluida la zona cafetera. Las anomalías de la temperatura superficial del mar en amplias regiones pueden alcanzar entre 2 a 3°C por encima de lo normal (Guzmán y Baldión, 1999; Jaramillo y Arcila, 2009).

En los períodos de permanencia del fenómeno El Niño, las temperaturas medias mensuales en la mayor parte del territorio nacional registran valores entre 1,0 y 2,0 °C por encima de lo normal (Figura 4 D). La afectación del régimen de lluvias por el fenómeno El Niño es diferencial a lo largo y ancho del territorio nacional. En términos generales, se ha podido identificar que hay déficit en los volúmenes de precipitación acumulados durante el período de presencia del fenómeno en las regiones Andina, Caribe y en la Orinoquía. En contraste con la situación anterior, las lluvias tienden a ser más abundantes de lo tradicional en

el sur de la región Pacífica colombiana, en la vertiente oriental de la cordillera oriental y en algunos sectores de la Amazonía (IDEAM 2007) (Fig. 4E)

Efecto del fenómeno de El Niño y La Niña en la dinámica de infestación de la broca del café

En un estudio realizado en la zona central cafetera de Colombia (Constantino *et al.*, 2010, sin publicar) se evaluó el efecto de la variabilidad climática en la dinámica de infestación de la broca del café en cuatro localidades ubicadas en un gradiente altitudinal entre 1.218 y 1.700 m en la vertiente occidental de la cordillera central en parcelas de *Coffea arabica* de tercera cosecha, de una hectárea de extensión con 5.000 árboles cada una. Para esto se evaluó el porcentaje de infestación de broca en árboles cubiertos con jaula entomológica a partir de frutos brocados infestados de una misma edad colocados en el plato del árbol durante cuatro ciclos productivos y abarcando tres periodos climáticos diferentes (Periodo Neutro 2007; Periodo La Niña 2008, Periodo El Niño 2009 - 2010), en cada localidad se tomaron los datos diarios de clima de las estaciones meteorológicas de Cenicafé promedio mensual de temperatura máxima, temperatura media, temperatura mínima, humedad relativa, brillo solar y precipitación de lluvias. Los registros de la temperatura media obtenidos en cada una de las localidades durante tres periodos climáticos diferentes mostraron un incremento de la temperatura media entre 1,2°C y 1,3°C a 1.218 m, 0,9°C y 1,2°C a 1.381 m, 1,6°C y 1,9°C a 1.470 m y de 1,2°C y 1,5°C a 1.700 m de altitud durante el fenómeno El Niño 2009 y 2010 con respecto a un periodo climático normal (Figuras 5 y 6).

Las lluvias presentaron un comportamiento bimodal, siendo los meses de enero y

julio los más secos, sin embargo para la segunda fase del proyecto se presentó un periodo climático La Niña muy intenso, siendo este el periodo más lluvioso registrado en los últimos 50 años para la zona central cafetera según los promedios históricos de lluvias reportados para cada una de las localidades del estudio. Para la tercera y cuarta fase del estudio en el periodo comprendido entre abril y diciembre de 2009 y entre enero y junio de 2010 se presentó un periodo climático El Niño bastante prolongado que trajo como consecuencia una disminución de las lluvias durante los meses de julio, agosto y septiembre de 2009 y durante los meses de enero, febrero y marzo de 2010 con respecto al promedio histórico mensual (Figura 7).

Los porcentajes de infestación muestran que con un incremento de solo 1,2°C en la temperatura media durante un evento climático El Niño incrementa los niveles de infestación en el árbol testigo al final del ciclo productivo en 28,1%; 13,3%; 21,1%; y 0,8% a 1.218 m, 1.381 m, 1.470 m, y 1.700 m respectivamente en comparación con un periodo neutro y de 27,8%; 20,6%; 19,0%; y 1,7 % a 1.218 m, 1.381 m, 1.470 m, y 1.700 m con respecto a un periodo La Niña en las mismas localidades (Figura 8).

Estos niveles de infestación en el árbol se producen en gran medida por los frutos brocados que quedan en el suelo y en el árbol después de la cosecha y que sirven de reservorio para reinfestaciones posteriores en el árbol. Para corroborar esto se colocaron frutos secos infestados artificialmente con brocas con un promedio de $6,5 \pm 1,5$ estados biológicos por fruto en jaulas de emergencia impregnadas con pegante biotrampa. Los promedios de captura obtenidos para cada localidad con las trampas muestran que la broca continua desarrollándose en los frutos del suelo durante 140 ± 10 días. Las mayores

capturas se dan durante periodos secos con temperaturas del aire superiores a 22,5°C en localidades bajas y son menores en las localidades más altas. Los resultados del total acumulado de capturas de broca a 1.218 m, 1.381 m, 1.470 m y 1.700 m fue de 4.717, 3.427, 2.091 y 879 adultos respectivamente durante un periodo El Niño en comparación con un periodo La Niña, donde el total de capturas fue de solo 461, 331, 671 y 186 adultos en las mismas localidades (Figura 9).

Los resultados de este estudio nos muestran que la temperatura es la variable que más influye en el desarrollo de la broca del café, ya que los ciclos de vida se aceleran produciendo mayor cantidad de progenies en menor tiempo en comparación a temperaturas más bajas donde el ciclo de desarrollo es más lento y prolongado. Estos datos ilustran muy bien el efecto que tiene el incremento de la temperatura media del aire durante periodos climáticos El Niño en la dinámica de infestación de la broca del café a diferentes altitudes en la zona central cafetera de Colombia. Con un aumento proyectado en la temperatura media anual del aire para el territorio nacional entre 1°C y 2°C y variaciones en las precipitaciones de $\pm 15\%$ para los próximos 50 años podemos ya predecir el impacto severo que tendrá la broca del café en cultivos ubicados en localidades por debajo de los 1.300 m.s.n.m. con temperaturas superiores a 21°C.

Estos datos nos muestran que existe una correlación lineal positiva con la temperatura, la tasa de desarrollo y la emergencia de la broca de los frutos brocados; a mayor temperatura del aire, mayor es el número de emergencia de brocas de los frutos del suelo y por consiguiente mayor el nivel de infestación y daño en el cultivo.

Mapas de riesgo de infestación por broca

La incidencia de El Niño en la zona cafetera de Colombia está asociada a la deficiencia hídrica en el suelo, siendo más crítico para la zona cafetera central (entre los 3° y 7° Norte) y para altitudes menores a los 1.300 m en sitios con una temperatura media mayor a 21,5°C (Fig. 10A).

Teniendo en cuenta que por cada 100 m de altitud hay una diferencia de 0,7°C - 0,8°C en la zona andina, durante un evento climático de El Niño la temperatura media se incrementa entre 1,0 y 1,5°C en cada piso térmico, y por consiguiente la infestación por broca, la cual es crítica en altitudes menores a los 1.300 m. Para dimensionar el verdadero impacto de las áreas que representan mayor riesgo de infestación por broca frente al cambio climático, miremos el departamento del Quindío, utilizando la base de datos del sistema de información cafetera SICA de la gerencia técnica de la Federación Nacional de Cafeteros, donde se discriminaron los cultivos de café por debajo de la cota altitudinal de 1.200 m, los cultivos entre 1.200 m y 1.300 m y los cultivos por encima de 1.300 m. El análisis del sistema de información cafetera SICA indica que 1.779 cultivos se encuentran por debajo de los 1.200 m, 4.732 cultivos se encuentran entre 1.200 y 1.300 m y 26.109 cultivos por encima de los 1.300 m, lo cual representa en área sembrada 3.750 ha de café por debajo de 1.200 m, 8.456 ha de café entre 1.200 y 1.300 m y 27.823 ha de café por encima de la cota altitudinal de los 1.300 m, representando los sitios críticos en color rojo y los vulnerables en color amarillo en la franja de los 1.200-1.300 para un evento climático El Niño (Fig. 10B). Este análisis muestra que el mayor riesgo de infestación por broca está concentrado en las partes bajas de

los municipios de La Tebaida, Quimbaya, Montenegro y Armenia.

Con esta información y las predicciones climáticas hacia el futuro se pueden desarrollar estrategias de control y manejo de la broca del café para generar alertas tempranas en relación con el

cambio y la variabilidad climática para que los caficultores puedan tomar medidas de control oportunas en determinadas épocas o periodos críticos de infestación de la broca en la región andina del país, tomando en cuenta las recomendaciones que da Cenicafé para el manejo integrado de esta plaga.

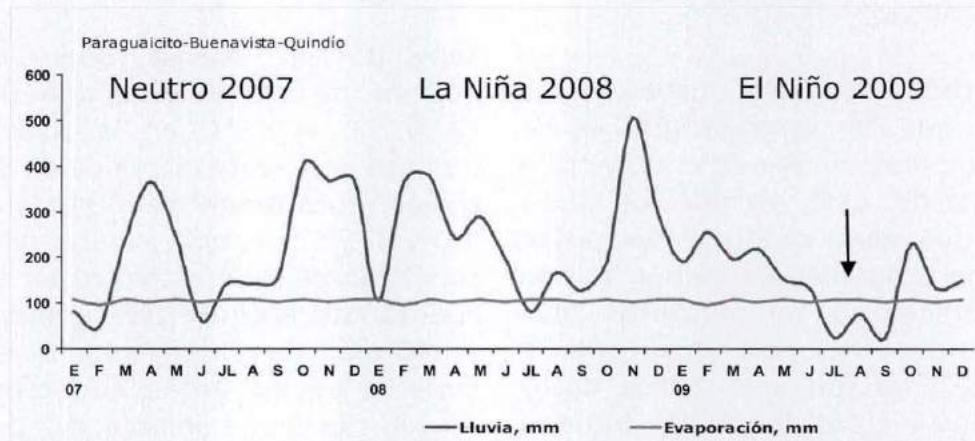


Figura 1. Balance hídrico en la localidad de Paraguaicito, Quindío a 1.218 m durante tres periodos climáticos diferentes (Fuente: Disciplina de Agroclimatología, Cenicafé).

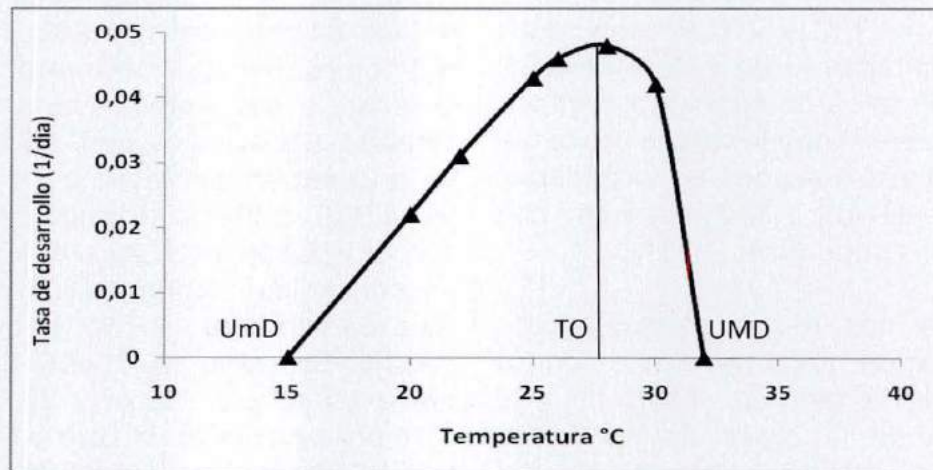


Figura 2. Tolerancia térmica de la broca del café *H. hampei* a diferentes temperaturas (UmD: Umbral mínimo de desarrollo; TO: Temperatura Óptima; UMD: Umbral Máximo de desarrollo) (Fuente: Jaramillo *et al.*, 2009).

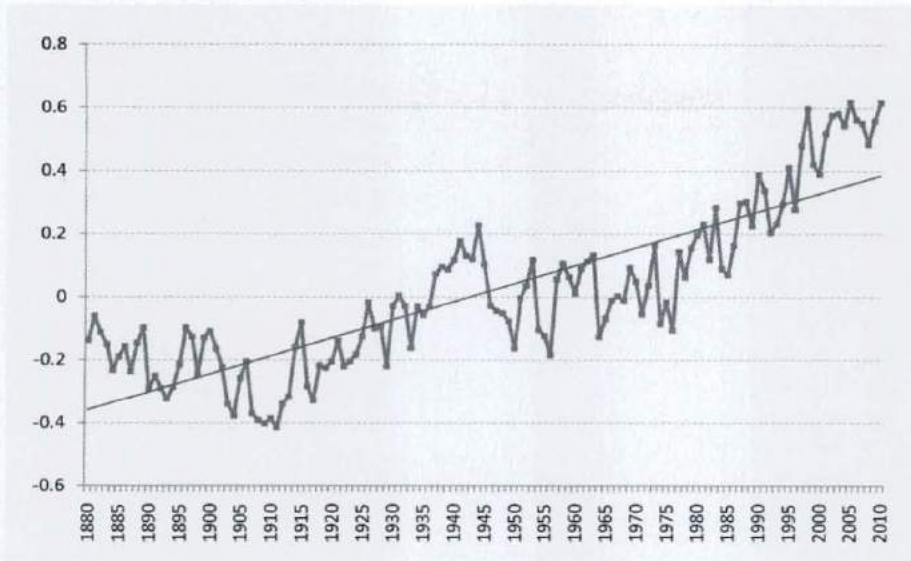


Figura 3. Incremento de la temperatura media global (°C) en los últimos 100 años. (Fuente IPCC 2007)

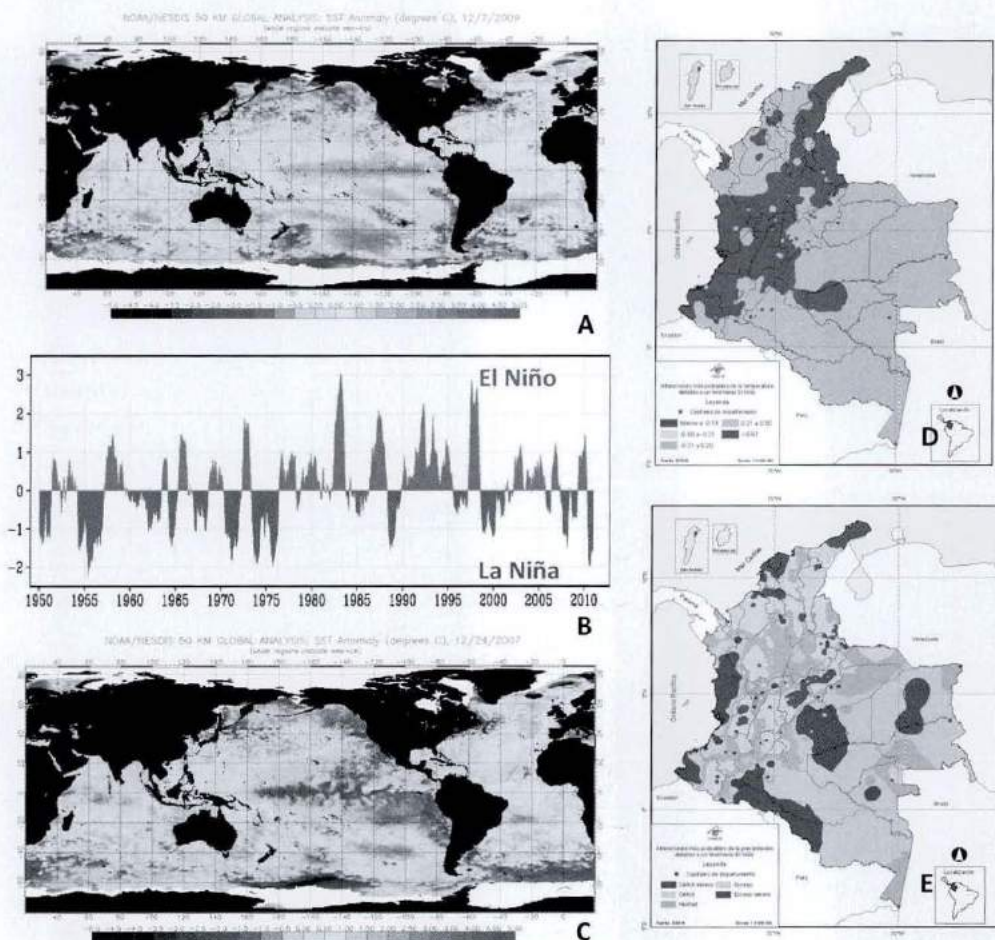


Figura 4. Efectos del Niño en Colombia **A, C.** Temperatura del océano pacífico durante un periodo El Niño y la Niña. **B.** Eventos Niño-Niña en los últimos 60 años. **D-E.** Alteración de la temperatura y las lluvias en el país (Fuente NOAA, 2010; IDEAM, 2008).

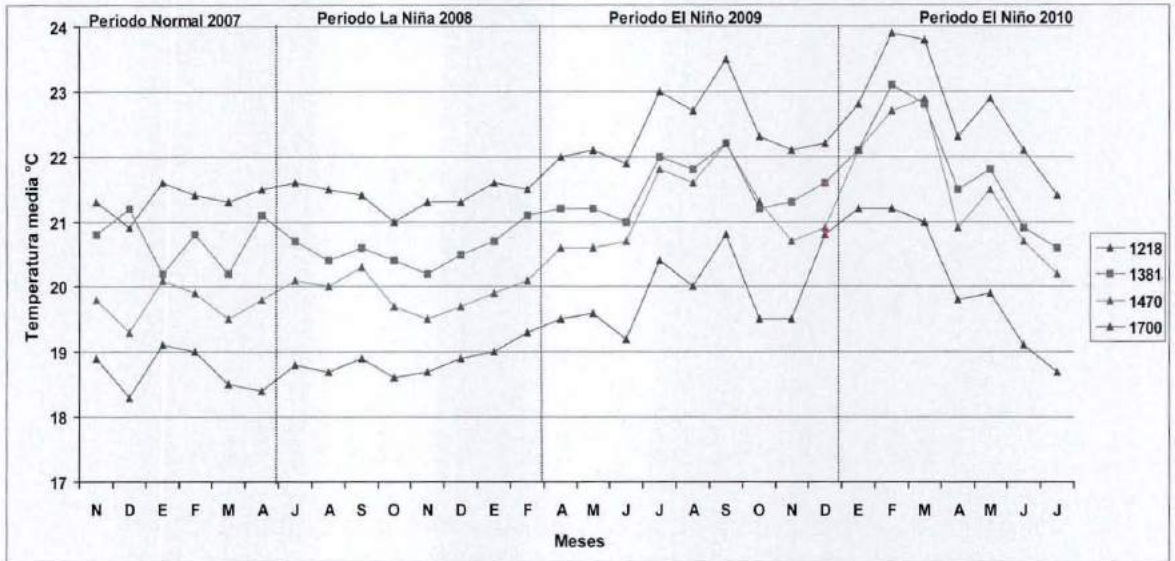


Figura 5. Variación de la temperatura media mensual registrada en cuatro localidades a 1.218 m, 1.381 m, 1.470 m, 1.700 m durante el periodo 2007-2010.

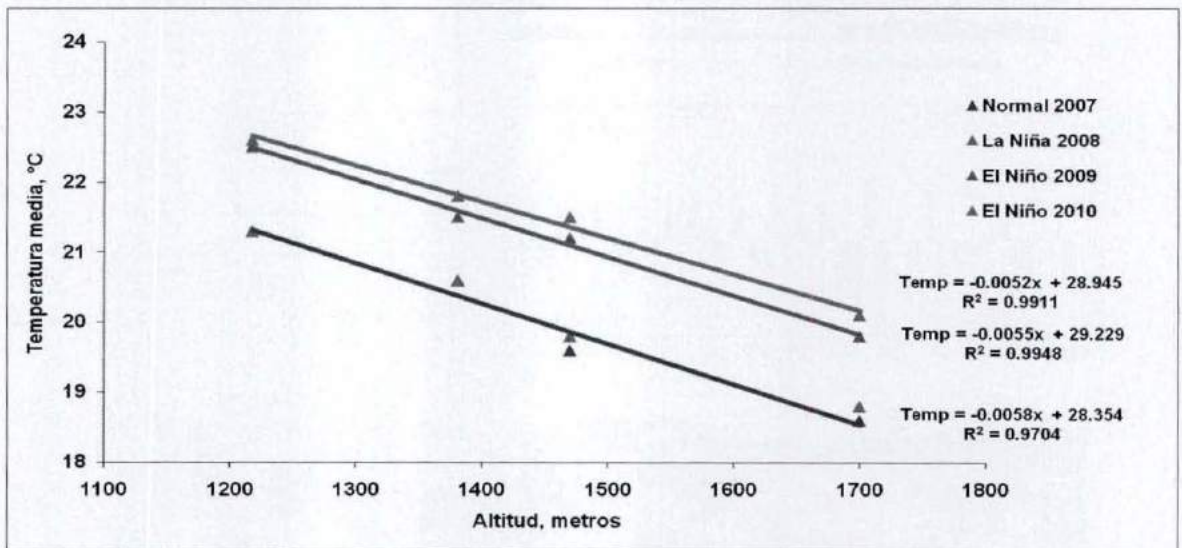


Figura 6. Incremento de la temperatura media registrada durante un periodo climático El Niño en comparación con un periodo La Niña y un periodo Neutro en cuatro localidades a través del tiempo (Fuente: Constantino *et al.*, 2010).

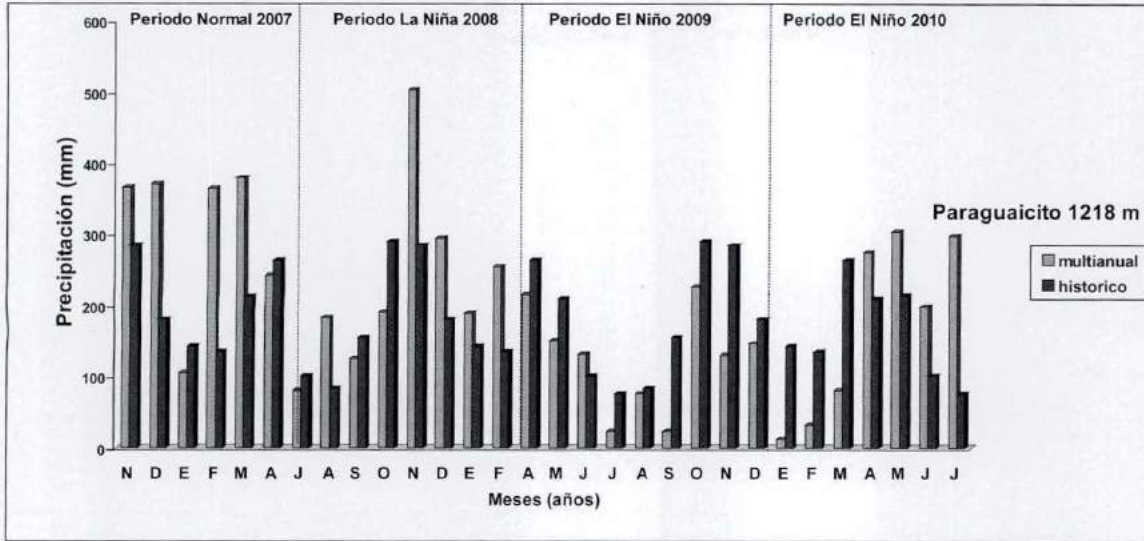


Figura 7. Registro de la precipitación de lluvias para la localidad de Paraguaicito, Quindío a 1.218 m, con relación al promedio histórico mensual (Fuente: Disciplina de Agroclimatología, Cenicafé).

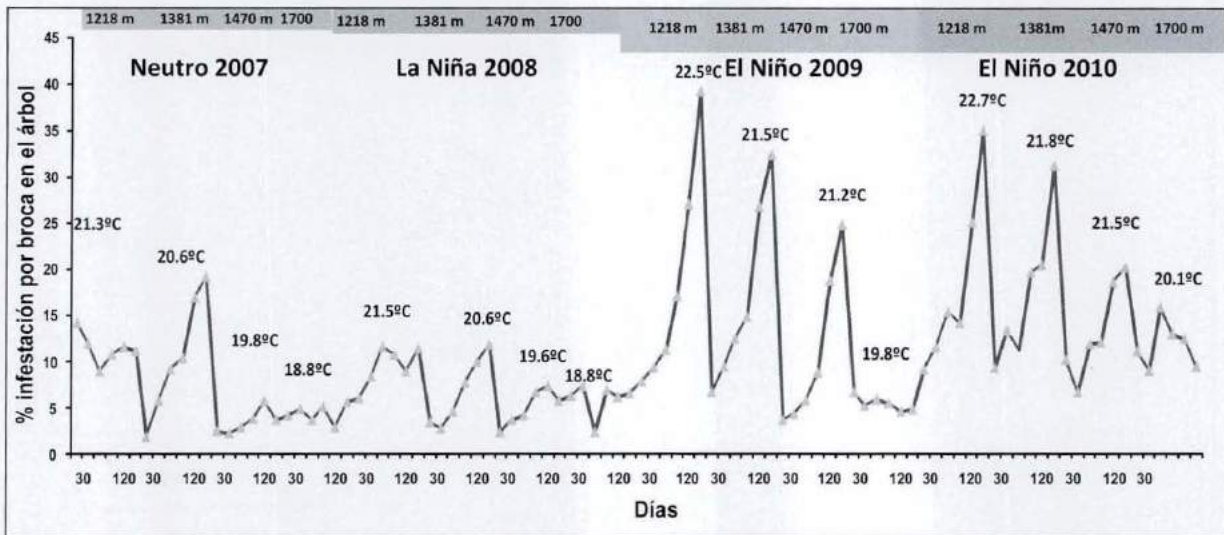


Figura 8. Efecto de la temperatura ambiente en el porcentaje de infestación por broca en condiciones de campo en cuatro altitudes durante tres eventos climáticos diferentes a través del tiempo (Fuente: Constantino *et al.*, 2010).

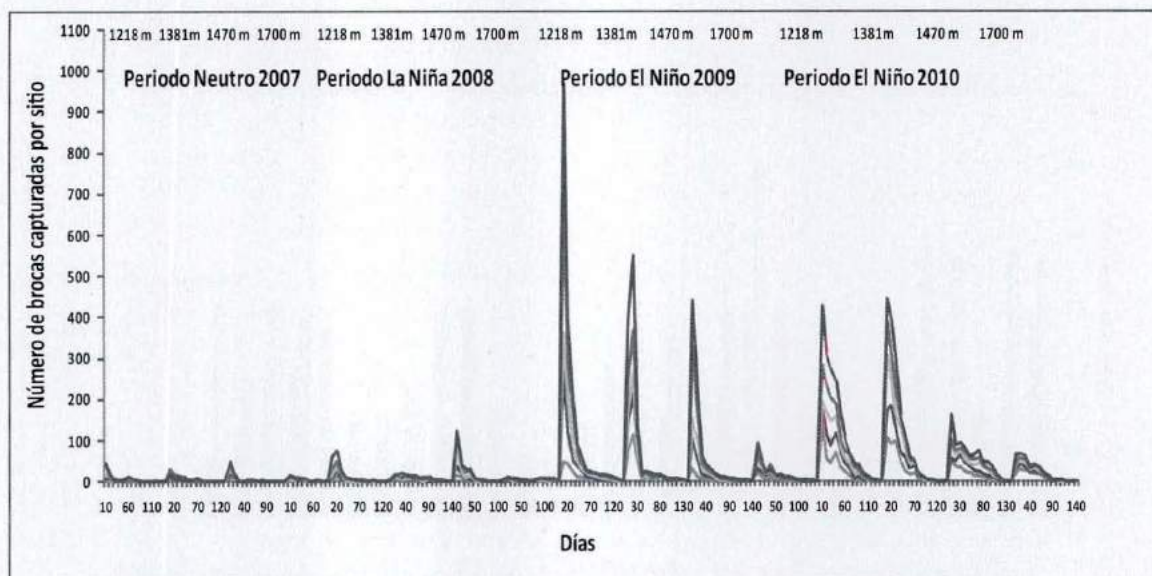


Figura 9. Emergencia de brocas adultas de frutos del suelo durante tres periodos climáticos diferentes en cuatro altitudes (Fuente: Constantino *et al.*, 2010).

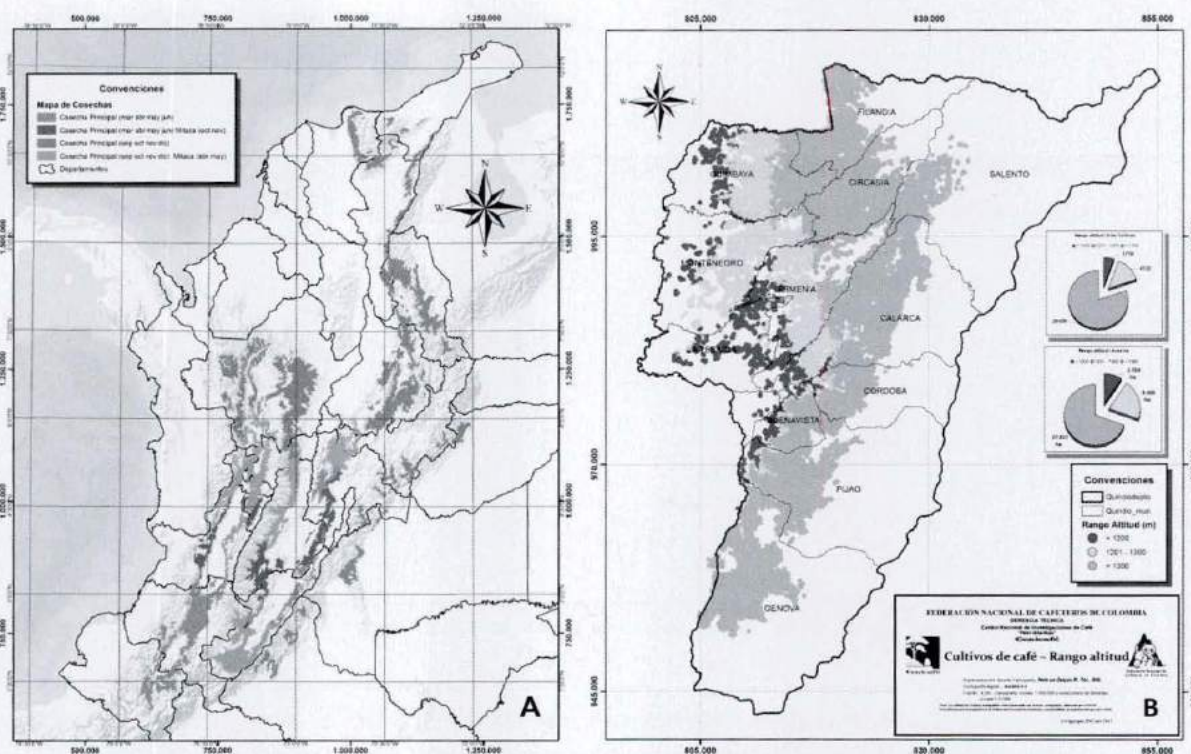


Figura 10. A. Mapa de cosechas y distribución de los cultivos de café en Colombia. **B.** Cultivos de café por rango altitudinal y área por cada municipio en el departamento del Quindío (Fuente: FNC-SICA 2011. Elaboró Nelson Duque, Cenicafé).

Referencias Bibliográficas

- BAKER, P.; LEY, C.; BALBUENA, R.; BARRERA, J.F. 1992. Factors affecting the emergence of *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) from coffee berries, México. Bulletin of Entomological Research 82: 145-150.
- BENAVIDES, P. 2008. Aspectos genéticos relacionados con la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari), Capítulo 17, p. 284 -297. Editor A. E. Bustillo P. En: Los insectos y su manejo en la caficultura colombiana. FNC - Cenicafé, Chinchiná (Colombia). Editorial Blanecolor Ltda., Manizales, 466 p.
- BERGAMIN, J. 1943. Contribuicao para o conhecimento da biología da broca do café *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867). Arquivos do Instituto Biológico, Sao Paulo 14:31-72.
- BUSTILLO, A.E. 2006. Una revisión sobre la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) en Colombia. Revista Colombiana de Entomología 32(2): 101-116.
- BUSTILLO, A.E. 2008. Aspectos sobre la broca del café *Hypothenemus hampei* en Colombia, Capítulo 33, p. 389-418. Editor A. E. Bustillo P. En: Los insectos y su manejo en la caficultura colombiana. FNC - Cenicafé, Chinchiná (Colombia). Editorial Blanecolor Ltda., Manizales, 466 p.
- CÁRDENAS, R. 1991. La broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari 1867) En: Seminario sobre broca del café. Socolen, Medellín, 21 Mayo de 1990. Miscelánea No. 18: 1-13.
- CONSTANTINO, L. M.; GIL, Z. N.; JARAMILLO, A.; BENAVIDES, P.; BUSTILLO, A. E. 2010. Efecto del fenómeno El Niño y La Niña en la dinámica de infestación de la broca del café *Hypothenemus hampei* en un gradiente altitudinal en la cordillera central colombiana. Libro de Resúmenes XXXVII Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología, SOCOLEN, Junio 30-Julio 2, Bogotá, Colombia. p. 124.
- CONSTANTINO, L. M. 2010. La broca del café, un insecto que se desarrolla de acuerdo con la temperatura y la altitud. Brocarta, Cenicafé, Chinchiná. No. 39. 2 p.
- DEUTSCH, CA.; TEWKSBURY, J.J.; HUEY, RB.; SHELDON, KS.; GHALAMBOR, R. 2008. Impacts of climate warming on terrestrial ectotherms across latitude. *Proc Natl. Acad. Sci. USA* 105: 6668-6672.
- GUZMÁN, O.; BALDION, J.V. 1999. Influencia del evento frío del pacífico en la zona cafetera colombiana. Revista Cenicafé 50(3): 222-237.
- HILL, J.; GRIFFITHS, H.; THOMAS, C. 2011. Climate change and evolutionary adaptations at species range margins. Annual review of Entomology 56: 143-149.
- IDEAM. 2007. Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. Bogotá. 97 pp.
- IPCC. 2007. Panel intergubernamental sobre cambio climático. Cambio climático: Base de ciencia física. Contribución del Grupo de Trabajo I al cuarto informe de evaluación del IPCC. Cambridge University Press, Cambridge Reino Unido y Nueva York, EEUU. 139 p.

- JARAMILLO, A.; ARCILA, J. 2009. Variabilidad climática en la zona cafetera colombiana asociada al evento de El Niño y su efecto en la caficultora. *Avances Técnicos Cenicafé*. 390: 1-8.
- JARAMILLO, J.; CHABY-OLAYE, A.; KAMONJO, C.; JARAMILLO, A.; VEGA, F.; POEHLING, H.; BORGEMEISTER, C. 2009. Thermal tolerance of the coffee berry borer *Hypothenemus hampei*: Predictions of climate change impact on a tropical insect pest. *PlosOne* 4(8): 1-11.
- JARAMILLO, J.; CHABY-OLAYE, A.; BORGEMEISTER, C. 2010. Temperature-dependent development and emergence pattern of *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) from coffee berries. *J. Econ. Entomol.* 103(4): 1159-1165.
- MENDES, L. 1949. Determinação do potencial biótico da broca do café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) e considerações sobre o crescimento de sua população. *Bragantia* 9(12): 215-226.
- MENÉNDEZ, R. 2007. How are insects responding to global warming? *Tijdschrift voor Entomologie* 150: 355-365.
- MONTOYA, S.; CÁRDENAS, R. 1994. Biología de *Hypothenemus hampei* (Ferrari) en frutos de café de diferentes edades. *Revista Cenicafé* 45:5-13.
- PARMESAN, C.; ROOT, T.L.; WILLIG, M.R. 2000. Impacts of extreme weather and climate on terrestrial biota. *Bulletin of the American Meteorological Society* 81: 443-450.
- PARMESAN, C. 2006. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 37: 637-669.
- ROBINET, C.; ROQUES, A. 2010. Direct impacts of recent climate warming on insect populations. *Integrative Zoology* 5: 132- 142.
- ROMERO, J.V. 2003. Evaluación de resistencia por antibiosis a *Hypothenemus hampei* Ferrari (Coleoptera: Scolytidae) en introducciones de café *Coffea* sp. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía, Tesis: Ingeniero Agrónomo, Bogotá, Colombia. 68 p.
- RUIZ, R. 1996. Efecto de la fenología del fruto de café sobre los parámetros de la tabla de vida de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari). Universidad de Caldas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Tesis: Ingeniero Agrónomo, Manizales, Colombia. 87 p.
- RUIZ, L.; BUSTILLO, A.E.; POSADA, F.J.; GONZÁLEZ M, T. 1996. Ciclo de vida de *Hypothenemus hampei* en dos dietas meridicas. *Revista Cenicafé* 47(2):77-84.
- SALAZAR, M. R.; ARCILA, J.; RIAÑO, M.M.; BUSTILLO P., A.E. 1993. Crecimiento y desarrollo del fruto del café y su relación con la broca. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 194: 1-4.
- THOMSON, L.; MACFADYEN, S.; HOFFMANN, A. 2010. Predicting the effects of climate change on natural enemies of agricultural pests. *Biological Control* 52:296-306.
- VARGAS, B. I. 2006. Evaluación de germoplasma de café etiope (*Coffea arábica*) por resistencia a

Hypothenemus hampei (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) en campo y en condiciones controladas. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía, Tesis de maestría: Ingeniero Agrónomo, Bogotá, Colombia. 76 p.

WALTHER, G.R., POST, E., CONVEY, P., MENZEL, A., PARMESAN, C., BEEBEE, T., GULDBERT, O., BAIRLEIN, F. 2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416:389-395.

Phenotypic variability in tolerance to UV- β radiation and heat of entomopathogenic fungi in an ever changing world

Drauzio Eduardo Naretto Rangel

PhD, Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento, Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos, SP, 12244-000 Brazil. Phone: (5512) 3947-1163, drauzio@pq.cnpq.br

122

Abstracts 38º Congresso Socolien

Abstract

The conidial tolerance of entomopathogenic fungi to heat and UV- β radiation is greatly influenced by alterations of the growth-environment. Physical, chemical, and nutritional conditions during mycelial growth can induce great variability in conidial tolerance. For instance, conidia produced on insect cadavers of Lepidoptera and Coleoptera had the lowest conidial tolerance to UV- β radiation; conidia produced on Potato Dextrose Agar medium amended with Yeast extract (PDAY) had medium UV- β tolerance; and conidia produced on Minimal Medium (MM) had the highest UV- β tolerance. It was also found that conidia produced on MM were more heat tolerant than conidia produced on PDAY. Mycelial growth under high osmolarity and alkalinity medium also induced higher conidial tolerance to heat and UV- β radiation. Conidia produced on PDAY medium supplemented with NaCl or KCl induced higher heat tolerance and UV- β tolerance than conidia produced only on PDAY. Conidia produced on Potato Dextrose Broth amended with Yeast extract (PDBY) adjusted to pH 8.04 and pH 9.45 also had higher UV- β tolerance, but not heat tolerance. Osmolarity and alkalinity, however, induced a stress condition in the fungus that reduced conidial production. Physical conditions such as growth under illumination also induced both higher UV- β and heat tolerance but did not decreased conidial production. In conclusion, growth under certain nutritive or physical conditions

induced higher tolerance to UV- β radiation and heat but in some cases the conidial yield was greatly reduced.

Key words: UV- β radiation, thermotolerance, germination, entomopathogenic fungi, *Metarhizium robertsii* (formerly *Metarhizium anisopliae*).

Introduction

Solar ultraviolet radiation and heat are the major factors that harm conidia of insect-pathogenic fungi and diminish its usefulness for biological control of agricultural insect pests. The ultraviolet radiation that reaches earth consists mainly of UV-A radiation (400 - 320 nm) and part of the UV- β radiation (290 - 320 nm). UV- β radiation causes direct DNA damage that can be lethal if the DNA is not repaired. UV-A radiation, on the other hand, generates reactive oxygen species (ROS) such as hydrogen peroxide and singlet oxygen. The ROS are potent cellular oxidizing agents that damage proteins, membrane lipids, and DNA (Friedberg *et al.*, 1995; Griffiths *et al.*, 1998; Imlay, 2003). Both the UV-A and UV- β fractions of solar radiation can damage conidia of insect-pathogenic fungi in a matter of few hours (Braga *et al.*, 2001; Braga *et al.*, 2002; Rangel *et al.*, 2004; Rangel *et al.*, 2006b).

High temperature affects cells in different ways. Wet heat causes protein denaturation (Setlow and Setlow,

1995), membrane disorganization, and inactivation of the respiratory system (CRISAN, 1973). Dry-heat exposure, on the other hand, causes DNA damage and, therefore, microbial death (Nicholson *et al.*, 2000; Setlow and Setlow, 1996). The thermal death of dormant conidia of entomopathogenic fungi may occur after only 2 h of wet-heat exposure at the temperature of 45°C (Rangel *et al.*, 2005). However, conidia survive dry-heat exposure longer, even at higher temperatures (Rangel *et al.*, 2005; Zimmermann, 1982). For example, conidia survived approximately 80% at 65°C at 33% relative humidity for 24 h (Zimmermann, 1982) and 60% at 50°C with a conidial moisture content of 40% for 24 h (Rangel *et al.*, 2005).

This review focuses on the phenotypic variation of the stress tolerance of the insect-pathogenic fungus *Metarhizium robertsii* and how to improve entomopathogenic fungi for the increased UV- β radiation and crescent global warming for use in biological control of insects that are agricultural pests and disease vectors. Do these microorganisms will survive?

The effect of substrate on UV- β tolerance

Different growth substrates induce changes in conidial tolerance of the entomopathogenic fungus *Metarhizium robertsii* to UV- β radiation or other stress conditions (Rangel *et al.*, 2006a; Rangel *et al.*, 2008b; Rangel *et al.*, 2004).

Four levels of UV- β tolerance were found for one isolate of *M. robertsii* (ARSEF 2575). Conidia produced on cadavers of *Zophobas morio* (Coleoptera: Tenebrionidae) had the lowest UV- β tolerance; conidia produced on *Galleria mellonella* (Lepidoptera: Pyralidae)

cadavers had the next-to-lowest tolerance; conidia produced on rich medium Potato Dextrose Agar supplemented with Yeast extract (PDAY) had medium UV- β tolerance; and conidia produced on poor nutritive minimum medium (Czapek's medium without sucrose = MM) had the highest UV- β tolerance (Rangel *et al.*, 2006a; Rangel *et al.*, 2004). This reduced UV- β tolerance of conidia from insect cadavers may be associated with low endogenous trehalose accumulated inside the conidia during conidiogenesis. Magan (2001) found that the levels of endogenous polyols and trehalose accumulated in conidia produced on insect cadavers greatly differed from those polyols and trehalose found accumulated in conidia produced on SDA medium (Sabouraud dextrose agar, containing neopeptone). Conidia produced on SDA medium accumulated higher amounts of trehalose than conidia produced on insect cadavers. This suggested that the levels of polyols and trehalose are changed in relationship to growth substrate.

Culture medium composition also significantly influences increased UV-tolerance of *M. robertsii* (Rangel *et al.*, 2008b) and increased thermotolerance of *Beauveria bassiana* (Ying and Feng, 2006). *M. robertsii* conidia produced on MM, or on MM amended with 3% of non-preferred carbon sources (e.g. arabinose, fructose, galactose, inositol, and lactose) produced conidia two times more tolerant than conidia produced on rich PDAY medium (Rangel *et al.*, 2006a). The high tolerance to UV- β radiation in conidia of *M. robertsii* produced on MM or MM plus 3% lactose was associated with the highest amounts of trehalose and mannitol accumulated in the conidia (Rangel *et al.*, 2006a). In addition to DNA damage, UV- β radiation also causes protein denaturation (Gerhardt *et al.*, 1999; Griffiths *et al.*, 1998). Trehalose prevents protein denaturation (Hottiger

et al., 1994; Singer and Lindquist, 1998) and mannitol protects cells from oxidative damage by scavenging toxic oxygen intermediates (Ruijter *et al.*, 2003). Therefore, the highest accumulation of trehalose and mannitol in conidia produced on MM or conidia produced on MM with a non-preferred carbon source, protected the conidia against UV- β radiation. The increased UV- β tolerance of conidia produced on MM or MM plus a non-preferred carbon source, was counteracted by a trade-off in conidial production, these media produced very low amounts of conidia (Rangel *et al.*, 2006a).

Trehalose and other carbohydrates on stress tolerance

Initially, trehalose was thought to serve only as a reserve substrate (Lillie and Pringle, 1980), but recent studies indicate that this sugar also plays a major role in cell protection against harsh environmental conditions. Trehalose functions as a free radical scavenger *in vivo* and thus protects proteins and other cells constituents from oxidative damage (Benaroudj *et al.*, 2001).

Trehalose is a nonreducing disaccharide (α -D-glucopyranosyl-1,1- α -D-glucopyranoside) present in many prokaryotic and eukaryotic organisms. Cells accumulate trehalose to very high levels (up to 500 mM) in response to high temperatures (Eleutherio *et al.*, 1993; Hottiger *et al.*, 1987; Hottiger *et al.*, 1994). Likewise, cells accumulate trehalose in response to cold shock (Robinson, 2001), freezing (Shima *et al.*, 1999), dehydration (Crowe *et al.*, 1984; Shima *et al.*, 1999), oxygen radicals (Benaroudj *et al.*, 2001), osmotic stress (Hallsworth and Magan, 1994; Harman *et al.*, 1991), carbon starvation (de Pinho

et al., 2001; Parrou *et al.*, 1999), and during stationary phase (Thevelein and de Winde, 1999). Growth of *Saccharomyces cerevisiae* under carbon and nitrogen starvation medium was observed high trehalose accumulation (Parrou *et al.*, 1999). In addition, high levels of trehalose were found in *Aspergillus nidulans* conidia produced under carbon starvation (Fillinger *et al.*, 2001). In conidia of *M. robertsii*, high levels of trehalose and mannitol accumulated were found when the mycelial growth occurred on MM or MM plus 3% lactose (Rangel *et al.*, 2006a). Very high trehalose levels also accumulated in *M. anisopliae* conidia when the fungus was produced on a high osmotic KCL-trehalose medium (Hallsworth and Magan, 1995). However, amounts of trehalose and mannitol in conidia produced under osmotic stress with NaCl or KCl were similar when conidia were produced on MM plus myoinositol (Rangel *et al.*, 2008b).

Conidia with higher accumulations of trehalose and mannitol (e.g. MM or MM plus lactose) also germinated faster than conidia with low amounts of these compounds when produced on PDAY medium (Rangel *et al.*, 2008a). This agrees with Lillie and Pringle that trehalose also serves as a reserve substrate (Lillie and Pringle, 1980).

Mycelial growth under stress induces higher conidial tolerance to UV- β and heat

Environmental stresses activate expression of gene encoding products that either protect the cells from the stress or participate in the repair of cellular damage. Tolerance in fungi can be manipulated by altering physiological or physical conditions before conidiogenesis by exposing the mycelium to one stress leading to the acquisition of conidial

tolerance against another stress (Rangel, 2011). Conidia of *M. robertsii* were produced on mycelia that had been subjected to nutritive; osmotic; and acid and alkalistresses, and the tolerance responses of these conidia to UV- β radiation and heat were tested. Conidia produced under nutritive stress were ca. 50% more tolerant to UV- β radiation and heat than conidia produced on rich medium (PDAY). Conidial production under osmotic stress (NaCl or KCl) also greatly improved conidial tolerance to UV- β radiation and heat (Rangel *et al.*, 2008b). In addition, conidia produced on acid medium (pH 8.04 and 9,45) had higher UV- β tolerance but not heat tolerance.

Thus, some stress treatments improved conidial tolerance but not equally for responses to UV- β irradiation or heat. These findings suggest that some mechanisms for stress tolerance are inducible in the conidia, but that there are differences in the functional components for *M. robertsii*. Conidial yield, however, was too severely reduced by nutritive and osmotic stress.

Mycelial growth under illumination induce higher conidial tolerance to UV- β and heat

Physical conditions of the environment during mycelial growth that may not necessarily be a stress condition might improve the stress tolerance of conidia. For example, *M. robertsii* mycelia grown under continuous visible-light exposure induced significantly higher (almost twofold) conidial tolerance to UV- β radiation and heat. The UV- β and heat tolerance of conidia produced on PDAY under constant visible light was similar to that of conidia produced on MM (nutritive stress). Mycelial growth under

visible light, on the other hand, did not harm conidial yield (Rangel *et al.*, 2011).

Conclusions

High phenotypical plasticity in UV- β and heat tolerance was found in *M. robertsii*. Microbes, therefore, may counteract with the environment and improve themselves against global changes such as increased UV- β irradiance, due to ozone-layer depletion, and rise in temperature, due to increased greenhouse gas emissions.

Acknowledgments

I am indebted to Dr. Donald W. Roberts (Utah State University, Department of Biology, Logan, UT, USA) for his great advice during my PhD studies. I wish to express great appreciation to Alene E. Alder-Rangel who improved the presentation of this manuscript. This work was supported by grants of the Brazilian National Council for Scientific and Technological Development (CNPq) for a PhD fellowship GDE 200382/02-0 and CNPq grants 473104/2008-3 and 478899/2010-6. I also thank the Utah Department of Agriculture and Food for research funds to Dr. Donald W. Roberts and for my post-doctoral position at Utah State University.

Referencias Bibliográficas

- BENAROUDJ, N., LEE, D.H., GOLDBERG, A.L. 2001. Trehalose accumulation during cellular stress protects cells and cellular proteins from damage by oxygen radicals. *Journal of Biological Chemistry* 276, 24261-24267.
- BRAGA, G.U.L., FLINT, S.D., MILLER, C.D., ANDERSON, A.J., ROBERTS, D.W. 2001. Variability in response to

UV- β among species and strains of *Metarhizium anisopliae* isolates from sites at latitudes from 61 |N to 54| S. *J. Invertebr. Pathol.* 78, 98-108.

BRAGA, G.U.L., RANGEL, D.E.N., FLINT, S.D., MILLER, C.D., ANDERSON, A.J., ROBERTS, D.W. 2002. Damage and recovery from UV- β exposure in conidia of the entomopathogens *Verticillium lecanii* and *Aphanocladium album*. *Mycologia* 94, 912-920.

CROWE, J.H., CROWE, L.M., CHAPMAN, D. 1984. Preservation of membranes in anhydrobiotic organisms: the role of trehalose. *Science* 223, 701-703.

DE PINHO, C.A., DE LOURDES, M., POLIZELI, T.M., JORGE, J.A., TERENCEZI, H.F. 2001. Mobilisation of trehalose in mutants of the cyclic AMP signalling pathway, *cr-1* (CRISP-1) and *mcb* (microcycle conidiation), of *Neurospora crassa*. *FEMS Microbiol. Lett.* 199, 85-89.

ELEUTHERIO, E.C., ARAÚJO, P.S., PANEK, A.D. 1993. Role of the trehalose carrier in dehydration resistance of *Saccharomyces cerevisiae*. *Biochim Biophys Acta* 1156, 263-266.

FILLINGER, S., CHAVEROCHE, M.K., VAN DIJCK, P., DE VRIES, R., RUIJTER, G., THEVELEIN, J., D'ENFERT, C. 2001. Trehalose is required for the acquisition of tolerance to a variety of stresses in the filamentous fungus *Aspergillus nidulans*. *Microbiology-Sgm* 147, 1851-1862.

FRIEDBERG, E.C., WALKER, G.C., SIEDE, W. 1995. DNA Repair and Mutagenesis. American Society for Microbiology, Washington.

GERHARDT, K.E., WILSON, M.I., GREENBERG, B.M. 1999. Tryptophan

Photolysis Leads to a UV β -Induced 66 kDa Photoproduct of Ribulose-1,5-Bisphosphate Carboxylase/Oxygenase (Rubisco) In Vitro and In Vivo. *Photochemistry and Photobiology* 70, 49-56.

GRIFFITHS, H.R., MISTRY, P., HERBERT, K.E., LUNEC, J. 1998. Molecular and cellular effects of ultraviolet light-induced genotoxicity. *Crit. Rev. Clin. Lab. Sci.* 35, 189-237.

HALLSWORTH, J.E., MAGAN, N. 1994. Improved biological control by changing polyols/trehalose in conidia of entomopathogens. Brighton Crop Protection Conference - Pests and Diseases 8D, 1091-1096.

HALLSWORTH, J.E., MAGAN, N. 1995. Manipulation of intracellular glycerol and erythritol enhances germination of conidia at low water availability. *Microbiology* 141, 1109-1115.

HARMAN, G.E., JIN, X., STASZ, T.E., PERUZZOTTI, G., LEOPOLD, A.C., TAYLOR, A.G. 1991. Production of conidial biomass of *Trichoderma harzianum* for biological control. *Biol. Control* 1, 23-28.

HOTTIGER, T., BOLLER, T., WIEMKEN, A. 1987. Rapid changes of heat and desiccation tolerance correlated with changes of trehalose content in *Saccharomyces cerevisiae* cells subjected to temperature shifts. *FEBS Lett.* 220, 113-115.

HOTTIGER, T., DE VIRGILIO, C., HALL, M.N., BOLLER, T., WIEMKEN, A. 1994. The role of trehalose synthesis for the acquisition of thermotolerance in yeast. II. Physiological concentrations of trehalose increase the thermal stability of proteins in vitro. *Eur. J. Biochem.* 219, 187-193.

Virus entomopatógenos y cambio climático

Laura Fernanda Villamizar Rivero

Ph.D. Ciencias Farmacéuticas. Laboratorio de Control Biológico, Centro de Biotecnología y Bioindustria, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - Corpoica, Km 14 vía Mosquera, Bogotá, lvillamizar@corpoica.org.co

Resumen

Los virus entomopatógenos son agentes de control biológico muy importantes en la implementación de programas de Manejo Integrado de Plagas. Se caracterizan por ser altamente específicos e infecciosos y no poderse propagar en medios artificiales. Han sido aislados de especies de los órdenes: Lepidoptera, Hymenoptera, Diptera, Coleoptera, Orthoptera, Hemiptera, Neuroptera y Trichoptera y se clasifican según su estructura, tipo de ácido nucleico, morfología, presencia o ausencia de una envoltura que rodea a la partícula y según sus insectos hospederos. Son susceptibles a diferentes condiciones ambientales, siendo las más limitantes la temperatura y la radiación ultravioleta del sol. Las especies más tolerantes a estos factores abióticos, son aquellas que forman cuerpos de inclusión protéicos que les brindan protección. Sin embargo, factores asociados al cambio climático como el aumento de la temperatura y de la radiación ultravioleta que llega a la superficie terrestre e inclusive la variación en el reparto de las precipitaciones podrían modificar el hábitat de diferentes virus, aumentando o disminuyendo su distribución. Cambios en la distribución, abundancia y diversidad de los insectos en consecuencia del cambio climático, también tienen un impacto en la población de sus patógenos y particularmente en los virus, por ser éstos patógenos obligados. Adicionalmente, la temperatura y la radiación afectan a los virus fuera de su hospedero inactivándolos rápidamente, así que la intensificación de estos factores

abióticos modificarán la persistencia viral en el ambiente. Este hecho podría disminuir la regulación natural que los virus ejercen sobre las poblaciones de insectos y generar problemas importantes para agricultura.

Introducción

Actualmente, la población mundial depende de los productos agrícolas para su subsistencia, y poco más de una docena de cultivos constituyen alimentos básicos en determinados países. Esto da idea de la importancia de este sector y la necesidad de contar con métodos que garanticen el control de las plagas, al tratarse de una fuente de abastecimiento vital para gran parte de la humanidad. Sin embargo, más de un 14% de las cosechas anuales se pierden en todo el mundo por efecto de los insectos plaga y las enfermedades (Echenique *et al.*, 2004).

Para hacer frente al desafío que suponen los insectos plaga y las enfermedades para la agricultura mundial, se han desarrollado métodos de carácter químico y biológico. En este sentido, el uso de insecticidas de síntesis en el mundo representa cuantiosas inversiones económicas. Las pérdidas en cosechas debidas a los insectos sumado al costo de los productos químicos representan una inversión mundial de unos tres billones de dólares anuales (Echenique *et al.*, 2004).

Además de los elevados costos de esta

herramienta de control, es importante destacar que los plaguicidas químicos han dramatizado en forma espectacular el problema de plagas, originando resistencia, brotes de plagas primarias o secundarias, debido a la eliminación de los parasitoides y depredadores, y contaminando o alterando el medio ambiente a través de acumulación de plaguicidas en el suelo, agua, aire y sobre residuos agrícolas o animales (Fuenmayor y Sayazo, 1996). Adicionalmente, muchos insecticidas convencionales afectan el sistema nervioso del insecto, que tiene funciones similares a las del hombre o al de otros animales, lo que representa riesgos importantes para la salud humana, causando neurotoxicidad retardada y afectando las funciones mentales y visuales (Eyer, 1995).

La búsqueda de alternativas al control químico de los insectos plaga, ha dirigido a los agricultores, técnicos, comerciantes y científicos hacia el control biológico, que cuenta con diversas herramientas dentro de las que se destaca el control microbiano basado en la utilización de microorganismos que causan enfermedades en los insectos. Dentro de estos patógenos se han utilizado cinco grupos: bacterias, virus, hongos, nemátodos y protozoarios, siendo las bacterias los organismos más utilizados a nivel mundial, principalmente por ser los más fáciles de producir a escala industrial (Del Rincón, 2010).

Algunos años atrás, los virus entomopatógenos representaban el segundo agente de control microbiano. Sin embargo, su uso como bioinsecticida ha decaído considerablemente, posiblemente debido los dispendiosos y costosos sistemas requeridos para su producción. A pesar de esto, los virus siguen siendo una herramienta con alto potencial para el control de insectos plaga, considerando cualidades como la

alta especificidad, su biodegradabilidad y ningún riesgo para la salud de animales y el hombre.

Antecedentes históricos

Aunque los virus se conocen desde hace muchos años, sólo hasta la segunda década del siglo XV, fue cuando se reconocieron las virosis en la clase insecta. Las primeras enfermedades ocasionadas por virus fueron encontradas por los Chinos en crías de gusano de seda y en la abeja *Apis mellifera* (Linnaeus, 1758) (Hymenoptera: Apidae) (Tinsley y Kelly, 1985). Dicha enfermedad observada en el gusano de seda recibió nombres como "ictericia" "grasserie" "giallume", "gelbsucht" (Steinhaus, 1949b). Algunos virus pueden presentar cuerpos de inclusión (CI) protéicos y los primeros en investigarlos fueron Maestri y Comalia en 1856, quienes relacionaron la presencia de estas estructuras con el colapso de una población de gusanos de seda que presentaban la enfermedad (Faulkner, 1981). Paillot en 1926 describió por primera vez un granulovirus (GV) y la enfermedad recibió el nombre de granulosis debido a la presencia de pequeños gránulos (Steinhaus, 1949a). Posteriormente Ishimori en 1934 describió por primera vez un virus de la poliedrosis en el gusano de seda, el cual más tarde se conocería como virus de la poliedrosis citoplasmática (VPC) (Ibarra y Del Rincón, 1998).

Luego Pergold en 1947 confirmó la existencia de nucleocápsides con forma de bastón dentro de los CI's de baculovirus del tipo de la poliedrosis nuclear (NPV) mediante microscopía electrónica (Mazzone, 1985). El primer insecticida viral fue el ELCAR, elaborado a partir del NPV de *Helicoverpa zea* (Boddie, 1850) (Lepidoptera: Noctuidae) (Ibarra y Del Rincón, 1998). En

Colombia fue usado entre 1970 y 1973 el Trichovirus, un virus NPV para el control de la plaga *Trichoplusia ni* (Hübner, 1803) (Lepidoptera: Noctuidae), insecto polífago de amplia dispersión en zonas algodonerías. El control ejercido por dicho NPV fue tan eficiente que en pocos años desapareció casi completamente el insecto (Rodríguez, 1992).

De 1970 a 1985, se realizaron importantes avances en el entendimiento y la genética de los virus entomopatógenos. Se determinó el papel de los viriones no ocluidos de los baculovirus durante el ciclo de infección, lo que permitió realizar los primeros ensayos de purificación en placa. A finales de los 70's, se iniciaron los primeros trabajos con virus recombinantes, lo que condujo al uso extensivo de los baculovirus como vectores de expresión en el campo biomédico (Del Rincón, 2010).

Clasificación de los virus entomopatógenos

La clasificación de los virus patógenos de insectos ha cambiado con el paso del tiempo. Inicialmente los virus se agruparon de acuerdo con la presencia o ausencia de CI's y por la morfología del virión y después se utilizaron otros criterios como el grupo de hospederos y el tipo de tejido afectado. Actualmente los virus entomopatógenos se clasifican de acuerdo a las consideraciones que se tienen para clasificar los virus de animales, dentro de las cuales se pueden citar: el tipo de ácido nucleico, la morfología de la partícula, la simetría de las sub-unidades de la cubierta de proteína, la presencia o ausencia de una envoltura que rodea a la partícula y el tamaño de la partícula (Rodríguez, 1992; Ibarra y Del Rincón, 1998). La clasificación y características generales de los virus entomopatógenos se presenta en la tabla 1.

Descripción de las familias de entomovirus con mayor potencial para el control biológico de insectos plaga

• Ascoviridae

Los virus de la familia Ascoviridae son virus ADN de doble cadena, con viriones de forma baciliforme (Federici *et al.*, 2009). Estos virus son transmitidos por avispas parasitoides a las larvas y pupas de lepidópteros, principalmente de la familia Noctuidae, causando una prolongada pero fatal enfermedad (Federici y Govindarajan, 1990; Cheng *et al.*, 2000). El desarrollo de la larva es atrofiado por la infección viral, modificándose la muerte celular programada o apoptosis (Bideshi *et al.*, 2010), lo que favorece la replicación del virus y la formación de grandes vesículas llenas de viriones que circulan libremente por la hemolinfa del insecto infectado (Caballero y Williams, 2008).

El ciclo de infección empieza por el mantenimiento y diseminación de las partículas virales en el insecto infectado, seguido la transmisión a nuevos hospederos, a través de hembras de avispas parasitoides que contaminan su ovipositor al introducirlo en las larvas infectadas. Después, estas hembras contaminadas continúan diseminando el virus horizontalmente a nuevos hospederos con una eficiencia del 80% (Bideshi *et al.*, 2010). Dicho mecanismo es muy eficiente en campo, por lo que estos virus pueden ser un importante componente del complejo de enemigos naturales en poblaciones de lepidópteros plaga. Sin embargo su lenta progresión y la ausencia de síntomas de infección viral de fácil reconocimiento, han limitado su uso como bioinsecticidas (Caballero y Williams, 2008).

- **Iridoviridae**

Se clasifican en cinco géneros, dos de los cuales son específicos de invertebrados (Iridovirus y Chloriridovirus). Estos virus no forman CIs y sus viriones están envueltos (Del Rincón, 2010). Los virus de esta familia poseen DNA de doble cadena, presentan una partícula viral grande (125-300 nm) de forma icosaédrica y tienen la particularidad de presentar iridiscencia, por el arreglo cristalino de sus viriones en el citoplasma de las células infectadas. Es por esto que los tejidos de los insectos enfermos presentan apariencia iridiscente de diferentes colores (violeta, azul, naranja o verde). Se transmiten por ingestión y se replican en el cuerpo graso de los insectos enfermos, en ocasiones pueden hallarse en las células sanguíneas epidérmicas y en el tejido embrionario, se localizan en el citoplasma celular (Rodríguez, 1992).

- **Baculoviridae**

La familia Baculoviridae es la más numerosa y ampliamente estudiada de todos los grupos de virus patógenos de insectos, los cuales han sido exitosamente utilizados para el control de insectos de importancia agrícola (Kelly, 1982; Moscardi, 1999).

Según la forma y estructura de los CIs se clasifican en nucleopoliedrovirus (NPV) y granulovirus (GV). Los NPVs se caracterizan por su forma poliedral y por tener múltiples viriones por cuerpo de inclusión (CI) que a su vez pueden tener una o varias nucleocápsides, por lo que se clasifican en SNPV (simples) o MNPV (múltiples) (Caballero *et al.*, 2001; Kelly, 1982). Estos virus se replican en el núcleo de las células de varios tejidos (poliorganotrópicos), incluida la epidermis de las larvas

infectas en donde se producen millones de partículas virales que son diseminadas al medio después de la muerte del insecto. En cambio los GVs se caracterizan por su forma granular y por tener viriones de tipo simple, los cuales están incluidos individualmente en los CI y su patología es muy similar a la ocasionada por los NPVs según el tipo de aislamiento (Possee *et al.*, 2010).

Estos virus tienen una molécula de ADN circular superenrollado envuelto por proteínas compuestas de subunidades denominadas capsómeros, los cuales forman una capa denominada cápside. Uno o más nucleocápsides están envueltas por una membrana que normalmente está constituida de material celular del hospedero. El conjunto compuesto por la envoltura y la nucleocápside se conoce como virión y es la unidad infectiva del virus. Los viriones tienen forma baciliforme y están envueltos en una matriz proteica; a todo este conjunto, se conoce como cuerpo de inclusión (Caballero y Williams, 2008).

Los baculovirus se dividen en cuatro grupos filogenéticos: los NPVs y GVs que infectan insectos del orden Lepidoptera denominados Alpha y Betabaculovirus respectivamente y los NPVs que infectan insectos de los órdenes Himenoptera y Diptera denominados Gamma y Deltabaculovirus respectivamente (Rohrmann, 2011).

Los baculovirus contaminan a los insectos por vía oral. Después de la ingestión los CIs que contienen los viriones se disuelven en condiciones alcalinas (pH > 7.5) del intestino medio y liberan los viriones, que infectan a las células epiteliales del intestino y posteriormente otros tejidos susceptibles del hospedero, donde

el virus continúa su reproducción y multiplicación. Los tejidos del cuerpo graso, epidermis del intestino, hemocitos, tráqueas y glándulas de seda, también son afectados. Las larvas infectadas se tornan lentas en sus movimientos, dejan de alimentarse y se paralizan. Se pueden observar las larvas enfermas en las partes superiores de las plantas pendiendo con la parte cefálica hacia abajo y adheridas de las pseudopatas anales. El integumento se vuelve blando y de color pardo o negro, los tejidos internos se licuan, quedando la larva como una bolsa líquida (Ibarra y Del Rincón, 1998).

- **Poxviridae**

Virus ADN de doble cadena que comprenden dos subfamilias: la Entomopoxvirinae y la Chordopoxvirinae. La primera de ellas comprende a los entomopoxvirus patógenos de insectos, que se caracterizan por formar CIs ovoidales conocidos como esferoides, que contienen viriones de tipo esferoide que se replican en el citoplasma de las células infectadas, utilizando los hemocitos para diseminarse por todos los tejidos de la larva (Del Rincón, 2010). Estos CIs les proveen protección de ciertas condiciones ambientales como la luz UV, el calor y la desecación entre otros. Los CIs se disuelven en el intestino medio por el pH alcalino y por la acción de proteasas, liberando las partículas infectivas que ingresan a las células intestinales por fusión y que se replican en el citoplasma de las mismas. Al final del proceso infeccioso se producen nuevas partículas virales que infectan otros tejidos susceptibles y se convierten en la fuente de nuevas infecciones (Perera *et al.*, 2010).

Las larvas de lepidopteros infectadas

se hinchan y adquieren una apariencia blancuzca. Su muerte puede ocurrir a los 12 días o retrasarse hasta más de 70 días después de haberse iniciado la infección. En coleopteros, el desarrollo de la infección es aún más lento. Los EPVs aislados de algunas especies de insectos plaga, sobre todo para los que no hay baculovirus descritos, podrían ser utilizados como agentes de control biológico una vez mejoradas sus propiedades insecticidas, en cuanto a su virulencia o tiempo letal (Caballero y Williams, 2008).

- **Polydnaviridae**

Los virus de la familia Polydnaviridae sólo han sido aislados de especies de parasitoides braconídeos (Bracovirus) e ichneumonídeos (Ichnovirus) (ICTV, 2009). Los polidnavirus (PDV) se caracterizan por ser virus simbióticos ADN de doble cadena, de genoma segmentado (Federici y Bigot 2003, Strand, 2010). Estos virus se encuentran integrados en el genoma cromosómico de la avispa y se separan cuando el insecto está a punto de alcanzar el estado adulto. Cuando el parasitoide inyecta los huevos con el ovopositor, los virus también pasan al hospedero y suprimen su sistema inmune impidiendo que los hemocitos (granulocitos y plasmátocitos) encapsulen los huevos o las larvas de la avispa, ya sea mediante la alteración de las propiedades adhesivas de las células defensiva o induciendo su ruptura (Rodríguez y Beckage, 2006).

El proceso de replicación del PDV se lleva a cabo únicamente en el ovario de la avispa. En el momento en que el parasitoide emerge del hospedero como larva de tercer estadio, ésta contiene muchos viriones en las células del cáliz del ovario. Los núcleos de las células del cáliz contienen los

viriones en replicación. La célula se rompe y los viriones son liberados en el lumen. Como consecuencia, el fluido del cáliz se llena de viriones. El mecanismo de replicación del virus no se conoce bien, pero se requiere como molde, el cromosoma de la célula del cáliz del parasitoide de donde se escinde el genoma del PDV (Rodríguez y Beckage, 2006). Cuando la hembra del parasitoide oviposita en un insecto hospedero, el virus es transferido junto con los huevos para suprimir el sistema inmune del huésped y para generar alteraciones en el crecimiento y desarrollo de éste, que favorecen la supervivencia del huevo de la larva del parasitoide y la progenie viral se desarrolla dentro del hemocele del hospedero (Strand, 2010). En las larvas de los hospederos infectadas con un polidnavirus se disminuye el crecimiento y se observa una alteración de las proteínas, aminoácidos y hormonas de la hemolinfa, así como la alteración de los procesos de melanización y en capsulación (Shelby y Webb, 1999).

- **Reoviridae**

La familia Reoviridae está compuesta por virus ARN de doble cadena, que se caracterizan por tener viriones con forma icosaédrica incluidos dentro de cuerpos de inclusión poliedrales (Renault *et al.*, 2005). Los reovirus de insectos se clasifican dentro de los géneros cypovirus e idnoreovirus, siendo los primeros los más estudiados y de mayor interés (Caballero y Williams, 2008; ICTV, 2009). Los cypovirus se caracterizan porque sus partículas infecciosas están incluidas dentro de un CI que tiene forma poliedral similar a la de los NPVs, pero que se diferencian de éstos porque su morfogénesis ocurre en el citoplasma y no el núcleo de las células infectadas,

por lo que se les denomina como virus de la poliedrosis citoplasmática. (Caballero y Williams, 2008; Mori y Metcalf, 2010). Las partículas virales ingresan por vía oral e infectan células epiteliales del intestino medio de los insectos, produciendo nuevos viriones y cuerpos de inclusión que se excreta en las heces (Renault *et al.*, 2005). En el control de plagas tienen poca efectividad debido a que la progresión de la enfermedad puede ser bastante lenta, aunque normalmente fatal. Además de diseminarse por las heces, se presenta contaminación de huevos o transmisión transovárica (Caballero y Williams, 2008).

Factores ambientales que afectan la persistencia de los virus entomopatógenos

Persistencia viral es el término para describir la capacidad de un virus, para mantener su infectividad en un escenario determinado. La persistencia de los virus así como de otros agentes microbianos de control biológico en el medio ambiente se ve influenciada por diferentes factores abióticos como: la temperatura, la humedad y la radiación solar entre otros, pudiendo persistir entre horas hasta décadas dependiendo de su estructura y de las condiciones ambientales (Bosch *et al.*, 2006).

Son numerosos los factores químicos, físicos y biológicos que determinan la persistencia o estabilidad de los virus en el ambiente y los más importantes se resumen en la tabla 2.

Por ejemplo, algunas investigaciones de campo han demostrado que la persistencia de los virus en los sistemas acuáticos y terrestres es mayor cuando el virus se asocia a partículas inorgánicas de origen natural, tales como la arcilla y los

sedimentos. El mecanismo por el cual la materia orgánica influye en la adsorción del virus a las partículas no está bien definido, probablemente porque en la mayoría de los estudios se han utilizado productos orgánicos heterogéneos (por ejemplo, las aguas residuales) o compuestos orgánicos con propiedades biofísicas. Sin embargo, los resultados de estos estudios indican que la persistencia de reovirus puede variar según el tipo de materia orgánica y mineral de la arcilla con la que el virus entra en contacto (Lipsont y Stotzky, 1984).

Los cypovirus y los baculovirus son notoriamente difíciles de erradicar porque las partículas virales están incrustadas en cristales de proteínas o cuerpos de inclusión y la notable estabilidad de los CIs significa que, al igual que las esporas bacterianas, los virus de insectos pueden seguir siendo infecciosos durante algún tiempo en reservorios como el suelo (Coulibaly *et al.*, 2007).

Los factores ambientales más limitantes para la persistencia viral son la temperatura y la radiación ultravioleta:

Temperatura

El efecto del calor sobre los virus depende del tiempo de exposición y la temperatura y provoca desnaturalización de proteínas, fusión y desorganización de las membranas y/o procesos oxidantes irreversibles. El efecto de la temperatura también se ve influenciado por la presencia de humedad, siendo mayor en presencia de agua, ya que ésta permite que se altere con mayor facilidad la configuración de las proteínas y proporciona un medio para distribuir el calor uniformemente (Romero, 2001).

Temperaturas exageradamente elevadas pueden inactivar a los virus antes de que éstos alcancen su hospedero, además aceleran la muerte del insecto infectado

disminuyendo la productividad del virus y de esta forma el inóculo disponible para infectar otros individuos (Caballero *et al.*, 2001).

Por ejemplo en el trabajo de Marina *et al.* (2000) se determinó que la dosis infectiva media (DI_{50}) de un virus iridiscente de invertebrados aislado de *Chilo suppressalis* (Lepidoptera: Pyralidae) presentó una disminución constante de la infectividad en el tiempo, cuando fue expuesto a temperaturas entre 4°C y 25°C durante 50 días. La tasa de inactivación aumentó con el incremento de la temperatura. Cincuenta días después del inicio del experimento, la infectividad de las preparaciones de virus disminuyó aproximadamente un orden de magnitud.

Radiación ultravioleta

La región del espectro solar comprendida entre 100 y 400 nm es conocida como radiación ultravioleta (UV), la que se divide en tres tipos: UVA (400-320 nm), UVB (320-290) y UVC (290-100 nm). La radiación solar, incluyendo la luz UV, juega diversos roles en la vida de los microorganismos, tanto positivos como negativos. Este factor reduce la sobrevivencia de hongos, bacteria y virus. La radiación UV induce efectos negativos como consecuencia de su acción sobre diversas moléculas: porfirinas, carotenoides, esteroides, quinonas, proteínas y ácidos nucleicos. El ADN expuesto a la radiación UV puede sufrir lesiones directas e indirectas. El daño directo resulta de la formación de fotoproductos tales como dímeros de pirimidinas (aparición de enlaces covalentes entre bases pirimidínicas adyacentes: citosina-citosina o citosina-timina), hidratos de pirimidina y entrecruzamientos entre ADN y proteínas. El daño indirecto se debe principalmente a la aparición de especies de oxígeno

reactivo (peróxido de hidrógeno, oxígeno singlete y radicales hidroxilos) que oxidan la pentosa presente en el ADN y rompen la hebra de la molécula. Ambos tipos de daño interfieren en la replicación normal del ADN, dependiendo de la cantidad de energía recibida (Devotto y Gerding, 2003).

El principal daño que produce la radiación ultravioleta sobre el ADN viral es la generación de dos tipos de dímeros de pirimidina: dímeros de pirimidin-ciclobutano y pirimidin-pirimidona (Friedberg *et al.*, 1995).

Otros autores han atribuido el efecto deletéreo de la radiación ultravioleta a la fotooxidación de uno o más aminoácidos como el triptófano, lo que produce altas cantidades de peróxido de hidrógeno, afectando negativamente los agentes de biocontrol (Ignoffo *et al.*, 1977).

Los virus ocluidos y no ocluidos expuestos a la radiación ultravioleta son rápidamente inactivados, siendo su vida media de pocas horas, como se observa en la Tabla 3 (Young, 2008).

El cambio climático y su influencia en la persistencia viral

Se llama cambio climático a la modificación del clima con respecto al historial climático a una escala global o regional. Tales cambios se producen a muy diversas escalas de tiempo y sobre todos en los parámetros climáticos, temperatura, precipitaciones y nubosidad. En teoría, son debidos tanto a causas naturales, como antropogénicas y el más notorio es el calentamiento global (Alley, 2007).

- **El calentamiento global**

El calentamiento global es un término

utilizado para referirse al fenómeno del aumento de la temperatura media global, de la atmósfera terrestre y de los océanos, cambio que se ha acentuado en las últimas décadas del siglo XX y la primera del XXI (Alley, 2007).

La principal causa del calentamiento global es el efecto de los gases invernaderos siendo el CO₂ generado por la quema de combustibles fósiles, el más importante. Este gas emitido a la atmósfera forma un manto alrededor de la tierra, evitando que la radiación que llega a ésta sea reflejada y en consecuencia causando una acumulación de radiación que aumenta la temperatura en la superficie terrestre (Gribbin *et al.*, 1988).

Existe un efecto invernadero natural que estabiliza el clima de la Tierra, el cual no es cuestión de debate. Sin este efecto natural las temperaturas caerían aproximadamente en 30°C, los océanos podrían congelarse y la vida como la conocemos sería imposible. Para que este efecto se produzca, son necesarios los gases de efecto invernadero, pero en proporciones adecuadas. La preocupación actual está relacionada con el aumento de esa proporción, que causa un aumento de la temperatura en la atmósfera baja (Baird, 2001).

El aumento de la temperatura no sigue una ley lineal, sino que presenta fluctuaciones debidas a procesos y la variabilidad natural, por lo que el proceso de calentamiento podría sufrir un aceleramiento repentino, capaz de desencadenar cambios bruscos, anómalos y caóticos de temperatura, así como tormentas, huracanes y sequías, que podrían no ser fácilmente reversibles posteriormente (Alley, 2007).

El aumento de la temperatura del planeta puede afectar la persistencia de los virus entomopatógenos desde dos puntos de vista, puede generar efectos directos sobre las partículas virales y el desarrollo de la enfermedad o puede causar efectos indirectos debido a su impacto sobre las poblaciones de los insectos hospederos.

Efectos directos: El incremento en la temperatura debido al calentamiento global del planeta, tiene sin duda un efecto negativo en la persistencia de los virus entomopatógenos en el ambiente; siendo éste más drástico sobre aquellas familias de virus que no presentan la formación de cuerpos de inclusión protéicos, los cuales le brindan protección al virión frente a diferentes factores físicos y químicos.

La temperatura afecta dos aspectos de la enfermedad en una población de insectos: la supervivencia del patógeno fuera del hospedero y el desarrollo de la enfermedad en individuos infectados (Caballero *et al.*, 2001). Temperaturas extremadamente altas pueden inactivar las partículas virales antes de que éstas infecten a su hospedero (Fuxa, 1995), o reducir la susceptibilidad del insecto a la infección al reducir la actividad de los insectos o generando menor adsorción o penetración del virus en las células (Benz, 1987). Además la temperatura puede acelerar la muerte del insecto infectado, disminuyendo la productividad viral y en consecuencia reduciendo el inóculo liberado al ambiente para la transmisión a otros individuos susceptibles (Entwistle y Evans, 1985 citado por Caballero *et al.*, 2001).

Este efecto de la temperatura en el desarrollo de la enfermedad fue evidenciado en el trabajo de Riveiro y Pavan (1994), en el que evaluaron

el desarrollo de la infección de cuatro cepas de virus de la poliedrosis nuclear (NPV) en larvas de tercer estadio de *Diatraea saccharalis* (Fabricius, 1794) (Lepidoptera: Crambidae) a diez temperaturas diferentes. Dos cepas silvestres una de *Anticarsia gemmatalis* (Hübner, 1818) (Lepidoptera: Noctuidae) (AgMNPV) y otra de *Trichoplusia ni* (TnMNPV), y dos cepas seleccionadas, AgMNPV D10 y D11-TnMNPV se inocularon en larvas de 11 días de edad de *D. saccharalis* y se mantuvieron a temperaturas de 17, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 35, 37 y 39°C. Los resultados mostraron que la mortalidad de larvas se incrementó con la temperatura y el aumento de temperatura también redujo el tiempo letal medio (TL₅₀). La producción de poliedros máxima se obtuvo a 28°C para las cuatro cepas de virus y una reducción drástica en el número de poliedros se observó con una diferencia de 2°C por encima o por debajo de esta temperatura ideal.

Efectos indirectos: Los cambios en la temperatura afectan la distribución de la fauna del planeta y en consecuencia la distribución de sus patógenos. El cuerpo de los insectos tiene normalmente la temperatura del ambiente, por lo que cambios en dicho factor definen el comportamiento, la distribución, la sobrevivencia y la reproducción de los mismos. Varios autores consideran que un aumento en la temperatura puede causar una disminución en la población, pero otros consideran que puede resultar en un incremento de las mismas (Bale *et al.*, 2002).

Para las plagas de insectos que producen una generación anual (univoltina) o su desarrollo tiene una duración de varios años, o el número de generaciones es limitado por el

fotoperíodo, la mayoría de los hechos permanecen sin alteración por el cambio climático. Las especies con dos o más generaciones por año, poco a poco pueden adaptarse a las nuevas condiciones climáticas sin mostrar cambios apreciables en su desarrollo (Bale *et al.*, 2002). La mortalidad invernal suele ser un factor clave para la dinámica de la población de muchos insectos templados, especialmente los que no entran en diapausa, sino que continúan su actividad durante todo el invierno. Las temperaturas más altas en el invierno o la primavera son susceptibles de estimular la reproducción de los adultos y de esta manera potencian el crecimiento poblacional más rápido y una generación adicional en algunas plagas de insectos (Harrington *et al.*, 2001). Aunque la mayoría de la literatura tiende a enfatizar los incrementos inducidos por el clima en la abundancia de la población de insectos, es lógico que el cambio climático también pueda reducir la abundancia de insectos en algunos aspectos. Por ejemplo, muchos insectos que pasan el invierno en la hojarasca del bosque pueden tener mayores tasas de mortalidad debido a que la profundidad de la nieve disminuyó (Ayres y Lombardero, 2000).

Teniendo en cuenta que los virus son parásitos obligados, cuya supervivencia depende a su vez de la supervivencia y la densidad de población de la especie hospedera, podemos sugerir que el calentamiento global puede afectar su distribución y abundancia, ya que si la población del insecto hospedero disminuye, posiblemente la población viral también disminuirá y viceversa.

Cuando el número de insectos hospederos es abundante, los virus tienen mayor probabilidad de infectar

individuos susceptibles y multiplicarse en ellos, liberando nuevas partículas virales al ambiente, lo que favorece la transmisión horizontal, que es dependiente de la densidad de población del hospedero, su comportamiento y su susceptibilidad a la infección (Caballero *et al.*, 2001)

• **Incremento en la radiación solar que llega a la superficie terrestre**

La cantidad de radiación que emite el sol durante los momentos de baja actividad se incrementó desde los años 70 en casi un 0,05% por década y los registros históricos indican que este incremento data desde finales del siglo XIX, por lo que la Tierra podría afrontar un sustancial cambio climático de continuar esta tendencia (NASA 2003).

Diferentes factores determinan la cantidad de radiación ultravioleta que llega a la superficie terrestre, entre las que se destacan la nubosidad, la capa de ozono y la presencia de aerosoles en la troposfera, como el polvo y el humo que pueden absorber la radiación ultravioleta tipo B. Sin embargo, el incremento en la radiación solar sumado al deterioro de la capa de ozono, ha conducido a un aumento la cantidad de radiación ultravioleta que alcanza la superficie del planeta (NASA, 2003).

Este aumento en la intensidad de radiación ultravioleta proveniente del sol que llega a la troposfera puede tener un impacto negativo en la persistencia de los virus entomopatógenos, ya que como se explicó anteriormente, esta radiación altera las proteínas y ácidos nucleicos de las partículas virales que se encuentran en la superficie foliar y del suelo, generando su inactivación.

El tiempo para la inactivación de un virus depende de la estructura de la partícula viral, la protección vegetal, las características del suelo y la nubosidad. Según Ignoffo *et al.* (1977), los baculovirus son rápidamente inactivados (<24 horas) cuando son expuestos directamente a la luz del sol, o pueden persistir hasta seis meses en condiciones de sombra.

Los virus entomopatógenos más resistentes al efecto de la radiación ultravioleta son los que forman cuerpos de inclusión y dentro de éstos Ignoffo *et al.* (1977) propusieron la siguiente escala de sensibilidad: entomopoxvirus (más resistente) > nucleopoliedrovirus y cipo virus > granulovirus (más susceptibles).

Consideraciones finales

El cambio climático es lamentablemente una realidad y está teniendo un impacto importante sobre el equilibrio de los ecosistemas a todo nivel. El aumento en la temperatura, la radiación solar, las lluvias y la modificación en la composición del suelo afectan a todos los organismos del planeta incluyendo a los insectos y sus patógenos. Las densidades de población, la distribución espacial y el comportamiento de los insectos ha cambiado y seguirá cambiando conjuntamente con el clima, por lo que la diversidad y abundancia de los virus entomopatógenos también será diferente con el tiempo, teniendo en cuenta que estos organismos dependen íntimamente de la presencia de sus hospederos.

Adicionalmente, el cambio climático global también afecta la persistencia de los virus fuera de sus hospederos, ya que éstos son inactivados por factores abióticos como la temperatura y la luz solar. Los virus fuera de sus hospederos

son partículas inertes y su posibilidad de pasar de un hospedero a otro depende en gran medida de su robustez, la cual les permite mantenerse infecciosos a pesar de las drásticas condiciones que se puedan presentar en el ambiente.

Una herramienta para mejorar la persistencia de los virus entomopatógenos empleados para el control de plagas y hacerlos más tolerantes al ambiente a pesar de los cambios en el clima, es el desarrollo de formulaciones que mejoren la tolerancia a las altas temperaturas y que brinden protección frente a la radiación ultravioleta del sol. Sin embargo, la formulación favorecerá la persistencia del inóculo aplicado artificialmente en el campo, pero no el de la progenie viral. Para este caso, podría trabajarse con ingeniería genética, en la modificación de los virus con genes que les permitan ser más tolerantes a estos dos factores ambientales tan limitantes.

El cambio climático ha generado más atención en la población mundial durante los últimos años en los que éste ha sido más notorio. Sin embargo, es muy poco lo que se sabe acerca de su impacto sobre la biología y ecología de los insectos y sus organismos patógenos. Predecir dicho impacto es muy complicado, debido a que depende de la interacción de factores ambientales (biológicos y físicos), plantas hospederas, insectos hospederos y virus patógenos de insectos entre otros. Por esto, no es adecuado hacer conjeturas sobre el impacto del impredecible cambio del clima sobre los organismos, basados en estudios limitados al efecto de un solo factor. Solamente cuando la situación de los insectos y sus patógenos en el ambiente, sometido a un cambio drástico de las condiciones climáticas sea completamente entendida, podremos proponer tácticas de control o manejo de la situación.

Tabla 1. Características de las familias y géneros de los virus entomopatógenos (Cory y Evans, 2007; Caballero y Williams, 2008; Rohrmann, 2008).

Familia (Subfamilia) Género	Ácido nucleico ^a	Cuerpo de inclusión	Virión envuelto	Forma del virión	Hospederos ^b	Sitio de replicación
Ascoviridae <i>Ascovirus</i>	csADN	No	Si	Baciliforme ovoide	u L, Hy	Núcleo: Cuerpo graso, hipodermis y matriz traqueal
Baculoviridae <i>Alphabaculovirus</i> <i>Betabaculovirus</i> <i>Deltabaculovirus</i> <i>Gammabaculovirus</i>	cdADN	Si Si Si Si	Si Si Si Si	Baciliforme	L L D Hy	Núcleo: Intestino medio o infección sistémica
Iridoviridae <i>Chloriridovirus</i> <i>Iridovirus</i>	cdADN	No No	No No	Icosahédrica	C, D, He, L, O, Tr D	Citoplasma: Cuerpo graso, hemocitos, hipodermis, algunas veces sistémica
Hytrosaviridae <i>Hytrosavirus</i>	cdADN	No	Si	Baciliforme	D	Núcleo: Glándula salivar
Nudiviridae <i>Nudivirus</i>	cdADN	No	Si	Baciliforme	L, C	Núcleo: Intestino medio o infección sistémica
Parvoviridae (Densovirinae) <i>Brevidensovirus</i> <i>Densovirus</i> <i>Iteravirus</i> <i>Pefudensovirus</i>	csADN	No No No No	No No No No	Redondeada	L, D L, D, O, Od L Di, L, D, He	Mayoría de tejidos, excepto el intestino medio
Polydnaviridae <i>Bracovirus</i> <i>Ichnovirus</i>	cdADN	No No	Si Si	Cilíndrica Elipsoide	Hy Hy	No en parasitoides
Poxviridae (Entomopoxvirinae) <i>Alphaentomopoxvirus</i> <i>Betaentomopoxvirus</i> <i>Gammaentomopoxvirus</i> Sin clasificar	cdADN	Si Si Si Si	Si Si Si Si	Ovoide Ovoide Ladrillo	C L, O D Hy	Citoplasma: Principalmente en cuerpo graso, pero otros órganos se puede infectar
Birnaviridae <i>Entomobirnavirus</i>	csARN	No	No	Icosahédrica	D	No en tejidos, adultos sensibles a CO ₂
Dicistroviridae <i>Aparavirus</i> <i>Cripavirus</i>	csARN	No No	No No	Icosahédrica	Hy He, O, D	Intestino y sistema reproductor
Iflaviridae <i>Iflavirus</i>	csARN	No	No	Icosahédrica	L, Hy, He	Células epiteliales del intestino medio y células caliciformes
Metaviridae <i>Errantivirus</i> <i>Metavirus</i> <i>Semotivirus</i>	csARN	No No No	No/Si No No/Si	Esféricos ovoides	u D L, D, C D	Hemocitos, infección sistémica
Nodaviridae <i>Alphanodavirus</i>	csARN	No	No	Icosahédrica	C, D, L	Citoplasma: Intestino y después infección sistémica
Pseudoviridae <i>Hermivirus</i>	csARN	No	No	Redondeada	D	Citoplasma o núcleo
Reoviridae (Spinareovirinae) <i>Cypovirus</i> <i>Idnoreovirus</i>	cdARN	Si No	Si No	Redondeada	L, Hy	Citoplasma: Células del intestino
Tetraviridae <i>Betatetravirus</i> <i>Omegatetravirus</i>	csADN	No No	No No	Redondeada	L	Citoplasma: Infección crónica.

^a ADN o ARN cs: cadena sencilla y cd: cadena doble

^b Órdenes de insectos. C: Coleoptera; D: Diptera; Di: Dictioptera; He: Hemiptera; Hy: Himenoptera; L: Lepidoptera; O: Ortoptera; Od: Odonata; Th: Thysanoptera; Tr: Trichoptera.

Tabla 2. Factores que afectan la persistencia viral en el ambiente (Modificado de Boch *et al.*, 2006),

Tipo de factor	Factor	Efecto
Físicos	Temperatura	Inactivación directamente proporcional a la temperatura
	Luz	Luz UV causa inactivación directamente proporcional al tiempo de irradiación
	Dsecación	Usualmente se incrementa la inactivación en humedades relativas bajas
	Agregación/Adsorción	Reduce la inactivación
	Presión	Alta presión induce inactivación
Químicos	pH	Valores extremos causan inactivación
	Salinidad	Concentraciones altas causan inactivación
	Amonio	Actividad virucida
	Iones Inorgánicos	Algunos son virucidas
	Materia orgánica	Reducen inactivación
	Enzimas	Proteasas y nucleasas contribuyen a la inactivación viral
Biológicos	Actividad microbiana	Contribuye a la inactivación
	Biopelículas	Adsorción a biopelículas puede reducir la inactivación, pero la actividad microbiana en la biopelícula puede ser virucida
	Tipo de virus	La estabilidad de la partícula viral depende de la estructura viral, la especie, e incluso la cepa

Tabla 3. Persistencia de algunas especies de baculovirus expuestos a la radiación solar (Young, 2008)

VIRUS	INACTIVACIÓN
<i>Helicoverpa zea</i> NPV	82% en 16 horas
<i>Pieris brassicae</i> GV	70% en 7 días
<i>Plodia interpunctella</i> GV	98% en 4 minutos
<i>Helicoverpa zea</i> NPV	96.7% en 24 horas
<i>Galleria mellonella</i> NPV	50% en 14 horas

Referencias Bibliográficas

- ALLEY, R. 2007. El cambio climático, pasado y futuro. Siglo XXI de España Editores. Madrid. 235 p.
- AYRES M.; LOMBARDEO, M. 2000. Assessing the consequences of global change for forest disturbance from herbivores and pathogens. *Science Total Environment* 262: 263-286.
- BAIRD, C. 2001. Química ambiental. Editorial Reverté. Barcelona, España. 607 p.
- BALE, J.; MASTERS, G.; HODKINSON, I.; AWMACK, C.; BEZEMER, T.; BROWN, V.; BUTTERFIELD, J.; BUSE, A.; COULSON, J.; FARRAR, J.; GOOD, J.; HARRINGTON, R.; HARTLEY, S.; JONES, T.; LINDROTH, R.; PRESS, M.; SYMRNIOUDIS, I.; WATT, A.; WHITTAKER, J. 2002 Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperatures on insect herbivores. *Global Change Biology* 8: 1-16.
- BENZ, G. 1987. Environment. En: Fuxa, J.; Tanada, Y. *Epizootiology of infectious diseases*. John Wiley & Sons. New York. p. 177-214.
- BIDESSHI, D., BIGOT, Y., FEDERICI, B., SPEARS, T. 2010. Ascoviruses. In: *Insect virology*. Caister Academic Press. Gran Bretaña. 3-34.
- BOSCH, A.; PINTÓ, R.; ABA, F. 2006. Survival and transport of enteric viruses in the environment. En: GOYAL. M. *Food Microbiology and Food Safety Series*, Springer, New York, NY, p 151-187.
- CABALLERO, P.; LÓPEZ-FERBER, M.; WILLIAMS, T. 2001. Los baculovirus y sus aplicaciones como bioinsecticidas en el control biológico de plagas. Universidad Pública de Navarra. Editorial Phytoma. España. 517 p.
- CABALLERO, P.; WILLIAMS, T. 2008. Virus entomopatógenos. En: JACAS, J.; URBANEJA, A. (ed.) *Control Biológico de Plagas Agrícolas*. Phytoma. España. 121-132.
- CHENG, X., CARNER, G., ARIF, B. 2000. A new ascovirus from *Spodoptera exigua* and its relatedness to the isolate from *Spodoptera frugiperda*. *Journal of General Virology*. 81: 3083-3092.
- CORY, J., EVANS, H. 2007. Viruses. En: *Field Manual of Techniques in Invertebrate Pathology*. Segunda edición. United States. 149-174.
- COULIBALY, F.; CHIU, E., IKEDA, K.; GUTMANN, S.; HAEBEL, P.; SCHULZEBRIESE, C.; MORI, M.; METCALF, P. 2007. The molecular organization of cypovirus polyhedra. *Nature* 446: 97-101.
- DEL RINCÓN, M. 2010. Los virus entomopatógenos: Una alternativa viable en el control de plagas. *Memorias XXI Curso Nacional de Control Biológico*. Sociedad Mexicana de Control Biológico. Impresos Gutiérrez. Uruapan. México. P. 111-120.
- DEVOTTO, I.; GERDING, M. 2003. Respuesta de dos aislamientos chilenos de *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin a la adición de un protector solar. *Agricultura Técnica*. 63: (4) 339-346.
- ECHENIQUE, V.; RUBINSTEIN, C.; MROGINSKI, L. 2004. Biotecnología y mejoramiento Vegetal. Ediciones INTA. Parte VIII. Capítulo 10, p 335.

- ENTWISTLE, P.; EVANS, H. 1985. Viral control. En: Comprehensive insect physiology, biochemistry and pharmacology. Vol. 12. Pergamon Press. Oxford. p. 347-412.
- EYER, P. 1995. Neuropsychopathological changes by organophosphorus compounds a review. Human y Experimental Toxicology 14: 857-64.
- FAULKNER, P. 1981. *Baculovirus*. En: DAVIDSON, E.W. (ed.). Pathogenesis of invertebrate microbial diseases. Allanheld, Osmun Co. Publ. Inc. Totowa, New Jersey. p. 3-37.
- FEDERICI, B., BIDESHI, D., TAN, Y., SPEARS, T., BIGOT, Y. 2009. Ascoviruses: superb manipulators of apoptosis for viral replication and transmission. Current Topics in Microbiology and Immunology. 328: 171-196.
- FEDERICI, B., BIGOT, Y., 2003. Origin and evolution of polydnviruses by symbiogenesis of insect DNA viruses in endoparasitic wasps. Journal of Insect Physiology. 49: 419-432.
- FEDERICI, B., GOVINDARAJAN, R. 1990. Comparative histopathology of three ascovirus isolates in larval noctuids. Journal of Invertebrate Pathology. 56: 300-311.
- FRIEDBERG, E., WALKER, G., SIEDE, W. 1995. ADN Repair and Mutagenesis. ASM press. Washington DC. p. 24-25
- FUENMAYOR, M.; SAYAGO, M. 1996. Plaguicidas microbianos: una alternativa del control biológico. Fonaiap Divulga. No. 52.
- Web site: http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_tec/FonaiapDivulga/fd52/plaguicidas.htm
- Fecha último acceso: [21 abril 2011].
- FUXA, J. 1995. Ecological factors critical to the exploitation of entomopathogens in pest control. En: Biorational pest control agents: formulation and delivery. American Chemistry Society Symposium. Series 595. Washington. p. 42-67. Citado por Caballero *et al.* 2001.
- GRIBBIN, J. 1988. The greenhouse effect. New Science 120: 1-4.
- HARRINGTON, R.; FLEMING, R.; WOIWOOD, I. 2001. Climate change impacts on insect management and conservation in temperate regions: can they be predicted? Agricultural and Forest Entomology 3: 233-240.
- IBARRA, J.; DEL RINCÓN, M. 1998. Virus entomopatógenos. IX Memorias Curso Nacional de Control Biológico. Río Bravo, Tamaulipas, México Sociedad Mexicana de Control Biológico. p.90-103.
- ICTV. 2009. International Committee on Taxonomy of Viruses. Virus taxonomy. web site: <http://www.ictvonline.org/index.asp?bhcp=1> Fecha último acceso: [21 abril 2011].
- IGNOFFO, C.; HOSTETTER, D.; SIKOROWSKI, P.; SUTTER, G.; BROOKS, W. 1977. Inactivation of representative species of entomopathogenic viruses, a bacterium, fungus and protozoan by an ultraviolet light source. Environmental Entomology, 6: (3) 411-415.
- KELLY, D. 1982. Baculovirus replication. Journal of General Virology. 63: 1-13.
- LIPSONT, S.; STOTZKY, G. 1984. Effect of proteins on reovirus adsorption to clay

- minerals. Applied and environmental microbiology, 48 (3): 525-530.
- MARINA, C.; FELICIANO, J.; VALLE, J.; WILLIAMS, T. 2000. Effect of temperature, pH, ion concentration, and chloroform treatment on the stability of invertebrate iridescent virus 6. Journal of Invertebrate Pathology 75: 91-94.
- MAZZONE, H. 1985 Pathology associated with baculovirus infection. En: MARAMOROSCH, K. and SHERMAN, K. (eds). Viral Insecticides for Biological Control. Orlando, Florida: Academic Press. p. 81-120.
- MORI, H., METCALF, P. 2010. Cypoviruses. In: Insect virology. Caister Academic Press. Gran Bretaña. 308-323.
- MOSCARDI, F. 1999. Assessment of the application of baculoviruses for control of Lepidoptera. Annual Review of Entomology. 44: 257-289.
- NASA - National Aeronautics and Space Administration. 2003. NASA study finds increasing solar trend that can change climate. Web site: <http://www.nasa.gov/centers/goddard/news/topstory/2003/0313irradiance.html> Fecha último acceso: [29 abril 2011].
- PERERA, S., LI, Z., PAVLIK, L., ARIF, B. 2010. Entomopoxviruses. In: Insect virology. Caister Academic Press. Gran Bretaña. 83-102.
- POSSEE, R., GRIFFITHS, C., HITCHMAN, R., CHAMBERS, A., MURGUIA-MECA, F., DANQUAH, J., JESHTADI, A., KING, L. 2010. Baculoviruses: Biology, replication and exploitation. In: Insect virology. Caister Academic Press. Gran Bretaña. 35-57.
- RENAULT, S., STASIAK, K., FEDERICI, B., BIGOT, Y. 2005. Commensal and mutualistic relationships of reoviruses with their parasitoid wasp hosts. Journal of Insect Physiology. 51: 137-148.
- RIVEIRO, H.; PAVAN, O. 1994. Effect of temperature on the development of baculoviruses. Journal of Applied Entomology. 118 (1-5) : 316-320.
- RODRÍGUEZ, S. 1992. Uso de los virus entomopatógenos en programa de control biológico. En: II Simposio Nacional sobre Control Biológico en Colombia (Memorias). Medellín: Sociedad Colombiana de Entomología - Comité Nacional de Control Biológico. p.189-210.
- RODRÍGUEZ, M.; BECKAGE, N. 2006. *Estrategias co-evolutivas de la interacción entre parasitoides y polidnavirus*. Revista Latinoamericana de Microbiología 48 (1): 31-43.
- ROHRMANN, G. 2011. Baculovirus Molecular Biology. Second Edition. Chapter 1. web site: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK49491/> Fecha último acceso: [14 abril 2011].
- ROMERO, R. 2001. Microbiología y parasitología humana. Bases etiológicas de las enfermedades infecciosas y parasitarias. Tercera edición. Editorial Médica Panamericana. Madrid. España. 1720 p.
- SHELBY, K., WEBB, B. 1999. Polydnavirus-mediated suppression of insect immunity. Journal of Insect Physiology. 45: 507-514.
- STEINHAUS, E. 1949a. Principles of Insect Pathology. McGraw-Hill, New York. 505 p.

STEINHAUS, E. 1949b. Nomenclature and classification of insect viruses. *Bacteriological Review*. 13 (4): 203-223.

STRAND, M. 2010. Polydnviruses. *Insect virology*. Caister Academic Press. Gran Bretaña. 172-197.

TINSLEY. T.; KELLY. D. 1985. Taxonomy and nomenclature of insect pathogenic viruses. En: MARAMOROSH. K.; SHERMAN. K. *Viral insecticides for biological control*. Academic Press. Orlando. p. 3-25.

YOUNG, S. 2008. Persistence of viruses in environment. web site: <http://www.lsuagcenter.com/s265/young.html>
Fecha último acceso: [14 abril 2009].

Posibles impactos del cambio climático en los enemigos naturales de los insectos plagas

Tito Bacca, Ph.D.

Profesor Asociado, Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, Torobajo, Pasto - Colombia

Resumen

A pesar de la estabilidad climática en la tierra en los últimos 10.000 años, existe gran preocupación por el abrupto cambio del clima durante los últimos años debido a causas antrópicas. La producción de alimentos y otras materias primas producidas por las plantas son directamente e indirectamente damnificadas por este cambio, por que son afectados los hábitats y aspectos biológicos en todos los niveles tróficos del sistema; plantas, plagas y enemigos naturales. Este sistema tritrófico puede ser afectado por cualquier cambio medioambiental principalmente por aumento en la concentraciones de CO₂, O₃ y consecuentemente la temperatura. El tercer nivel trófico representados por los enemigos naturales (parasitoides y depredadores) son los más afectados por que soportan el efecto del clima sobre las plantas y sus fitófagos. Cualquier cambio en las plantas desequilibra la armonía en el resto de niveles tróficos que han coevolucionado conjuntamente. Cambios en la distribución, crecimiento, abundancia y fenología de las plantas, afectan la disponibilidad de recursos alimenticios para los herbívoros e indirectamente para sus enemigos naturales. La desincronización entre los tres niveles tróficos puede cambiar la abundancia de la plaga y sus enemigos naturales. La baja calidad de la planta en algunos casos puede aumentar el control biológico de las plagas, sin embargo, se disminuye el éxito reproductivo de estos controladores biológicos. En el caso de

aumento de biomasa en plantas, existen aumentos en los tiempos de búsqueda de presas por los enemigos naturales. La ampliación o restricción del rango de distribución de los cultivos, afectan directamente la distribución de sus plagas y principalmente la especificidad de los enemigos naturales. Para mitigar los efectos del cambio climático existen prácticas agronómicas que pueden ayudar a restablecer el equilibrio del agroecosistema y la actividad de los entomófagos, como por ejemplo; la utilización de riegos y drenajes, el uso de coberturas, el aumento de la biodiversidad y la utilización variedades mejoradas entre otras prácticas. Por lo tanto, el entendimiento de la variabilidad climática en el tercer nivel trófico es de vital importancia, especialmente cuando se quiere utilizar parasitoides o depredadores en programas de control biológico de plagas.



Simpósios

**Entomología médica y forense
y su relación con el ambiente**

Coordinadora: Dra. Martha Wolff Echeverri,
Universidad de Antioquia

Entomotoxicologia Forense: Dez anos de pesquisas na UNICAMP

Arício Xavier Linhares, Ph.D

Professor, Entomologia e Parasitologia. Departamento de Biologia Animal,
IB. UNICAMP Presidente de la "Associação Brasileira de Entomologia
Forense", ABEF. aricio@unicamp.br

A Entomologia Forense

O potencial de contribuição da entomologia para as investigações legais é conhecido por pelo menos 700 anos, mas apenas recentemente a entomologia foi reconhecida definitivamente como um campo da ciência forense. O primeiro caso documentado de entomologia forense é reportado na China pelo advogado e investigador Sung Tzu no século 13 num livro intitulado **"The washing away of wrongs"**. Ele descreve o caso de uma morte por golpes de foice perto de um campo de arroz. No dia seguinte do assassinato, o investigador pediu que todos os trabalhadores colocassem suas foices no chão. As moscas foram atraídas para apenas uma foice, que continha traços de sangue. O proprietário confessou o crime. Durante exumações realizadas na França e Alemanha nos séculos 18 e 19, legistas observaram que corpos enterrados eram colonizados por várias espécies de artrópodes. Em 1831, o famoso médico francês Orfila verificou também em exumações que os insetos desempenhavam grande papel na decomposição dos corpos. O relato do primeiro caso moderno de entomologia forense utilizando a estimativa do tempo de morte foi feito pelo médico francês Bergeret em 1855. Em 1879, o presidente da Sociedade Francesa de

Medicina Forense, publica um novo caso, sendo que Perier e Mégnin auxiliam na identificação das espécies. Mégnin calculou ainda as possíveis gerações de ácaros e quando abandonariam o corpo, passou a pesquisar o ciclo de vida dos insetos e em 1894 publicou o seu principal livro "La faune des cadavres". O primeiro estudo sistemático de entomologia forense foi feito em 1881 pelo alemão Reinhard. Somente a partir de 1960 a entomologia forense tomou novo fôlego, principalmente pela atividade do médico belga Marcel Leclecq e do biólogo finlandês Pekka Nuorteva. Desde então, a aplicação da entomologia em investigações legais tem se tornado rotina em países como os Estados Unidos, Canadá, França, Japão, Inglaterra, entre outros. No Brasil, os primeiros trabalhos foram publicados na primeira metade do século XX.

Centenas de espécies de artrópodes são atraídas para uma carcaça, primeiramente moscas, besouros e suas larvas, e também ácaros, opiliões, e nematóides. Depois dos fungos e bactérias, os insetos são os mais importantes decompositores de carcaças animais e/ou humanas. Esses animais se alimentam, vivem ou se reproduzem na carcaça, dependendo de suas preferências biológicas e do estágio de decomposição. Diferenças evidentes

já foram observadas no processo de decomposição de carcaça, de acordo com a presença ou ausência de artrópodes. Carcaças expostas sem nenhuma proteção podem perder cerca de 90% de seu peso em uma semana, enquanto que carcaças cobertas e protegidas contra a ação de insetos, gradualmente secaram e se tornaram mumificadas num período maior que 100 dias. A entomologia forense significa o estudo dos insetos que interagem com os eventos legais, e está baseada na sucessão entomológica, em que as várias espécies de insetos chegam numa carcaça ou cadáver em diferentes intervalos de tempo, ocasionando uma substituição e/ou adição gradual ou abrupta de espécies. A sucessão também está relacionada com os estágios de decomposição da carcaça, uma vez, que as espécies apresentam certa preferência por determinados estágios. Os insetos adultos são atraídos para a carcaça em todos os estágios de decomposição, mas várias espécies visitam-na apenas durante estágios específicos, sugerindo a preferência pelos estágios e, possivelmente, amenizando uma competição. Particular importância é dada às moscas sarcosaprófagas pertencentes às famílias Calliphoridae e Sarcophagidae (Diptera), pois são os principais invertebrados consumidores de carcaças e geralmente são os primeiros a chegar, normalmente pouco tempo após a morte, e permanecem na carcaça durante os estágios de decomposição. Os insetos são utilizados nas investigações criminais como evidência física em julgamentos, e auxiliam na determinação do local do crime, visto que algumas espécies têm distribuição geográfica e habitat específicos. Até mesmo a ausência de insetos em situações em que eles deveriam estar presentes é uma grande evidência de que o corpo foi manipulado de alguma forma. Entretanto, eles podem principalmente contribuir na estimativa do intervalo pós-morte (IPM),

ou seja, o intervalo máximo e mínimo de tempo entre a morte e a descoberta do corpo. A determinação do intervalo pós-morte pode ser feita por meio da sucessão entomológica ou pela aplicação do conhecimento do ciclo de vida dos insetos. É possível se estimar o IPM pela determinação do instar da larva e pelo tempo que ela leva para completar o seu ciclo, associado a valores de temperatura e fatores ambientais. Uma determinação acurada do IPM é de suma importância em qualquer investigação forense relacionada à morte (homicídio, suicídio, acidental, causa natural).

A fauna cadavérica tem um grande valor como ferramenta de investigação, não apenas pelas características supracitadas, mas também porque há vantagem no que diz respeito a métodos e tempo de coleta de amostra. Os insetos podem ser coletados no local do crime, no cadáver, no necrotério, durante a necropsia, na geladeira ou até mesmo em uma exumação. Os insetos podem, assim, serem considerados indicadores forenses para a estimativa do tempo de morte, indicação do local do crime, modo de morte, etc. Um bom indicador forense é aquele inseto que não apenas visita a carcaça utilizando-a como fonte protéica e sim aquele que se cria no substrato, uma vez que se o corpo se encontrar em avançado estágio de decomposição, os adultos poderão não estar mais presentes.

A Entomologia forense no Brasil

Em 1908, Oscar Freire apresenta à Sociedade Médica da Bahia a primeira coleção de insetos necrófago, em grande parte obtida em estudos com cadáveres humanos e de pequenos animais, juntamente com os resultados de suas investigações (Pujol-Luz, 2008). E. Roquette-Pinto foi o primeiro brasileiro a testar as idéias de Mégnin

(1894) Com um artigo sobre insetos necrófagos (Roquette-Pinto, 1908). Em seguida, Lüderwaldt publicou um artigo sobre os insetos necrófagos paulistas (Lüderwaldt, 1911). Outros artigos logo se seguiram: Oscar Freire em 1923, e Samuel Pessoa e Lane em 1941. O assunto aparentemente fica esquecido por várias décadas, mas reaparece na década de 80 com um artigo sobre sucessão entomológica em carcaças de mamíferos (Monteiro-Filho & Penereiro, 1987). Pesquisas sistemáticas com início em 1991 na UNICAMP, com várias teses sobre o assunto enfocando a sucessão entomológica, o efeito da altitude, tamanho da carcaça, drogas e tipo de vegetação na entomofauna associada a carcaças. Vários outros centros também passam a desenvolver pesquisas sobre insetos de interesse forense: Universidade Federal Do Paraná; Universidade de Brasília; Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro; Universidade Federal do Rio de Janeiro; Fundação Instituto Oswaldo Cruz (FIOCRUZ); Universidade Federal do Amazonas; Universidade Federal do Pará; Universidade Federal de Pernambuco; Universidade Estadual Paulista; entre outras.

Referencias Bibliográficas

- ALVES-JR., M. ESTRADA-SOTO, D. A.; THYSSEN, P. J., 2008. Detection of phenobarbital in *Chrysomya albiceps* (Diptera: Calliphoridae) larvae by immunohistochemistry and its importance to the drugs metabolism study. 56th Annual Meeting of the Entomological Society. (http://esa.confex.com/esa/2008/technoprogram/paper_35925.htm)
- BRANCOLI, D.L.; RESENDE, F.; NASSU, M.P.; CARDOSO, B.; THYSSEN, P.J. & LINHARES, A.X. 2010. The effect of Ivermectin on the developmental rate of *Chrysomya putoria* (Diptera: Calliphoridae). 7th International Congress of Dipterology. San Jose. Costa Rica.
- CARVALHO, L. M. 2005. O efeito no crescimento e desenvolvimento, e quantificação de drogas em moscas de interesse forense. Tese de Doutorado, Instituto de Biologia, UNICAMP, SP, Brasil. xiv + 104 p. http://www.prpg.unicamp.br/teses_defesa02.phtml?ra=935851&codcurso=182&nivel=Doutorado&sigla=IB%20%20%20%20&porpag=-1.
- CARVALHO, L. M. L.; P. J. THYSSEN; A. X. LINHARES & F. A. B. PALHARES. 2000. A checklist of arthropods associated with pig carrion and human corpses in Southeastern Brazil. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*. 95: 135-138.
- CARVALHO, LML; AX LINHARES & JR TRIGO. 2001. Determination of drug levels and the effect of diazepam on the growth of flies of forensic importance in Southeastern Brazil. *Forensic Science International*. 120:140-144.
- CARVALHO, LML & AX LINHARES. 2001. Seasonality of insect succession and pig carcass decomposition in a natural forest area in southeastern Brazil. *Journal of Forensic Sciences*. 46: 604 - 608.
- CARVALHO, L.M.L.; THYSSEN, P.J.; GOFF, M.L. & LINHARES, A.X. 2004. Observations on the succession patterns of necrophagous insects onto a pig carcass in an urban area of Southeastern Brazil. *Aggrawal's Int. J. For. Med. Toxicol.*, 5: 33-39.
- ESTRADA-SOTO, D.; THYSSEN. P.J. 2006. The effect of phenobarbital on the development of *Chrysomya megacephala* (Diptera: Calliphoridae) and its importance for the post mortem

interval estimate. 54th Annual Meeting of the Entomological Society of America (http://esa.confex.com/esa/2006/technoprogram/paper_25032.htm).

FORNARI, A. R. S. THYSEN, P. J. & LINHARES, A. X. 2008. The effect of Testosterone on the larval development of *Chrysomya megacephala* (Fabricius) and *Chrysomya putoria* (Wiedemann) (Diptera: Calliphoridae) two forensically important flies from Brazil. 56th Annual Meeting of the Entomological Society of America. (http://esa.confex.com/esa/2008/technoprogram/paper_35925.htm)

"FREIRE, O. 1914. Algumas notas para o estudo da fauna cadavérica da Bahia. *Gaz. Med. Bahia*, 46 (3): 110-125.

FREIRE, O. 1923. Fauna cadavérica brasileira. *Revista de Medicina* 3- 4: 15-40

LIMA. C.G.P. SOUZA, C.M. CARDOSO, B.; THYSSEN, P.J. & LINHARES, A.X. 2010. Standardization of histological procedures for entomotoxicology. 7th International Congress of Dipterology. San Jose. Costa Rica.

GOFF, M.L.; OMORI, A.I. & GOODBROD, J.R. 1989. Effect of cocaine in tissues on the development rate of *Boettcherisca peregrina* (Diptera: Sarcophagidae). *J. Med. Entomol.*, 26: 91-93.

GUNATILAKE, K. & GOFF, M.L. 1989. Detection of organophosphate poisoning in a putrefying body by analyzing arthropod larvae. *J. Forensic Sci.*, 34: 714-716.

GOFF, M.L.; BROWN, W.A.; OMORI, A.I. & LAPOINTE, D.A. 1989. Preliminary observations of the effects of amitriptyline in decomposing tissues on the development of *Parasarcophaga*

ruficornis (Diptera: Sarcophagidae) and implications of this effect to estimation of postmortem interval. *J. Forensic Sci.*, 38: 316-322.

LÜDERWALDT, G. 1911. Os insetos necrófagos paulistas. *Revista do Museu Paulista* 8: 414-433.

MILLER, M.L.; LORD, W.D.; GOFF, M.L.; DONNELLY, B.; MCDOUGNOUT, E.T. & ALEXIS, J.C. 1994. Isolation of amitriptyline and nortriptyline from fly puparia (Phoridae) and beetle exuvia (Dermestidae) associated with mummified human remains. *J. Forensic Sci.* 39: 1305-1213.

MONTEIRO-FILHO, E. A. & J. PENEREIRO. 1987. Estudo da decomposição e sucessão sobre uma carcaça animal numa área do estado de São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Biologia* 47: 289-295.

OLIVEIRA, H.G.; GOMES, G.; MORLIN, JR J.J., 1 B.SC.; VON ZUBEN, C.J. 1 PH.D.; AND LINHARES, A.X. 2009. The Effect of Buscopan on the Development of the Blow Fly *Chrysomya megacephala* (F.) (Diptera: Calliphoridae). *J Forensic Sci*, 54: 202-206.

PESSÔA, S. & F. LANE. 1941. Coleópteros de interesse médico-legal. Ensaio monográfico sobre a família Scarabaeidae de S. Paulo e regiões vizinhas. *Arquivos de Zoologia do Estado de São Paulo* 2: 389-504.

ROQUETTE-PINTO, E. 1908. Nota sobre a fauna cadavérica do Rio de Janeiro. *A Tribuna Médica* 21: 413-417.

SOUZA, AM & AX LINHARES 1997. Diptera and Coleoptera of potential forensic importance in Southeastern Brazil. *Med Vet Entomol.* 11: 8-12.

SOUZA, C.M.; RESENDE, F. THYSSEN, P. & LINHARES, A.X. 2010. Effect of steroids on the developmental rates of *Chrysomya* species (Diptera: Calliphoridae). 7th International Congress of Dipterology. San Jose. Costa Rica.

SOUZA, C. M.; THYSSEN, P. J. & LINHARES, A. X. 2009. The effect of nandrolone decanoate on the development rate of *Chrysomya putoria* (Fabricius) (Diptera: Calliphoridae), a fly of forensic importance in Brazil , 55th Annual Meeting of the Entomological Society of America. (http://esa.confex.com/esa/2010/technoprogram/paper_50817.htm).

SOUZA, C. M.; THYSSEN, P. J. & LINHARES, A. X. 2010. The effect of anabolic-androgenic steroids on the developmental rate of *Chrysomya megacephala* (Fabricius) (Diptera: Calliphoridae), a forensically important fly in Brazil. 56th Annual Meeting of the Entomological Society of America. (http://esa.confex.com/esa/2010/technoprogram/paper_50817.htm).

THYSSEN, P.J., LESSINGER. A.C., AZEREDO-ESPIN, A.M.L. & LINHARES, A.X. 2005. The Value of PCR-RFLP Molecular Markers for the Differentiation of Immature Stages of Two Necrophagous Flies (Diptera: Calliphoridae) of Potential Forensic Importance *Neotropical Entomology* 34 (5):777-783 (2005).

THYSSEN, P.J. & LINHARES, A.X. 2007. First description of the immature stages of *Hemilucilia segmentaria* (Diptera: Calliphoridae). *Biol. Res.* 40: 271-280.

ADN fósil: procesos evolutivos en la transmisión de la tripanosomiasis americana

Hemiptera, Rodniini. Kinetoplastida, Trypanosomatidae

Felipe Guhl, Ph. D.

Profesor Emérito. Director Centro de Investigaciones en Parasitología Tropical CIMPAT. Departamento de Ciencias Biológicas. Universidad de los Andes. Bogotá, fguhl@uniandes.edu.co

Resumen

Los agentes infecciosos suministran información de gran valor, especialmente cuando se identifican a partir de registros arqueológicos y de restos momificados de hombres y animales. Se puede obtener información muy precisa acerca de sus procesos evolutivos, su filogenia, su distribución geográfica, así como de sus huéspedes y reservorios en el caso de los parásitos. De igual manera brindan una clara idea del contacto que pudieron tener diferentes civilizaciones o grupos poblacionales entre sí, sus movimientos migratorios y su posible extinción. Para lograr obtener estos datos es preciso rastrear las evidencias e interpretarlas de manera correcta además de apoyarse en otras ciencias como la geología, la osteopatología, la química, la antropología y la biología molecular. Esta última ciencia en particular ha tomado enorme impulso en los últimos años y dado su alto nivel de resolución y sensibilidad se ha convertido en un aliado muy valioso en los análisis de ADN fósil.

Key Word: ADN fósil. Paleoparasitología. *Trypanosoma cruzi*. Transmisión vectorial. Evolución.

Abstract

Infectious agents provide useful data, especially when identified from the mummified remains of humans

and animals found in a particular archaeological excavation site. Precise information can be obtained about their evolutionary processes, phylogeny, geographical distribution and their hosts and reservoirs in the case of parasites.

A clear idea regarding the contact which different civilizations or population groups could have had amongst themselves, their migratory movements and possible extinction can also be deduced when medical effects are integrated with archaeological data. Other sciences such as geology, osteopathology, chemistry, anthropology and molecular biology often can provide valuable additional information. The latter science particularly has gained enormous ground during the last few years. Given its high level of resolution and sensitivity, it has become a very valuable ally for studies and analysis in the area of fossil DNA.

Key words: Fossil DNA, Paleoparasitology, *Trypanosoma cruzi*, Vectorial transmission, Evolution,

Introducción

La importancia de las enfermedades parasitarias no radica únicamente en la incidencia que tienen o tuvieron sobre las tasas de mortalidad o fertilidad de poblaciones humanas, ni en su repercusión económica o médica. Los parásitos y los insectos que los transmiten

suministran información adicional de gran valor, especialmente cuando se pueden identificar a partir de restos momificados de hombres y animales y de su registro arqueológico. Se puede obtener información muy precisa acerca de sus procesos evolutivos, de la filogenia parasitaria, de su distribución geográfica así como de sus huéspedes y reservorios y nos brindan una clara idea del contacto que pudieron tener diferentes civilizaciones o grupos poblacionales entre sí, sus movimientos migratorios y su posible extinción.

Para lograr obtener esta información es preciso rastrear las evidencias e interpretarlas de manera correcta además de apoyarse en otras ciencias como la geología, la osteopatología, la química y la biología molecular. Esta última ciencia en particular ha tomado enorme impulso en los últimos años y dado su alto nivel de resolución y sensibilidad se ha convertido en un soporte muy valioso para los estudios y análisis en Arqueoparasitología.

La práctica de la momificación de cuerpos humanos en el nuevo mundo fue una característica muy común en la mayoría de las sociedades prehispanicas pertenecientes a diferentes grupos aborígenes que habitaron lo que hoy corresponde a países como Chile, Colombia, Argentina, Ecuador, Perú, Bolivia, algunas regiones de Meso América y el sur de Estados Unidos (Aufderheide,2003).

Dentro de la biología humana, la paleopatología estudia las enfermedades que padeció el hombre en el pasado, algunas de las cuales tuvieron carácter de epidemia. Muchas de estas dolencias como es el caso de la enfermedad de Chagas, la fiebre amarilla y el cólera, que al parecer causaron estragos en el pasado, merecen especial atención

porque aún siguen siendo un problema importante de salud pública.

La incidencia de la enfermedad de Chagas es de cerca de medio millón de casos al año y cerca de 100 millones de personas en Latino América se encuentran bajo riesgo de adquirirla teniendo en cuenta la amplia distribución de los insectos vectores que transmiten el *Trypanosoma cruzi* agente causal de la enfermedad (WHO,2002).

Esta enfermedad se caracteriza por tener una fase inicial de infección, durante la cual hay parásitos circulando a través del flujo sanguíneo, además de replicación del parásito en células del miocardio, macrófagos, fibroblastos y células del sistema nervioso. Después de 8 a 10 semanas sigue la fase indeterminada en la cual disminuye la parasitemia debido a la respuesta inmune. Este período puede tener una duración de 10 a 20 años y generalmente es asintomático. Por último en la fase crónica hay baja parasitemia y lesiones que incluyen cardiopatía crónica y alteraciones crónicas digestivas y neurológicas.

Distintos rasgos paleopatológicos como son megacolon, megaesófago y cardiopatías, encontrados por Rothhamer *et al.*, en 1985, en momias chilenas datadas de 470 B.C. hasta 600 A.D., al igual que restos de partes de insectos triatominos hallados en excavaciones arqueológicas, fueron motivación suficiente para emprender el estudio de detección de ADN de *T. cruzi* en cuerpos con momificación espontánea.

Hemos recuperado ADN de varios entierros de la cultura Chinchorro entre otras, lo que ha permitido el análisis basado en PCR de secuencias de ADN del kinetoplasto. El material genético fue obtenido a partir de tejido suave de más de 250 cuerpos humanos momificados

hasta de 9000 años de antigüedad (Guhl *et al.*, 1997, 1999, 2000), (Aufderheide *et al.*, 2007).

Los primeros habitantes

El establecimiento, la dispersión y la evolución de organismos parásitos en el continente americano fue un proceso evolutivo continuo que empezó probablemente cuando el supercontinente Pangea se dividió y se separaron las masas continentales actuales hace alrededor de 100 millones de años.

Al igual que todas las especies animales, o compartieron los hábitats en los continentes separados o se convirtieron en especies endémicas ocupando nichos específicos y guardando ciclos de huésped-parásito bastante definidos.

Es importante también tener en cuenta que muchas entidades parasitarias se transmiten a través de insectos vectores, muchos de ellos alimentándose de sangre de animales silvestres y transmitiendo los parásitos, convirtiéndolos en reservorios. Estos ciclos de transmisión tomaron miles de años en establecerse y en la gran mayoría de los casos se logró un equilibrio huésped-parásito muy bien establecido que solamente se vio alterado cuando el hombre comenzó a intervenir el medio ambiente para construir sus viviendas, cazar y obtener recursos energéticos para su subsistencia.

El origen y la dispersión de humanos al Nuevo Mundo coincidieron con la última parte de las glaciaciones del Pleistoceno y su distribución fue influenciada por estas glaciaciones de muy diversas formas. El proceso se aceleró periódicamente cuando el estrecho de Bering se amplió suficientemente para permitir el cruce de los humanos hacia el continente americano.

Se han realizado excavaciones arqueológicas desde las islas Aleutianas a través de las costas occidentales de los Estados Unidos y Canadá hasta las costas de México, Centro y Sur América. La evidencia más cercana de la presencia de actividades humanas data alrededor de 15.000 años atrás, probablemente 10 a 12.000 años para comenzar actividades de asentamientos humanos en Suramérica.

Varias especies de parásitos tuvieron tiempo suficiente para establecerse y para infectar a los primeros humanos que pisaban el Nuevo Continente y a su vez otras especies transportadas pasivamente por estos nuevos visitantes empezaron a encontrar nuevos albergues y refugios en otras especies animales. El contacto entre hombres y animales se hizo cada vez más estrecho al domesticar muchos de ellos alrededor de sus viviendas y de su peridomicilio en donde se llevaban a cabo actividades de siembra y agricultura en general.

Los Continentes se reconectaron definitivamente cuando los viajes transoceánicos se volvieron frecuentes hacia el siglo XVI, resultando en una rápida colonización global muchas veces por parte de humanos exóticos, sus animales domésticos y plantas sumando a las plantas silvestres y animales salvajes. Procesos similares de introducción y extinción continúan hoy en día a pesar de las modernas medidas de control en salud pública en las fronteras.

Las primeras enfermedades parasitarias

Se ha descrito acerca del origen y rutas de dispersión y el impacto de microbios en el Nuevo Mundo precolombino tales como *Treponema* y el virus del Sarampión, así como también de enfermedades

ocasionadas por protozoos parásitos como *Plasmodium* y *Trypanosoma*.

La paleoepidemiología de enfermedades causadas por helmintos también ha recibido especial mención debido a su amplia ocurrencia.

La información de la fauna de helmintos del Nuevo Mundo se ha obtenido principalmente de paleoheces y de cuerpos momificados.

Es muy probable que algunas helmintiasis compartidas por humanos, por sus animales domésticos y también por animales salvajes tuvieran una distribución circumártica o que fueran comunes a los dos continentes. *Trichinosis* y *Toxocariasis* son claros ejemplos.

Sin embargo, dentro de los parásitos estrictamente humanos solo *Enterobius vermicularis* y *Trichiurus trichura* están bien documentados al igual que *Ancylostoma duodenale*, que pudieron haber sido transferidos de Asia a América aún cuando parece no haber evidencia para confirmarlo.

Por esta razón es muy importante hacer uso de técnicas muy sensibles y específicas que nos permitan rastrear de manera precisa estas incógnitas.

Materiales y métodos

1. Fuentes de datos paleoparasitológicos

1.1 Coprolitos: proveen quizá la fuente más inmediata de información. La información obtenida a partir de coprolitos está restringida básicamente a helmintos y excluye la gran mayoría de parásitos protistas.

1.2 Momias: existen muchas descripciones detalladas de los principales lugares en el mundo donde se han hallado cuerpos de animales y humanos momificados. En realidad, los resultados paleoparasitológicos obtenidos hasta ahora son muy escasos. Sin embargo, algunos trabajos pioneros de Pizzi y Shenmore y más tarde Horne, proveen excelentes protocolos y modelos para la evaluación paleoparasitológica como el interesante reporte del hallazgo de huevos de *Trichiurus trichiura* en el área intestinal de una víctima inca destinada al sacrificio.

1.3 La etnografía: el código Florentino de Sahagún (1530) encierra descripciones de *Ascaris lumbricoides* y *Toxocara canis* inmediatamente después de la conquista de México. También se hace referencia a *Enterobius vermicularis*.

1.4 La epizootiología: permite correlacionar la distribución de las especies con el impacto patológico, la abundancia de las especies y posibles migraciones.

1.5 ADN: la recuperación y el análisis de ADN (ADN antiguo, o ADN fósil) proveniente de especímenes paleontológicos, arqueológicos, ejemplares de plantas y animales conservados en museos así como especímenes forenses, son un blanco importante para el análisis genético a través de la amplificación de los ácidos nucleicos.

2. Métodos tradicionales de diagnóstico

2.1 Reconstrucción de coprolitos: los coprolitos se encuentran con alguna frecuencia en restos momificados y pueden someterse a métodos sencillos de rehidratación y reconstrucción

sumergiéndolos en una solución de Fosfato Tri Sódico al 0.5%

Una vez obtenido el material reconstituido, este puede someterse a métodos de concentración, tales como centrifugación, formol-éter, métodos de flotación, etc., con el ánimo de poder visualizar mejor el posible material parasitario presente. Huevos de helmintos, fracciones de larvas y eventualmente quistes, son algunos de los elementos que pueden ser recuperados e identificados a través de la rehidratación de los coprolitos.

2.2. Métodos histológicos: los diferentes tejidos momificados también pueden reconstruirse cuidadosamente y ser sometidos a cortes histológicos para luego ser coloreados y observados al microscopio de luz. Otras preparaciones podrían ser destinadas a su observación por el microscopio electrónico. La identificación de la presencia de parásitos intracelulares en ejemplares infectados se puede realizar de manera muy específica.

2.3. Métodos inmunológicos: recientemente hemos logrado la recuperación de anticuerpos séricos a partir de tejidos momificados haciendo posible la determinación de infecciones a las cuales estaban sometidos los pobladores antiguos. Mediante la técnica de cromatografía de afinidad, en donde se busca la afinidad entre dos moléculas (proteína G acoplada a sefarosa 4B de manera covalente) muestra elevada afinidad por las inmunoglobulinas. Los anticuerpos son de carácter glicoproteico y al hidratar en una solución de fosfato trisódico los tejidos que reciben gran irrigación sanguínea como el corazón, hígado y bazo fue posible purificar inmunoglobulinas del tipo G en una concentración suficiente para llevar a cabo exámenes diagnósticos mediante pruebas convencionales tales como

inmunofluorescencia Indirecta (IFI) o ELISA.

2.4. Métodos de biología molecular: a pesar de que los exámenes directos permiten evidenciar la morfología de ciertas estructuras de los parásitos o huevos, o quistes de los mismos, se hace muchas veces difícil su hallazgo así como la interpretación de los resultados. Estructuras frágiles de los organismos parasitarios multicelulares pueden destruirse fácilmente a través del tiempo dificultando la labor de su identificación.

Parásitos unicelulares como es lógico son prácticamente imposibles de ser detectados a través de los métodos convencionales de diagnóstico. Los métodos en biología molecular sin duda, se han convertido en una herramienta poderosa en el estudio genético permitiendo el análisis de aADN (ADN fósil) proveniente de cuerpos humanos momificados y también de animales. Desde el punto de vista de la parasitología estas técnicas proveen también una fuente de información muy valiosa. Muchas veces los organismos que parasitaban a los humanos primitivos ya a pobladores antiguos son posibles de ser detectados y de esta manera se pueden establecer correlaciones entre los microorganismos y sus huéspedes y deducir por ejemplo rutas de migración, interrelaciones entre diferentes grupos poblacionales etc.

La metodología desarrollada en biología molecular permite no solamente la identificación específica del parásito, también provee información genética del mismo organismo. La técnica de la reacción en cadena de la polimerasa (en inglés PCR) permite amplificar prácticamente cualquier ADN de cualquier célula obtenido a partir de tejidos. La técnica se puede desarrollar utilizando fracciones de ADN (iniciadores) que permiten el proceso de

replicación de un fragmento determinado con la ayuda de una enzima polimerasa, la presencia de nucleótidos y una temperatura de anillamiento adecuada proporcionada por un termociclador. Hoy día se puede amplificar aADN a partir de cortes histológicos *in situ*, revelándose la amplificación con el uso de material radioactivo o enzimático. La hibridización con sondas específicas, es decir con secuencias propias del organismo también marcadas permiten la confirmación del producto de amplificación del PCR. La amplificación de determinadas fracciones de ADN permite una identificación mucho más fina y sutil del parásito, además de brindar información adicional acerca de su filogenia y proceso evolutivo a través del tiempo, como por ejemplo la amplificación de genes ribosomales. En un genoma eucariótico se presentan numerosas copias de los genes de 5S y del rARN principal; estos genes forman parte del DNA repetitivo medio. Los cientos o miles de copias del gen principal del rARN se conocen como ADN ribosómico (rADN) y se encuentran agrupados en la región organizadora del nucléolo de uno o más cromosomas del genoma. Se ha demostrado que se sintetizan numerosos transcritos a un mismo tiempo a partir de un solo gen de rARN y que todos los genes de rARN organizados en tándem participan simultáneamente en la transcripción.

Aunque una especie determinada presenta espaciadores con secuencias muy similares, puede existir homología muy escasa entre los organismos estrechamente relacionados. Esto podría indicar que no existe ninguna presión selectiva para mantener una secuencia espaciadora determinada presentándose numerosas variaciones entre especie y especie.

Dentro de los genes ribosomales existen secuencias que han evolucionado de un

modo relativamente lento y han sido expuestas a presiones de selección fuertes por lo que permanecen constantes en los individuos. Por lo contrario, las secuencias espaciadoras de estos genes han evolucionado de una manera rápida presentando una lata variabilidad dentro de especies de un mismo género o dentro de poblaciones.

Estos hechos permiten hallar relaciones filogenéticas entre los individuos, teniendo en cuenta que las secuencias que permanecen constantes permitirán el estudio de individuos lejanamente relacionados, mientras que las secuencias espaciadoras que varían mucho serán de interés para el estudio de individuos cercanamente relacionados.

Los ácidos nucleicos son moléculas muy estables. La primera extracción de ADN se realizó en 1980 por un grupo de científicos chinos que fueron capaces de extraer exitosamente ADN del cuerpo de la anciana señorita de Mawangtui de 2000 años de antigüedad, a partir de cartílago de la costilla (Human Medical College, 1980).

Más tarde en la década de los 80 Paabo y colaboradores logran clonar por primera vez aADN de una momia egipcia. A partir de los 90 y con el advenimiento de la técnica de PCR, ésta se convierte en la técnica de elección preferida por los investigadores, debido a lo muy poca cantidad de ADN que se requiere para la amplificación y su posterior análisis.

La enfermedad de Chagas se transmite por insectos vectores exclusivamente en el Nuevo Mundo.

El patrón epidemiológico de *Trypanosoma cruzi*, revela a que su transmisión primitiva estaba restringida a ciclos específicos en vastas regiones de la selva tropical en donde los insectos triatomíneos que

transmiten el parásito se alimentaban de la sangre de mamíferos silvestres.

La presencia de *T. cruzi* en el continente americano obedece al fraccionamiento del supercontinente Pangea hace alrededor de 100 millones de años.

Estudios filogenéticos del género *Tripanosoma* demuestran que *T. cruzi* ya estaba en América desde 80 millones de años atrás, divergiendo evolutivamente de los otros tripanosomas que quedaron en África al separarse las masas continentales.

Los insectos que transmiten el parásito pertenecen a los Hemiptero que representan a su vez un orden muy antiguo de la clase insecta. Existen registros fósiles de 232 a 280 millones de años. Los hemipteros encierran más de 80.000 especies exitosamente distribuidas en el planeta (Guhl *et al.*, 2000).

Los hábitos predatorios ancestrales de estos insectos se pueden inferir a través de su capacidad de ocupar un amplio espectro de nichos y de explotarlos muy eficientemente alimentándose de diversos huéspedes.

Los principales reservorios de *T. cruzi* incluso hoy en día corresponden a diferentes tipos de marsupiales (especialmente del género *Didelphis*), murciélagos, armadillos y varias especies de primates.

Estos animales aparecen en el continente americano en diversas épocas. Los más antiguos, los marsupiales, hacen su aparición hace 45 millones de años, los armadillos hace 40, los murciélagos 30, los primates 24 y el hombre apenas 12 mil años, como se muestra en la Figura 1.

La enfermedad de Chagas humana corresponde a una ocurrencia meramente accidental, en donde el hombre empieza a intervenir en el medio ambiente silvestre en donde se lleva a cabo la transmisión del parásito entre insectos hematófagos y animales silvestres.

Cuando el hombre interviene estos nichos para cazar y utilizar recursos para la construcción de su vivienda, altera el ciclo de transmisión y se involucra en él de manera tal que hasta los insectos triatominos se domicilian en sus viviendas encontrando una buena fuente de alimento en las familias humanas y en sus animales doméstico, permaneciendo escondidos en las grietas de las paredes de los ranchos. En esta forma los insectos infectados con el parásito lo transmiten al hombre y sus animales ampliando enormemente su dispersión, al punto que en la actualidad se han reportado alrededor de 15 millones de latinoamericanos infectados con *T. cruzi* (WHO, 2002).

Algunos autores han reportado evidencias de adaptación de triatominos en hábitats humanos hacia el siglo IV A.C. y por otra parte pocos han dedicado su atención al hallazgo de *T. cruzi* en vestigios humanos (Código Florentino de Sahagún, 1995).

2.5 Enfermedad de Chagas en Sudamérica precolombina

Los estudios sobre condiciones osteopatológicas en momias han tenido un considerable desarrollo en la Antropología Física. Sin embargo, en los últimos tiempos, análisis en tejidos blandos han permitido conocer de alguna forma el estado de salud de las poblaciones precolombinas, diagnosticar causas de muerte con cierto grado de exactitud y describir patologías de enfermedades que han sido siempre un problema importante en la salud del hombre como

es el caso de la enfermedad de Chagas, todo esto gracias a que nuevas técnicas de investigación y diagnóstico como la biología molecular han sido desarrolladas para que sean aplicables a materiales arqueológicos.

Los diferentes estudios en restos humanos han generado un gran potencial informativo que junto con datos históricos, complementan la información necesaria para la interpretación de nuestro pasado. De esta forma se pueden establecer vínculos más consistentes entre los datos fisiopatológicos y la naturaleza sociocultural del grupo observado para una reconstrucción más acertada del poblamiento prehispánico (Allison *et al.*, 1984).

La región de origen de las momias en estudio es el valle de Azapa, asiento de una extensa unidad poblacional con características regionales, a la que se le ha llamado cultura Chinchorro. Los Chinchorros fueron unos cazadores pescadores, que se establecieron en las regiones costeras del sur del Perú y norte de Chile, hace aproximadamente 9.000 años.

La movilidad de un lugar a otro jugó quizás un papel importante, debido a la economía de subsistencia. Esto sugiere la hipótesis de oleadas migracionales provenientes de los trópicos que, vía trasandina, llegaron hasta las zonas más áridas.

Climatológicamente esta zona es un lugar muy seco y árido, frecuentemente erosionado por el viento. Las condiciones de escasa humedad hicieron que el sector fuera considerado ideal para habitar, al estar lejos de charcos y ciénagas, habitadas por insectos transmisores de paludismo y otras enfermedades (Carpintero y Viana, 1980).

El término Chinchorro se refiere a una playa en Arica, Chile, donde el arqueólogo alemán Max Uhle, descubrió numerosos cuerpos de momias durante sus excavaciones en 1910. En 1919 Uhle realizó un estudio donde describía las momias de los aborígenes de Arica, dividiéndolas en tres grupos:

- Momias de tipo simple
- Momias de preparación complicada
- Momias cubiertas de barro

En este trabajo se contó con momias del primer tipo las cuales se caracterizan por no tener ninguna evidencia de tratamiento interno del cuerpo (Momificación natural). Hoy en día es usual encontrar momias de este tipo, que fueron secadas por el calor generado por el sol con todos sus órganos intactos debido solo a la falta de agua.

Pudimos extraer un segmento de aADN correspondiente al kinetoplasto de *T. cruzi* que estaba presente en algunos tejidos de cuerpos humanos espontáneamente momificados. Estos cuerpos datan de 2000 hasta 9000 años de antigüedad.

Después de rehidratar las muestras obtenidas de diferentes tejidos, principalmente corazón, esófago e intestino (corresponden al histiotropismo del parásito), el segmento se pudo amplificar utilizando la prueba de PCR.

Estos hallazgos no solamente constituyen el reporte de *T. cruzi* en los cuerpos momificados más antiguos del planeta sino también demuestran las inmensas posibilidades que estas técnicas representan para continuar la búsqueda de un sinnúmero de agentes infecciosos que pudieron afectar a las poblaciones humanas antiguas (Aufderheide, 2004).

2.6 Iniciadores utilizados

Los dos sistemas más importantes recientemente utilizados en la amplificación de ADN son los minicírculos de los cinetoplastos y las secuencias satélites (Madden *et al.*, 2000).

Los iniciadores tienen la siguiente secuencia:

S35: 5'-AAATAATGTACGGGKGAGATGCATGA-3'y

S36: 5'-GGTTCGATTGGGGTTGGTGTAATA-3

2.7 Material de estudio

El material momificado fue provisto por el Dr. Arthur Aufderheide (Paleobiology Laboratory, University of Minnesota, School of Medicine, Duluth, U.S.A.).

Las muestras fueron obtenidas de restos humanos provenientes del desierto de Atacama, Norte de Chile y Sur del Perú. Las condiciones áridas en esta región producen comúnmente momificación espontánea por una rápida desecación de los restos humanos enterrados.

El material utilizado en este estudio fue seleccionado al azar y se trabajaron preferencialmente tejidos como corazón, esófago y colon.

El número de muestras analizadas fue 245. El control negativo (tejido de momificación espontánea de adolescente del desierto de Egipto) incluye muestras de hígado, músculo y pulmón, el control positivo (Fornaciari *et al.*, 1992) provino de una momia inca en la cual se detectó la presencia de *T. cruzi* en tejido cardíaco por microscopía electrónica.

2.8 Amplificación de aADN de *T. cruzi*

En cada reacción de amplificación de 20 l se usaron: Buffer 10X, MgCl₂, KCl, dNTPs, S35 y S36, Taq Polimerasa y 2 ul del ADN extraído. Para las reacciones de PCR se usó un termociclador MJ Research PTC-100 programado con el siguiente perfil térmico. 35 ciclos de 94C 1 minuto, 60C 1 minuto, 72C 1 minuto; una denaturación inicial de 5 minutos a 94C y una extensión final de 5 minutos a 72C. En todas las reacciones de amplificación se incluyeron controles positivos con ADN del parásito de cultivo y blanco de reacción (mezclas de reacción sin ADN).

Después de la amplificación, los productos de PCR obtenidos fueron visualizados por electroforesis en geles de agarosa al 2% y observados bajo luz ultravioleta, los productos de PCR una vez mezclados con el tampón de carga fueron sembrados en los diferentes pozos. Se conectó la cubeta a la fuente de poder y se seleccionó el voltaje (70V, constante). Una vez el ADN completó el recorrido, se tomó una fotografía del mismo.

Para obtener un estimativo del tamaño molecular de las andas, se sirvieron en cada gel marcadores de peso molecular. De esta forma el peso de un fragmento de ADN se puede estimar comparando su movilidad con las de los estándares corridos en el mismo gel. La distancia de cada estándar de peso molecular es medida desde la parte superior del gel, obteniéndose así una curva de calibración. El peso molecular de la banda correspondiente al producto de PCR obtenido, se interpola después con base a su distancia de migración.

Una vez tomadas las fotos de los geles, se procedió a digitalizarlas con ayuda de

un scanner. Las imágenes digitalizadas fueron analizadas con ayuda de un computador Macintosh Quadra 605 utilizando el programa NIH-Image.

Discusión de resultados

El genoma de *T. cruzi* se caracteriza por su abundancia en secuencias de ADN repetitivo, el cual ha sido objeto de estudio y ha sido usado como blanco para la detección e identificación del parásito; aunque una gran parte de estos elementos repetitivos se encuentra en el ADN ribosomal podemos encontrarlo también en los minicírculos de los cinetoplastos; este es un punto de partida adecuado para el análisis e identificación de muestras infectadas con el parásito. Existe una gran razón para la escogencia de esta secuencia de ADN reiterada y es que es esencial tener un número grande de copias de la secuencia blanco para la amplificación por PCR, pues el ADN de copia única es más difícil de ser detectado (Monteón *et al.*, 1994).

Como se indicó anteriormente, en el caso de *T. cruzi* las regiones conservadas de los minicírculos están presentes en cuatro repeticiones situadas a 90 grados unas de otras (Moser *et al.*, 1984), estas mini repeticiones proporcionan secuencias especie-específicas, apropiadas como iniciadores en las reacciones de amplificación de la región adyacente de 330 bp.

Algunos autores también han enfocado sus estudios en la identificación de *T. cruzi* en tejidos momificados a través de técnicas con microscopio electrónico e inmunoquímicas.

Los resultados del presente estudio confirman la aplicación del PCR en situaciones donde otros métodos aunque muy sensibles para el diagnóstico de la enfermedad de Chagas no son viables como es el caso del estudio en momias.

La primera parte del estudio se inicia a partir de ensayos con los controles positivos de ADN de *T. cruzi* de cultivo y el blanco de reacción; se procedió a tener un riguroso control sobre cualquier posible factor de contaminación; incluso se probaron reacciones de amplificación con 25 y 30 ciclos, ya que la disminución del número de ciclos en la reacción de PCR es importante cuando se tienen problemas de contaminación por eventos raros de amplificación en el control negativo. De esta forma, se evitaron interpretaciones erróneas de falsos positivos.

La transición de una subsistencia basada en la caza y recolección a un estado de sedentarismo pudo darse alrededor de los 4000 A.C. (Reinhard *et al.*, 1998). La agricultura y la ganadería son quizá los factores más significativos en el asentamiento de las poblaciones humanas tempranas. Este hecho favorece por su lado que los parásitos puedan establecerse y adaptarse a nuevas condiciones debido a las continuas reinfecciones sobre el hospedero. Carpintero y Viana, 1980 han especulado sobre la adaptación de los triatomíneos a las viviendas humanas y proponen que ésta tuvo lugar muy temprano en un foco de las sierras centrales de Argentina, así como sur de Perú y Bolivia. Además la antigua costumbre de cría de cobayos, de los aborígenes andinos para su consumo, pudo favorecer la adaptación de los triatomas a los hábitats humanos. Por otro lado, grandes mamíferos como los camélidos americanos, probablemente fueron hospederos de *T. infestans* antes de ser domesticados por el hombre.

La presencia de la enfermedad de Chagas en poblaciones ancestrales parece ser un evento netamente accidental, ya que en la medida en que el hombre fue entrando en contacto con los focos naturales del ciclo parasitario, provocó un desequilibrio ecológico (Guhl *et al.*, 2000) forzando

a los triatomíneos a ocupar viviendas humanas; de esta forma los insectos accedieron a una gran oferta de recursos alimenticios y protección de predadores y las inclemencias del tiempo. Comienza así un largo periodo de adaptación de *T. infestans* al ambiente humano favorecida por las migraciones de estos antiguos pobladores y la colonización de nuevas tierras. Los triatominos sufrieron cambios a lo largo de su trayectoria evolutiva pasando de depredadores de invertebrados a hematófagos facultativos y finalmente a hematófagos obligados al ocupar los nichos ocupados por el hombre.

Los cambios morfológicos sufridos a lo largo del tiempo

Sin embargo, también es posible que las primeras poblaciones hubieran adquirido la enfermedad antes de lograr un sedentarismo definitivo, debido a la ingestión de animales muertos que ya estaban infectados con *T. cruzi* y el parásito también se puede transmitir por vía oral tal como ocurre hoy en día.

Otro punto que sustenta la presencia de la enfermedad de Chagas como evento recurrente en estas poblaciones precolombinas del sur del continente, es el hallazgo de cerámicas y artefactos culturales que hacen pensar que se conocía el insecto vector de la enfermedad. Además el material de construcción de viviendas más ampliamente disponible fue la tierra (adobe) con gran cantidad de grietas en las paredes generando un refugio ideal para los insectos

Conclusiones

El acceso al ADN fósil de organismos patógenos y sus insectos transmisores abre un nuevo panorama en la búsqueda e identificación de las enfermedades que afectaron a poblaciones ancestrales.

Este estudio indica que la enfermedad de Chagas fue frecuente en el norte de Chile precolombino, siendo ésta una importante causa de muerte dentro de la población y demuestra cómo el hombre primitivo al intervenir el ciclo silvestre de transmisión obligó a la domiciliación de los insectos vectores en sus viviendas convirtiéndose en un nuevo actor del ciclo epidemiológico de la enfermedad.

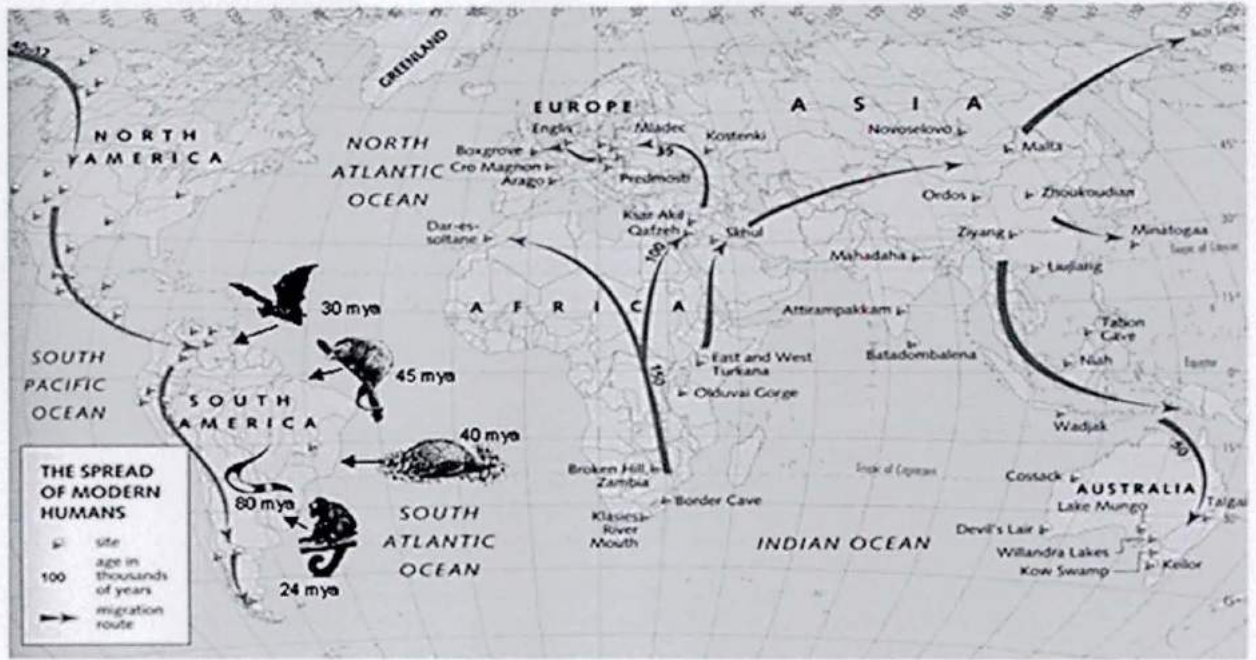


Figura 1. Rutas de migración y distribución de humanos modernos. El contacto humano con *T. cruzi* ocurrió como adición al ya extenso rango de hospederos alrededor de 8 a 10 mil años atrás.

Referencias Bibliográficas

- AUFDERHEIDE, A., 2003. *The Scientific Study of Mummies*, University Press, Cambridge, UK, pp. 608.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION 2002. *Control of Chagas disease. Second Report from the Committee of Experts*. WHO, Series of Technical Reports 905. World Health Organisation, Geneva, Switzerland, 117 pp.
- ROTHHAMMER, F., ALLISON, M.J., NÚÑEZ, L., STADEN, V., ARRIZA, B., 1985. Chagas disease in pre-Columbian South America. *Am. J. Phys. Anthropol.* 68, 495_498.
- GUHL, F., JARAMILLO, C., YOCKTENG, R., VALLEJO, G.A., CÁRDENAS-ARROYO, F., 1997. *Trypanosoma cruzi* DNA in human mummies. *The Lancet* 349 (9062), 1370.
- GUHL, F., JARAMILLO, C., VALLEJO, G.A., YOCKTENG, R., CÁRDENAS-ARROYO, F., FORNACIARI, G., *et al.*, 1999. Isolation of *Trypanosoma cruzi* DNA in 4000 year-old mummified human tissue from Northern Chile. *Am. J. Phys. Anthropol.* 108, 401_407.
- GUHL, F., JARAMILLO, C., VALLEJO, G.A., CÁRDENAS, F., AUFDERHEIDE, A., 2000. Human migration and Chagas disease. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz* 95 (4), 553_555.
- AUFDERHEIDE, A.C., SALO, L.W., MADDEN, M., STREITZ, J., BUIKSTR, J., GUHL, F., *et al.*, 2004. A 9000 year record of Chagas disease. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 101 (7), 2034_2039
- HUNAN MEDICAL COLLEGE (1980) *Study of an ancient cadaver in Mawangtui Tomb No.1 of the Han Dynasty in Changsha*. Beijing: Ancient Memorial Press, p. 184-187.

PÄÄBO S. (1985) Molecular cloning of ancient Egyptian mummy DNA. *Nature* 314: p. 644-645.

SAHAGÚN, BERNARDINO DE. FLORENTINE CODEX: GENERAL HISTORY OF THE THINGS OF NEW SPAIN. Book 12 - the conquest of México. Translated from the Aztec into English, with notes and illustrations, by Arthur J. O. Anderson and Charles E. Dibble. Santa Fe, School of American Research and University of Utah, 1955. illus., maps. (M) [Document number 7]. P. 20, 122 .

ALLISON M. J., FOCACCI G., GERSZTEN G., FOUANT M., CEBELIN M.(1982). La Sífilis una enfermedad Americana. *Revista Chungará.*, N'9-. 275-284.

CARPINTERO D. J., VIANA E. J., (1980). Hipótesis Sobre el Desarrollo de la Tripanosomiasis americana- Casa de la Cultura Ecuatoriana., 73-92.

MADDEN, M., SALO, L.W., STREITZ, J., AUDEHEIDE, A.C., FORNACIERI, G., GUHL, F., *et al.*, 2000. Hybridization screening of very short PCR products for paleoepidemiological studies of Chagas disease. *BioTechniques* 30 (1), 102_104, 106, 108_109.

FORNACIARI G, CASTAGNA M, VIACAVA P, TOGNETTI A, BEVILACQUA G, SEGURA E. (1992) Chagas disease in a Peruvian Inca mummy. *Lancet* 339: p.128-129.

MONTEÓN V. M., REYES P. A., ROSALES J. L., (1994)- Detección de T cruzi, en Muestras Experimentales por el método de Reacción en Cadena de la Polimerasa, *Arch Inst Cardiol Mex.*, 64- 135-143.

MOSER. D. R., KIRCHOFF. L., DONELSON J. E. (1989). Detection of T. cruzi by

DNA amplification using the polimerase chain reaction. *Journal of Clinical Microbiology.* 1477-1482.

STANDEN. V., ALLISON. M., ARRIAZA. V. (1984). Patologías oseas de la población Morro-1, Asociada al complejo Chinchoroae: Norte de Chile. *Revista Chungara.*, No. 13: 175-185. 18. Reinhard KJ. (1998) Mummy studies in archeoparasitology. In A Cockburn, E Cockburn, TA Reyman, Editors. *Mummies, Disease and Ancient Cultures*, Cambridge University Press, Cambridge, p. 377-380.

Cambio climático y brotes epidémicos de Leishmania en Colombia. ¿Hasta dónde existe una relación?

James Montoya Lerma, PhD.

Profesor Asociado, Departamento de Biología, Universidad del Valle. Investigador Grupo de Investigaciones Entomológicas (U. del Valle) e Investigador Asociado Unidad de Entomología Fundación Centro Internacional de Investigaciones Médicas-CIDEIM, Cali-Valle. Correspondencia: Apartado Aéreo 25360 Cali-Colombia. james.montoya@correounivalle.edu.co

Resumen

En los últimos años se da por sentado que las actuales y futuras tendencias al incremento de las temperaturas y el consiguiente cambio climático son determinantes en la ampliación de la distribución e incremento de los patógenos y parásitos transmitidos por insectos. Sin embargo, en contados casos existen pruebas inequívocas de dicha causalidad. En ciertos sistemas (patógeno-parásito-vector-hospederos) las evidencias señalan tendencias al aumento o el descenso de la incidencia de las manifestaciones clínicas) más como respuesta a alteraciones debidas a otros factores (ecológicos, sociológicos, económicos y evolutivos) que a los climáticos. En el presente ensayo se hace un análisis crítico de una situación en particular, enmarcada en la presencia de brotes de leishmaniasis en Colombia. Se plantea que factores como la deforestación y el cambio del paisaje asociados a los procesos de urbanización, ampliación de la frontera agrícola y conflicto armado, juegan un papel preponderante sobre la reproducción, actividad, distribución y contacto de los vectores (infectados) con los hospederos (reservorio y definitivo) del parásito. A lo largo del ensayo se presenta una síntesis de hallazgos que dan soporte a la hipótesis que en Colombia, las manifestaciones epidémicas de leishmaniasis dependen mucho más del contexto de los cambios medio ambientales y sociopolíticos que de

los climáticos. Sin embargo, es evidente que más allá de preceptos conceptuales, en la práctica lo que aplica es una sinergia de los diferentes factores.

Key words: vectores, temperatura, factores de transmisión.

Abstract

Over the last few years, it has been commonly accepted that present and future tendencies towards temperature increase and the resulting climate change are determining factors in the increased distribution and amount of insect transmitted pathogens and parasites. However, in few cases has there been unequivocal proof of such causality. In certain systems (pathogen-parasite-vector-host), evidence indicates that tendencies towards an increase or decrease in the incidence of clinical manifestations are more a response to alterations due to other factors (among others ecological, sociological, economic, evolutionary) than to climate. The present essay presents a critical analysis of a specific situation within the framework of outbreaks of Leishmaniasis in Colombia. It is proposed that factors such as deforestation and changes in the landscape of the countryside associated with processes of urbanization, extension of the agricultural frontier and armed struggle play a preponderant role in the reproduction, activity, distribution and contact of vectors (infected) with hosts

(reservoir and definitive) of the parasite. The effects of some epidemiological factors are also mentioned. Throughout the essay, a summary of findings that support the hypothesis that, in Colombia, epidemiologic manifestations of Leishmaniasis depend much more on the context of ecological and sociopolitical change than on climate change is presented. Nevertheless, it is evident that, beyond conceptual precepts, what applies in practice is a synergy of the various factors.

Key words: vectors, temperature, transmission factors

El clima, el cambio climático y las enfermedades transmitidas por insectos

El clima es un fenómeno atmosférico, de cobertura mundial pero con variaciones regionales en el que confluyen, entre otros, la temperatura, la humedad relativa, la presión atmosférica, la precipitación y los vientos. Está bien documentado que el ser humano ha incidido de forma drástica sobre la naturaleza y la atmósfera ocasionando cambios climáticos que han sido más notorios durante lo que el premio Nobel P. J. Crutzen, definió como el antropoceno, nueva era geológica del Cuaternario, consecutiva al Holoceno, 10.000 años atrás que coincide con el inicio de la agricultura. Sin embargo, los estudios revelan que el mayor y más rápido incremento de temperatura y los denominados gases de invernadero (CO_2 , N_2O y CH_4) se dieron a partir de la mitad del siglo XVIII con el desarrollo industrial. Desde esa época hasta la presente, el promedio de las concentraciones de CO_2 se han elevado más de 100 partes por millón (Shuman, 2011). Lo más complicado es que, a la par, se presenta incremento en las concentraciones de los gases de invernadero y, en consecuencia, las temperaturas promedios han subido

en 0.6°C . en los últimos sesenta años (Pachauri & Reisinger, 2007) y se estiman aumentos cercanos a los 3.8°C . para 2080 (Dhiman *et al.*, 2010). Como consecuencia se presentan alteraciones en varios ciclos naturales, en especial los hidrológicos, con temporadas de sequías y otras de intensas lluvias e inundaciones. Se debe tener en cuenta que el clima condiciona o determina de manera integral las zonas de vida en el planeta y que por tanto, la alteración de alguno o varios de sus elementos conlleva a variaciones de diversa magnitud e intensidad. Se predice que este cambio climático influirá sobre la composición y variación de las estructuras de los ecosistemas tanto naturales como artificiales, con impacto significativo en lo ambiental, la biodiversidad, la salud, así como en las diversas actividades humanas (agrícolas y ganaderas), en especial, con el aumento de plagas y enfermedades. En el caso de insectos de importancia médico veterinaria, por ser organismos ectodérmicos su desarrollo, reproducción, comportamiento y dinámica poblacional están sujetos a las variaciones de la temperatura. Así mismo, el desarrollo de los patógenos y parásitos, que ellos transmiten, también es determinado por la temperatura. En consecuencia, es relativamente simple ligar algunos cambios climáticos aislados (por ejemplo, el fenómeno cíclico de oscilación de El Niño, ENSO) como factores importantes y determinantes en las variaciones (algunas epidémicas) de enfermedades transmitidas por insectos (ETI), tales como malaria (WHO 2011a), dengue (WHO 2011b), virus del Nilo (CDC 2010), oncocercosis (Gage *et al.*, 2008) y leishmaniasis (Cárdenas *et al.*, 2006; 2008; Chaves y Pascual 2006; Chaves *et al.*, 2008).

Sin embargo, no todos los cambios climáticos favorecen la reproducción y dispersión de los vectores y sus agentes

etiológicos. Las temperaturas extremas pueden actuar en ambas direcciones. Además, en el caso de las ETI que son de carácter zoonótico (como en la mayoría de las leishmaniasis), las variables climáticas pueden afectar la distribución y la abundancia de los hospederos mamíferos que, a su vez, alteran la dinámica poblacional del vector y la transmisión del parásito.

En Colombia, durante los últimos cinco años y parte del presente, grandes zonas del país han estado bajo la influencia de los fenómenos de El Niño y La Niña con alternancia de periodos de extrema sequía a olas invernales y en ambos casos responsables de un sin número de problemas, algunos de salud pública, entre ellos la malaria, dengue y leishmaniasis, enfermedades

transmitidas por insectos o ETI (Tabla 1). Sin desconocer el enorme impacto global que el cambio climático tiene sobre las ETI (Gubler *et al.*, 2001) en el presente ensayo abordo la situación de los brotes de leishmaniasis en Colombia a la luz de factores distintos a los climáticos que, a mi juicio, tienen mayor peso en la transmisión del parásito. A manera de contexto presento, en primera instancia y de forma sucinta, el modelo conceptual del ciclo de esta enfermedad, seguido de una revisión de los cambios del paisaje y su influencia en los hábitos del vector y su capacidad de transmitir el parásito. Así mismo se reclama atención sobre las migraciones, principal producto del conflicto armado y el eventual papel del humano como reservorio del parásito. Finalmente, se proveen las pertinentes conclusiones.

Tabla 1. Variación anual del número total de casos e incidencia (número total de casos/10.000 habitantes) de las tres principales ETI (malaria, dengue y leishmaniasis) en Colombia (datos obtenidos a partir de Alcaldía de Medellín, 2011).

Año	Casos	Malaria		Dengue		Leishmaniasis
		P. f.	P. vivax	Clásico	Hemorr.	LC
2006	Total	26057	59897	31362	5373	16152
	Incidencia	2.36	5.44	72.25		129.89
	IPA		IPA			
2007	Total	30065	79028	38803	4645	13385
	Incidencia	2.72	7.16	88.34		106.50
	IPA		IPA			
2008	Total	16416	45285	23651	3081	9512
	Incidencia	1.49	4.10	53.21		76.50
	IPA		IPA			
2009	Total	21638	57560	60915	10164	12232
	Incidencia	1.95	5.19	135.43		98.00
	IPA		IPA			
2010	Total	16911	38972	186204	9612	5704
	Incidencia	1.52	3.50	311.33		
	IPA		IPA			ND

*para 2010 se registra hasta la semana 25.

** IPA: Índice Parasitario Anual (número total de casos/población en riesgo/1000 habitantes).

ND: no disponible; P.f.: *P. falciparum*

¿Qué son las leishmaniasis?

Clínicamente, representan un grupo de enfermedades producidas por al menos 20 especies flageladas del género *Leishmania* que son transmitidas por alrededor de 30 especies de vectores del género *Phlebotomus* (propios del Viejo Mundo) y *Lutzomyia* (en las Américas) y que, eventualmente, requieren de un número, indeterminado, de hospederos (varios mamíferos) para alcanzar al definitivo (generalmente el humano). En términos biológicos todas las *Leishmania* presentan ciclos de vida natural muy similares con formas infectivas, promastigotas, en los vectores y con amastigotas en sus hospederos vertebrados. En ese triángulo epidemiológico se dan interacciones biológicas cuyo dinamismo es difícil de reducir a un esquema o fórmula, dadas las variadas y contrastantes situaciones ecológicas que operan en los continentes donde están presentes. En su conjunto, se puede considerar como un complejo patológico de amplia distribución mundial, de una diversidad clínica y eco-epidemiológica enorme. Posiblemente, su etiología sea una de las más estudiadas desde diferentes disciplinas científicas. Pero, al igual que la malaria, debemos confesar que son muchos los vacíos existentes que siguen desafiando nuestra capacidad investigativa.

En términos epidemiológicos y por simplicidad se reconocen y aceptan al menos dos entidades: 1) la zoonótica, que presupone la participación de hospederos animales como agentes intermedios del parásito y, 2) la antropónota, en la cual el humano actúa tanto como reservorio del parásito y padece la enfermedad. Históricamente, las leishmaniasis americanas fueron enmarcadas en el esquema ortodoxo (paradigma), un tanto acartonado, de un ciclo de transmisión, en el cual todas

las formas clínicas, independiente de sus manifestaciones, se consideraban como entidades ocupacionales pero zoonóticas, asociadas a los ambientes selváticos o silvestres donde el humano contraía la infección al entrar en contacto accidental con el vector infectado. En la actualidad, en muchas zonas se han talado los bosques dando paso a áreas agrícolas y ganaderas sin que se consiga eliminar la enfermedad. Por el contrario, en varias ocasiones se registra aumento en la transmisión que incluso puede ocurrir al interior y alrededor de las viviendas (Valderrama- Ardila *et al.*, 2010). En la leishmaniasis cutánea americana (LCA) se dan una serie de infecciones que, en humanos, pueden ser inaparentes o, por el contrario, presentar un amplio rango de manifestaciones clínicas, que van desde úlceras y lesiones focalizadas (que pueden responder a tratamiento o curar espontáneamente) pasando por lesiones desfigurantes (con serios compromisos mucosos) hasta la forma difusa. Sin embargo, es la leishmaniasis visceral americana (LVA) la que presenta mayor importancia en cuanto que causa en escala altas incidencias, su tratamiento es largo y tiene una tasa de fatalidad alta.

En los últimos cinco años se da por sentado, al igual que pasa con otros patógenos y parásitos transmitidos por insectos, que las actuales y futuras tendencias al incremento de las temperaturas y el consiguiente cambio climático son determinantes en la ampliación de la distribución e incremento de casos de leishmaniasis. Sin embargo, en contadas situaciones existen pruebas inequívocas de dicha causalidad. En este sistema que involucra parásito-vector-hospederos las evidencias, que más adelante se abordan, señalan que las tendencias al aumento o el descenso de la incidencia de las manifestaciones clínicas son más como respuesta a alteraciones debidas a

otros factores (ecológicos, sociológicos, económicos y evolutivos) que a los climáticos.

Es frecuente, aunque no siempre deseable, hacer generalizaciones, en particular cuando éstas resultan útiles al momento de la toma de decisiones y en la planeación de actividades de prevención y control. Sin tener todas las variables en cuenta, al visualizar las incidencias de leishmaniasis reunidas en la Tabla 1, y confrontar las variaciones climáticas dominantes en el país, resulta tentador establecer correlaciones con el cambio climático. En estos casos se suele subestimar la complejidad de las tramas ecológicas y epidemiológicas que, en últimas, son determinantes de la presencia de brotes epidémicos de esta enfermedad. Por ejemplo, existen departamentos (Figura 1) donde la activa deforestación, sea por ampliación de la frontera agrícola, las explotaciones mineras o los enfrentamientos armados, representa la mayor causa del incremento en la incidencia de leishmaniasis. Esto contrasta con departamentos que presentan áreas menos boscosas y que, para efectos de control, pueden ser considerados como consolidadas o de incidencia negativa (Figura 2).

En los últimos años tenemos más información sobre los diferentes procesos dinámicos en el espacio y tiempo, modulados por variaciones que ocurren a diferentes escalas: sociopolíticas, ecológicas y epidemiológicas y, por tanto, no es sorprendente, que las proyecciones en los aumentos de casos en leishmaniasis deban ser revaluadas o reconsideradas a la luz de dichos procesos.

Es claro que las leishmaniasis son sensitivas al clima en especial debido a la dependencia de los sitios de cría preferidos por los flebótomos que dependen, a su vez, de la especie de parásito. En ambos

casos se desconocen aunque basados en información para otras latitudes se asume que varían entre 7 y 37 ° C. y con HR superiores al 70% (Dhiman *et al.*, 2010). Y que, al igual que en dengue y malaria, su transmisión es dependiente de las condiciones sociales. Sin embargo, a diferencia de esas enfermedades, su evolución, es de progreso lento y, por lo tanto, los cambios pueden ser pausados. Además, los diferentes cambios político-sociales (expansión de la frontera agrícola, los transportes, conflictos armados, desplazamientos) y climáticos (incremento de la temperatura, ENSO) se han traducido en adaptaciones ecológicas y, en ocasiones, sobrevivir y multiplicarse en ambientes rurales y urbanos, con el establecimiento de nuevos nichos.

Es así que, en años recientes, el número de casos de ALC ha experimentado aumento no sólo en Colombia sino que también en regiones donde, históricamente, la incidencia de la enfermedad había sido baja (Pereira & Fonseca, 1994; Pardo *et al.*, 1996, Ferro C. com. pers.). Este aspecto, documentado por investigadores de diferentes países, es bastante generalizado y, la mayoría de autores, coincide en asumir que es clara consecuencia de los agresivos procesos de fragmentación, deforestación (Walsh *et al.*, 1993) y posterior urbanización llevados a cabo en América Latina (Campbell-Lendrum *et al.*, 2001 y referencias allí contenidas).

Cambio del paisaje y leishmaniasis

Un aspecto poco considerado pero de capital trascendencia es que la perturbación y consecuente fragmentación de hábitat conduce a la pérdida de biodiversidad lo cual se traduce, en muchas ocasiones, en la eliminación de los enemigos naturales de algunas especies plaga. Las

implicaciones inmediatas, en el campo de las ETI, se expresan en el aumento de las poblaciones de sus vectores y su asociación directa como factores de riesgo en la transmisión de patógenos y parásitos y la correspondiente inclinación de la amenaza de infección hacia niños y mujeres (Oliveira *et al.*, 2004).

Todo lo anterior conlleva al planteamiento de diversos escenarios, con gradientes ecológicos (ecotopos) en el campo de la transmisión de las leishmaniasis. Existen aún, como cabría esperar, el ecotopo selvático, i.e. ambientes prístinos o con baja perturbación (Rotureau, 2006). Estos se constituyen en focos zoonóticos, donde es característica la interdependencia de los parásitos a ciertas especies de *Lutzomyia* vectoras y a un número, indeterminado, de reservorios mamíferos. En estos focos los factores de riesgo están asociados con las actividades desarrolladas en el bosque (caza, pesca, tala, acampado por excursiones científicas o militares). Otros focos, los más comunes, se agrupan en el ecotopo rural. En estas la perturbación es de variable intensidad pero suficiente para afectar la diversidad y hábitos de reservorios y vectores. En estos focos es posible plantear dos situaciones: la primera incluye áreas muy próximas al bosque donde los animales salvajes actúan como reservorios albergando los parásitos mientras que poblaciones de vectores, infectados, pueden migrar desde los parches de vegetación a las viviendas donde al picar transmiten los parásitos a los habitantes y/o sus animales domésticos. Así, inevitablemente, el parásito gana espacio en el nuevo ambiente (reservorios/hospederos). En la segunda instancia, quizá consecuencia del franco proceso de urbanización, la vegetación circundante es mínima, son pocas las especies vectoras y de parásitos pero generalmente adaptadas y establecidas en el entorno. De hecho el vector puede vivir en el entorno: pica tanto dentro como fuera de las casas, alternativamente se alimenta

de animales domésticos, se reproduce posiblemente en los sitios de cría de éstos (en especial aves) y puede llegar a desarrollar resistencia a los insecticidas. Su presencia constituye uno de los principales factores de riesgo que se extienden, en estos casos, a cualquier miembro del núcleo familiar, incluyendo mujeres y niños (Weigle *et al.*, 1993; Yadón *et al.*, 2003).

En síntesis, la transición entre el ambiente selvático y el urbano (Meneses *et al.*, 2002) permite presumir que, como resultado de los cambios de uso de la tierra, se generan nuevos ambientes favorables para aquellos vectores generalistas (*sensu* Ostfeld & Keesing, 2000) que como *Lu. whitmani*, *Lu. intermedia* (Peterson & Shaw, 2003) y *Lu. longipalpis* (Montoya-Lerma, 1996) juegan un papel dominante en la transmisión de LCA y LVA, respectivamente. En Colombia, por ejemplo, en un estudio en un relicto de bosques en Coloso (Sucre) la diversidad de flebotomos fue significativamente mayor comparada con aquella de un foco de LVA situada en los alrededores de la zona (Montoya-Lerma *et al.*, 2003) donde los vectores, *Lu. longipalpis* y *Lu. evansi*, son claramente dominantes (Travi *et al.*, 1996). Una situación muy similar, aunque no cuantificada, es el declive gradual que la diversidad de flebotomos ocurrida en varias localidades del Chocó biogeográfico y zonas de intervención minera y forestal en la Orinoquía del país, como producto de la transformación del paisaje (obs. pers.).

Actuando en forma aditiva se dan factores climáticos y sociológicos (aún no estudiados) que conducen a explosiones, concomitantes o no, de poblaciones de otras especies "oportunistas" (tipo grupos *Verrucarum* y *Helcorcitomyia*) las cuales ocupan, en forma progresiva, nichos ecológicos de singular importancia en la transmisión, con aumento del contacto del vector con las personas y los riesgos de contraer la infección al interior

de las viviendas o sus alrededores. Esta es la situación ecoepidemiológica de los focos con especies que han ocupado un papel secundario pero que alcanzan protagonismos inusuales, como *Lu. migonei* en Sao Paulo (Camargo-Neves *et al.*, 2002) o generan situaciones de brotes epidémicos en áreas urbanas, caso de *Lu. evansi* (Bejarano *et al.*, 2002; González *et al.*, 2006) y *Lu. longiflocosa* (Pardo *et al.*, 1996; 2006; Valderrama-Ardila *et al.*, 2010), en Colombia.

Actividad domiciliar

Uno de los mayores indicadores del cambio lo constituye la pérdida del sesgo de la transmisión hacia los hombres en el grupo etéreo mayor de 15 años. En Brasil, Ampuero *et al.*, (2006) registraron la presencia de lesiones múltiples en el 11.8% (n= 4,464) de pacientes, niños menores de cinco años. Este fenómeno que sugiere que la transmisión ocurre en las áreas peri e intradomiciliares, es una constante para otras áreas en Brasil (Ximenes *et al.*, 2000; Leonardo & Rebêlo, 2004; Oliveira *et al.*, 2004), Colombia (Pardo *et al.*, 1996; Sandoval *et al.*, 1998; Vélez, 2001), Ecuador (Calvopina *et al.*, 2004), Perú (Anónimo, 1997), Venezuela (Rojas *et al.*, 2004), Bolivia (Torrez *et al.*, 1999). También ha sido observado en Tucumán (Argentina) con el agravante que las úlceras en la parte superior del cuerpo de los pacientes favorecen el desarrollo de compromiso mucoso (Vallejo & Villalonga, 1985).

¿Asociaciones únicas?

A pesar de la existencia de sospechas de que otras especies de flebótomos distintas a *Lu. longipalpis* podrían vehicular *Le. infantum* (= *Le. chagasi*) (Pifano & Romero, 1964), durante más de 50 años, a lo largo y ancho de la distribución de LV en América Latina, esta especie fue considerada como el

único vector competente del parásito. El hallazgo de ejemplares de *Lu. evansi* naturalmente infectados con formas infectivas de este parásito (Travi *et al.*, 1990) revivió las dudas a la par que justificaba estudios dirigidos a incriminar esta especie mediante el empleo de los criterios esbozados por Killick-Kendrick & Ward (1981). Después de varios años de estudio fue posible validar la sospecha de la capacidad de adquirir y transmitir *Le. infantum* por parte de *Lu. evansi* (Montoya-Lerma, 1996; Travi *et al.*, 1996) en un foco de la enfermedad en Colombia. Estos estudios sirvieron de partida a las investigaciones de Aguilar *et al.*, (1998) y, posteriormente, de Feliciangeli *et al.*, (1999) en Venezuela quienes registraron, aislaron y caracterizaron, molecularmente, promastigotas de *Le. infantum* obtenidas de especímenes de *Lu. evansi* capturados en áreas endémicas para LVA. Desde 1999, se adelantan estudios encaminados a determinar la extensión del foco de LV y la participación de *Lu. evansi* como vector urbano en varias ciudades de la Costa Caribe de Colombia (Bejarano *et al.*, 2002).

La historia de nuevos vectores, no cesa allí. En Brasil, *Lu. cruzi* (Santos *et al.*, 1998; Santos *et al.*, 2003) y, posteriormente, *Lu. almerioi* (Savani *et al.*, 2008) fueron también registradas como vectores alternos de *Le. infantum*. Recientemente, Salomón *et al.*, (2010) sugieren ante el predominio de *Lu. migonei* en una zona de transmisión activa de LVA que dicho flebótomo puede ser el vector del parásito en un ciclo de carácter accidental. Más interesante, pero a la vez inquietante, es la reciente detección de minicírculos de ADN de *Le. infantum* en glándulas salivales de *Rhipicephalus sanguineus*, la garrapata del perro, en dos áreas geográficamente separadas (Dantas-Torres *et al.*, 2010). Esta versatilidad del parásito hace que se amplifiquen las posibilidades de transmisión.

Fuentes de parásitos

Según Ashford & Crewe (2003) el 80 % de las infecciones parasíticas a humanos son zoonosis. En la transmisión de las leishmaniasis interaccionan al menos dos, pero en ocasiones varias, especies de reservorios. Este es un aspecto que, a pesar de su importancia capital, está relativamente poco explorado y, por tanto, representa uno de los puntos más frágiles en cuanto es mayor lo desconocido que lo confirmado. En el control de estas enfermedades se han planteado medidas como la reducción de las poblaciones del vector (Davies *et al.*, 2000) así como de los reservorios. Sin embargo, esta última medida está dirigida a la LVA, básicamente, mediante eliminación de perros y marsupiales infectados. Sin embargo se han identificado fallas al tratar de limitar el avance de la enfermedad (Costa *et al.*, 2000) lo que sugiere que los perros no son los únicos o, peor aún, los más importantes reservorios del parásito. Las otras leishmaniasis en particular la mucocutánea debidas a *Le. braziliensis* y *Le. panamensis* son consideradas casos típicos de zoonosis. En ellas es necesaria la participación de un hospedero silvestre o doméstico para que el ciclo sea completado.

Las primeras evidencias de la participación de animales salvajes fueron de tipo circunstancial y, en muchos casos, no reportadas en la literatura científica. Los vínculos directos asociando a los reservorios con la infección en humanos llegaron con el advenimiento de técnicas parasitológicas y, actualmente, se apoyan en las moleculares (Ashford, 1997; Santaella-Tenorio, 2008; Cadena, 2009). Los resultados de la búsqueda de infecciones naturales en animales salvajes y domésticos, usando análisis de seroprevalencia sugieren que *Leishmania Viannia* persiste en una estable pero baja prevalencia. Muy probablemente ligado a

un periodo largo de infección (animales portadores). Es necesario hacer estudios longitudinales que permitan determinar la persistencia de la infección.

En ciertos casos el hallazgo y aislamiento de formas flageladas de *Leishmania Viannia* en edentados (Loyola *et al.*, 1986; Calvopina *et al.*, 2004), cuyas poblaciones están, cada vez, más diezmadas plantea serios interrogantes sobre su verdadera funcionalidad como reservorios (De la Pava *et al.*, 2007). Se requiere, por un lado, que sean eficientes amplificadores de la infección y que, el vector, exhiba hábitos eclécticos de alimentación que un alto número de él se alimente sobre los reservorios, que adquieran y desarrollen los parásitos y que, posteriormente, sean atraídos por los humanos a los cuales les transmita las formas infectivas del parásito.

Leishmania y conflicto armado. Los humanos: ¿reservorios del parásito?

Otro factor posiblemente asociado con el incremento inusual de casos lo representa el emplazamiento y movilización de contingentes armados (de ejército e insurgentes) en zonas selváticas y boscosas. La naturaleza compleja de este fenómeno hace casi imposible su estudio en forma directa. Sin embargo, De la Pava *et al.*, (2007) mediante modelación matemática y teniendo en cuenta los resultados de bioensayos (xenodiagnósticos) en los que se logró evidenciar el desarrollo de flagelados, hasta formas infectivas, tomados por flebotomos criados en el laboratorio y alimentados sobre pacientes con leishmaniasis (Montoya *et al.*, 1998) formularon tres modelos donde se muestra la potencial importancia de los humanos como reservorios secundarios de *Leishmania Viannia* en especial, en áreas de movilización de tropas bajo situaciones

de conflicto armado. La importancia de esta hipótesis radica en términos de la biomasa efectiva que los humanos puede ofrecer (alta densidad de humanos en ausencia de otros mamíferos) en áreas donde se ha alterado la biodiversidad. En estas situaciones representan una mayor fuente de ingesta sanguínea a los vectores (Rotureau, 2006).

Aunque limitada, la evidencia de que en el neotrópico, al igual que lo que sucede en la India y en países africanos, los humanos puedan estar participando como fuente de parásitos de *Leishmania* tiene grandes implicaciones y debe ser tenida en cuenta por los tomadores de decisiones. En algunas áreas donde la seroprevalencia de LVA es muy alta (e.g. Teresinha en Brasil) individuos aún asintomáticos pueden ejercer una fuerte atracción a los vectores y representar una cifra significativa que garantiza el establecimiento y amplificación de la transmisión (Costa *et al.*, 2000). Aunque debemos ser prudentes y evitar generalizaciones y tener en claro que la forma visceral es sistema diferente al cutáneo y mucocutáneo pero muy evolutivamente dinámico. Vergel *et al.*, (2006) mediante métodos biológicos y moleculares lograron el aislamiento de *Leishmania Viannia* en piel sana en pacientes con lesiones activas, lo cual estaría demostrando el potencial acceso de parásitos vivos al vector. En pacientes con adicción a drogas inyectadas se ha demostrado que aquellos con leishmaniasis que comparten las agujas y jeringas pueden actuar como verdaderos reservorios representando una forma alterna de transmisión (Molina *et al.*, 2003).

Persistencia y co-infección

La metástasis, i.e. la capacidad del parásito de dispersarse desde una lesión localizada a otra parte del organismo,

ha sido ampliamente documentada en especial para los casos de LC (Vergel *et al.*, 2006). Sin embargo, no está bien establecido si *Leishmania* desaparece en pacientes tratados y considerados como curados, aunque se reconoce que en algunas infecciones virales, bacterianas y por protozoarios (*Trypanosoma cruzi*) existe un periodo largo de persistencia después del tratamiento (Mendoza *et al.*, 2004). En casos humanos de LCA, la persistencia ha sido documentada más de lo que se sospechaba. La evidencia clínica indirecta de la persistencia de *Leishmania* en casos humanos de LCA como lo indica la detección de parásitos en cicatrices (Delgado *et al.*, 1996), el hallazgo de ADN en sangre periférica (Schubach *et al.*, 1998), la reactivación espontánea (Oliveira-Neto *et al.*, 1998) o en pacientes inmunosuprimidos (Sampaio *et al.*, 2002) la persistencia de una respuesta inmune significativa y sostenida durante mucho tiempo después de la cura suficiente para mantener al hospedero revelan como el humano considerado hospedero final se convierte en reservorio de parásitos para los flebótomos (Belkaid *et al.*, 2001).

Relación VIH y Leishmania

Un aspecto que tiene visos de mayor gravedad es el incremento de la coexistencia de las leishmaniasis (sea zoonótica o antrópica) con el SIDA (Ramos-Santos *et al.*, 2000; Silva *et al.*, 2002; Ferreira & Borges, 2002; Morales *et al.*, 2002; Sampaio *et al.*, 2002), básicamente es la ruralización de la última con la urbanización de la primera. Casos de co-infección VIH-*Leishmania* han sido registrados en más de 25 países pero el fenómeno es mucho más evidente en el Viejo Mundo con focos situados en la franja del Mediterráneo europeo y africano (Alvar *et al.*, 1997; Borges *et al.*, 1999). Este ciclo vicioso de interacción en pacientes inmunosuprimidos y co-infectados con

leishmaniasis mucocutánea y visceral, en particular esta última, acelera el curso y progreso de infección del VIH debido a la capacidad del parásito de estimular las citoquinas del tipo Th2 (IL-4, IL-10, entre otras). Se estima en un 20% la mortalidad en pacientes durante el primer episodio de LV y cerca del 70% después de un año (López-Vélez *et al.*, 1998). A su turno, el VIH facilita a los parásitos oportunistas de *Leishmania* diseminarse por, prácticamente, todo el organismo. Por otra parte, independiente del tipo de tratamiento usado, en estas situaciones, existe una tendencia a las recurrencias múltiples, un aspecto con directa afectación sobre los programas de vigilancia (corroborando la presencia y persistencia de infecciones inaparentes), de tratamiento (teniendo en cuenta que una vez iniciado éste, el 30% de los pacientes después de seis meses y entre 60-70% luego de los 12 meses deben someterse a un nuevo esquema terapéutico (López-Vélez *et al.*, 1998) y, obviamente, sobre la calidad de vida del paciente (debido a la recrudescencia de la enfermedad).

Recientemente, el trabajo de Savani *et al.*, (2005) permite especular que, además de los registros de co-infección con VIH, puede existir el riesgo de co-infección con otros parásitos y, por consiguiente, se debe tener especial cuidado en el diagnóstico diferencial.

Conclusión

Es importante entender que el cambio climático no es el único factor que interviene y altera los procesos de transmisión y que los ciclos de las enfermedades transmitidas por vectores dependen no sólo de la dispersión de los insectos sino también de muchos otros factores (endógenos y exógenos) ecológicos y sociales. Las respuestas de las interacciones en muchas especies no

son, para nada, predecibles *a priori* en muchos ecosistemas y que, parafraseando a Osfeld (2009), al investigar debemos poner en práctica la buena ciencia, *i.e.* aplicar el escepticismo de forma igual a las pruebas a favor como en contra de nuestras hipótesis. En el caso de los brotes de leishmaniasis, es evidente que no existe un único factor sino una constelación de ellos que pueden, al interactuar, potenciarse sinérgicamente y tener efectos tanto negativos como positivos en los grados de incidencia de la enfermedad. Como fue expresado por Molineux (2006) hay necesidad de tener un pensamiento holístico acerca de las interacciones entre parásitos y sus infecciones. Todo esto plantea serios desafíos en cuanto hace que el estudio y control de esta enfermedad sean más complejos y costosos.

Agradecimientos

Expreso mi gratitud a B. Travi y H. Cadena, colegas que leyeron e hicieron críticas certeras al borrador del documento. A la Dra. M.C. Echeverry, UNAL, Bogotá por permitir el uso de información. A la Universidad del Valle, Departamento de Biología.

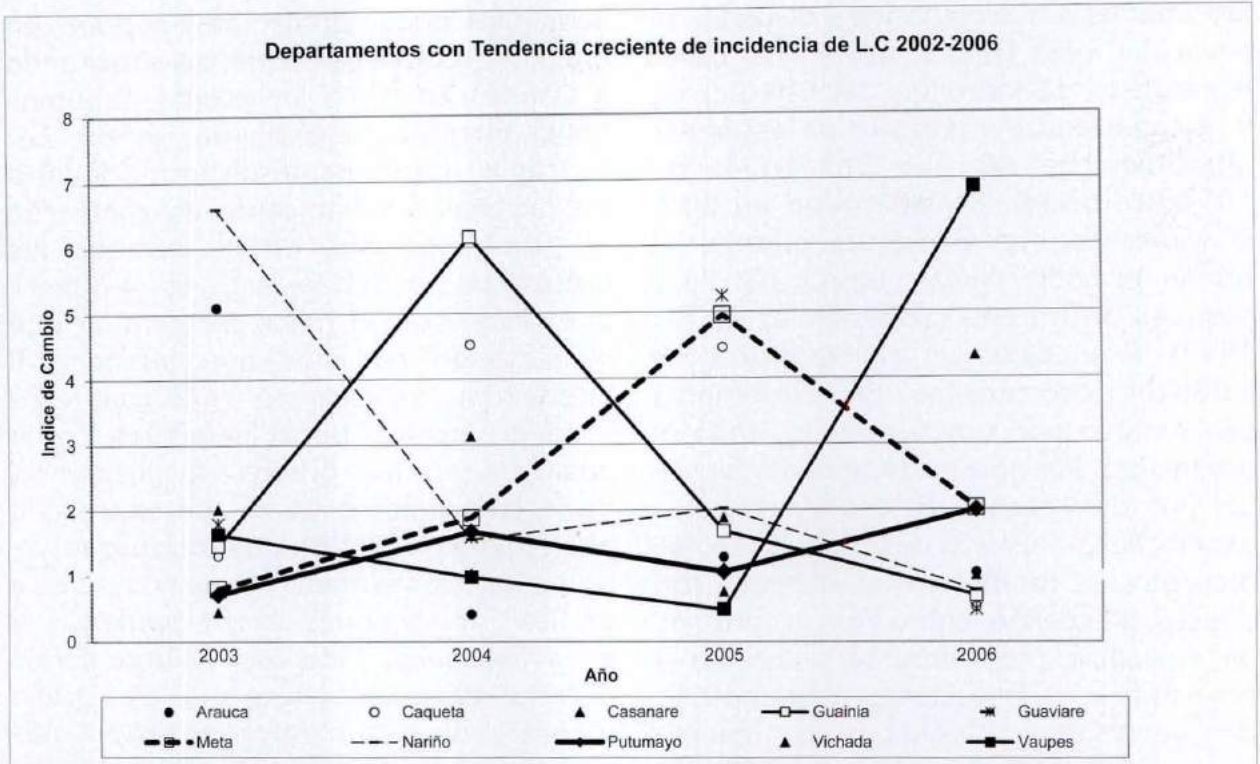


Figura 1. Departamentos de Colombia con tendencia al incremento de la incidencia (número de casos/100.000 habitantes) de LCA entre 2002 y 2006 (con permiso de Dra. M.C. Echeverry, UNAL, Bogotá).

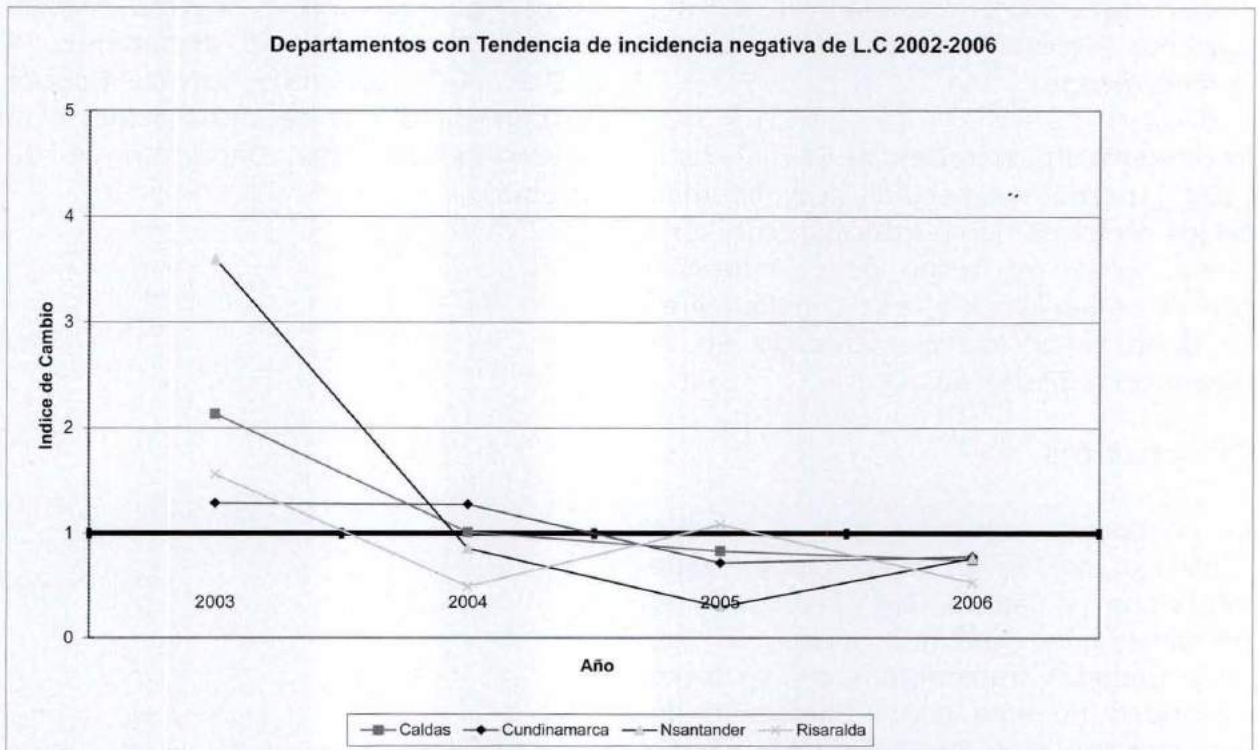


Figura 2. Departamentos de Colombia con tendencia al decremento de la incidencia (número de casos/100.000 habitantes) de LCA entre 2002 y 2006 (con permiso de Dra. M.C. Echeverry, UNAL, Bogotá).

Referencias Bibliográficas

- AGUILAR, C.M., FERNÁNDEZ, E., CANNOVA, D.C., FERRER, E., CABRERA, Z., SOUZA, W.J.S., Coutinho, S.G. 1998. Urban visceral leishmaniasis in Venezuela. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz* 93: 15-16.
- ALCALDÍA DE MEDELLÍN. 2010. Vigilancia epidemiológica de enfermedades transmitidas por vectores (2). www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/wpcccontent/Sites/.../Anexo3.pdf. Última consulta abril 2011.
- ALVAR, J., CANAVATE, C., GUTIÉRREZ-SOLAR, B., JIMÉNEZ, M., LAGUNA, F., LÓPEZ-VÉLEZ, R., MOLINA, R., MORENO, J. 1997. *Leishmania* and human immunodeficiency virus coinfection: the first 10 years. *Clinical Microbiology Reviews* 10: 298-319.
- AMPUERO, J., MACÊDO, V., MARSDEN, P. 2006. Características clínicas da leishmaniose tegumentar em crianças de 0 a 5 anos em uma área endêmica de *Leishmania (Viannia) braziliensis*. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical* 39: 22-26.
- ANÓNIMO. 1997. Las Leishmaniasis en el Perú. *Folia Dermatológica Peruana* 8 (2). En línea http://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/fofia/Vol8_N2/indice.htm. Última consulta abril 15 2011.
- ASHFORD, R.W. 1997. What it takes to be a reservoir host. *Belgian Journal of Zoology* 127: 85-90.
- ASHFORD, R.W. 2007. Disease as a stabilizing factor in the protection of landscape: The leishmaniasis as models. *EcoHealth* 4: 99-103.
- ASHFORD, R.W., CREWE, W. 2003. The parasites of *Homo sapiens*: an annotated checklist of the protozoa, helminths and arthropods for which we are home. Taylor & Francis.
- BEJARANO, E.E., URIBE, S., ROJAS, W., VÉLEZ, I.D. 2002. Phlebotomine sand flies (Diptera: Psychodidae) associated with the appearance of urban leishmaniasis in the city of Sincelejo, Colombia. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz* 97: 645-7.
- BELKAID, Y., HOFFMANN, K.F., MÉNDEZ, S., KAMHAWI, S., UDEY, M.C., WYNN, T.A., SACKS, D.L. 2001. The role of interleukin IL-10 in the persistence of *Leishmania major* in the skin after healing and the therapeutic potential of anti-IL-10 receptor antibody for sterile cure. *Journal of Experimental Medicine* 194: 1497-506.
- BORGES, A.S., MACHADO, FERREIRA, M.S., FIGUEIREDO, J.F.C., SILVA, G.F., CIMERMAN, S., BACHA, H., TEIXEIRA, M.C.L. 1999. Concomitância de leishmanioses e infecção pelos vírus da imunodeficiência humana (HIV): estudo de quatro casos. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical* 32: 713-719.
- CADENA, H. 2009. Distribución de flebotomos, mamíferos silvestres y su rol en un foco endémico de leishmaniasis cutánea en el departamento del Tolima. Tesis de Maestría en Biología. Universidad del Valle, Cali-Colombia.
- CALVOPINA, M., ARMIJOS, R.X., HASHIGUCHI, Y. 2004. Epidemiology of Leishmaniasis in Ecuador: Current Status of Knowledge - A Review. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz* 99: 663-672.
- CAMPBELL-LENDRUM, D., DUJARDIN, J.P., MARTÍNEZ, E., FELICIANGELI, M.D., PERZ, J.E., PASSERAT DE SILANS, L.N.M., DESJEUX, P. 2001. Domestic and peridomestic transmission of

- American cutaneous leishmaniasis: changing epidemiological patterns present new control opportunities. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz* 96: 159-62.
- CÁRDENAS, R., SANDOVAL, C.M., RODRÍGUEZ-MORALES, A.J., VIVAS, P. 2008. Zoonoses and climate variability: The example of leishmaniasis in southern departments of Colombia. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1149: 326-330.
- CÁRDENAS, R., SANDOVAL, C.M., RODRÍGUEZ-MORALES, A.J., FRANCO-PAREDES, C. 2006. Impact of climate variability in the occurrence of leishmaniasis in northeastern Colombia. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 75: 273-277.
- CAMARGO-NEVES, V.L., GOMES, A. DE C., ANTUNES, J.L. 2002. Correlação da presença de espécies de flebotomíneos (Diptera: Psychodidae) com registros de casos da leishmaniose tegumentar americana no Estado de São Paulo, Brasil. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical* 35: 299-306.
- CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION. 2010. West Nile Virus. www.cdc.gov/ncidod/dvbid/westnile (último acceso abril 2011).
- CÓRDOBA-LANÚS, E., DE GROSSO, M., PIÑERO, J.E., VALLADARES, B., SALOMÓN, O.D. 2006. Natural infection of *Lutzomyia neivai* with *Leishmania* spp. in northwestern Argentina. *Acta Tropica* 98: 1-5.
- COSTA, C.H. N., GOMES, R.B.B., SILVA, M.R.B., GARCEZ, L.M., RAMOS, P.K.S., SANTOS, R.S. SHAW, J.J., DAVID, J.R., MAGUIRE J.H. 2000. Competence of the human host as a reservoir for *Leishmania chagasi*. *Journal of Infectious Diseases* 182: 997-1000.
- CHAVES, L.F., COHEN, J.M., PASCUAL, M., WILSON, M. 2008. Social exclusion modifies climate and deforestation impacts on a vector-borne disease. *Public Library of Science Neglected Tropical Diseases* 2: 1-8.
- CHAVES, L.F., PASCUAL, M. 2006. Climate cycles and forecasts of cutaneous leishmaniasis, a non stationary vector borne disease. *Public Library of Science (PLoS) Medicine* 3: 1320-1328.
- DANTAS-TORRES, F., LORUSSO, V., TESTINI, G., DE PAIVA-CAVALCANTI, M., FIGUEREDO, L.A., STANNECK, D.C., MENCKE, N. BRANDAO-FLO, S.P., ALVES, L.C., OTRANTO, D. 2010. Detection of *Leishmania infantum* in *Rhipicephalus sanguineus* ticks from Brazil and Italy. *Parasitology Research* 106: 857-860.
- DE LA PAVA, E. CASTILLO-CHÁVEZ, C., MONTOYA-LERMA, J. 2007. Three mathematical models for endemic cutaneous leishmaniasis considering human, animal host and vector populations. II Conference on Computational and Mathematical Population Dynamics (CMPD2). Sao Paulo, Brasil, 16 - 20 julio, 2007.
- DELGADO, O., GUEVARA, P., SILVA, S., BELFORT, E., RAMÍREZ, J.L. 1996. Follow-up of a human accidental infection by *Leishmania (Viannia) braziliensis* using conventional immunologic techniques and polymerase chain reaction. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 55: 267-72.
- DHIMAN, R.C., PAHWA, S., DHILLON, G.P.S., DASH, A.P. 2010. Climate change and threat of vector-borne diseases in India: Are we prepared?. *Parasitology Research* 106 (4): 763-773.

- FELICIANGELI, M.D., RODRÍGUEZ, N., DE GUGLIELMO, Z., RODRÍGUEZ, A. 1999. The re-emergence of American visceral leishmaniasis in an old focus in Venezuela. II. Vectors and parasites. *Parasite* 6: 113-120.
- GAGE, K.L., BURKOT, T.R., EISEEN, R.J., HAYES, E.B. 2008. Climate and vector diseases. *American Journal of Preventive Medicine* 35: 436-450.
- GONZÁLEZ, C., CABRERA, O.L., MUNSTERMANN, L.E., FERRO, C. 2006. Distribución de los vectores de *Leishmania infantum* (Kinetoplastida: Trypanosomatidae) en Colombia. *Biomédica* 26 (supl. 1): 64-72.
- GUBLER, D.J., REITER, P., EBI, K.L., YAP, W., NASCI, R., PATZ, J.A. 2001. Climate variability and change in the United States: potential impacts on vector- and rodent-borne diseases. *Environmental Health Perspectives* 109 (Suppl 2): 223-33.
- KILLICK-KENDRICK, R., WARD, R.D. 1981. Ecology of *Leishmania*. *Parasitology* 82: 143-152.
- LEONARDO, F.S., REBÊLO, J.M. 2004. A periurbanização de *Lutzomyia whitmani* em área de foco de leishmaniose cutânea, no Estado do Maranhão, Brasil. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical* 37: 282-4.
- LÓPEZ-VÉLEZ, R., PÉREZ MOLINA, J.A., GUERRERO, A., BAQUERO, F., VILLARRUBIA, J., ESCRIBANO, L., BELLAS, C., PÉREZ-CARROL, F., ALVAR, J. 1998. Clinico-epidemiologic characteristics, prognostic factors and survival analysis of patients co-infected with human immunodeficiency virus and *Leishmania* in an area of Madrid, Spain. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 58: 436-443.
- LOYOLA, E.G., ALZATE, A., SÁNCHEZ, A., GONZÁLEZ, A. 1986. Epidemiology of a natural focus of *Leishmania braziliensis* in the Pacific lowlands of Colombia. III. Natural infections in wild mammals. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene* 82: 406-407.
- MENESES, C.R.V., DE AZEVEDO, A.C., DA COSTA, S.M., COSTA, W.A., RANGEL, E.F. 2002. Ecology of American cutaneous leishmaniasis in the state of Rio de Janeiro, Brazil. *Journal of Vector Ecology* 27 (2): 207-214.
- MENDONÇA, M.G., DE BRITO, M., RODRIGUES, E., BANDEIRA, V., JARDIM, M.L., ABATH, F. 2004. Persistence of *Leishmania* parasites in scars after clinical cure of American cutaneous leishmaniasis: is there a sterile cure? *Journal of Infectious Diseases* 189: 1018-23.
- MOLINA, R., GRADONI, L., ALVAR, J. 2003. HIV and the transmission of *Leishmania*. *Annals of Tropical Medicine and Parasitology* 97 (sup.1): S29-S45.
- MOLYNEUX, D.H. 2006. Control of human parasitic diseases: Context and overview. *Advances in Parasitology* 61: 1-45.
- MONTOYA-LERMA, J. 1996. *Biology of the visceral leishmaniasis vectors in the San Andrés de Sotavento focus (Córdoba- Colombia)*. Tesis Doctoral. London School of Hygiene and Tropical Medicine (University of London). Reino Unido.
- MONTOYA-LERMA, J., CADENA, H., OVIEDO, M., READY, P.D., BARAZARTE, R., TRAVI, B.L., LANE, R.P. 2003. Comparative vectorial efficiency of *Lutzomyia evansi* and *L. longipalpis* for transmitting *Leishmania chagasi*. *Acta Tropica* 85: 19-29.

- MONTOYA-LERMA, J., PALACIOS, R., OSORIO, L., JARAMILLO, C., CADENA, H. 1998. Further evidence of humans as a source of *Leishmania (Viannia)* for sand flies. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz* 93:735-6.
- MORALES, M.A., CRUZ, I., RUBIO, J.M., CHICHARRO C., CAÑAVATE, C., LAGUNA, F., ALVAR, J. 2002. Relapses versus reinfections in patients coinfecting with *Leishmania infantum* and human immunodeficiency virus type 1. *Journal of Infectious Diseases* 185:1533-7.
- OLIVEIRA-NETO, M.P., MATTOS, M., SOUZA, C.S.F., FERNANDES, O., PIRMEZ, C. 1998. Leishmaniasis recidiva cutis in New World cutaneous leishmaniasis. *International Journal of Dermatology* 37:846-9.
- OLIVEIRA, C.G., LACERDA, H.G., MARTINS, D.R.M., BARBOSA, J.D.A., MONTEIRO, G.R., QUEIROZ, J.W., SOUSA, J.M.A., XIMENES, M.F.F.M., JERÔNIMO, S.M.B. 2004. Changing epidemiology of American cutaneous leishmaniasis (ACL) in Brazil: a disease of the urban-rural interface. *Acta Tropica* 90: 155-162.
- OSTFELD, R.S. 2009. Climate change and the distribution and intensity of infectious diseases. *Ecology* 90:903-905.
- PACHAURI, R.K., REISINGER, A. EDS. 2007. Climate change 2007; synthesis report—contribution of Working Groups I, II, and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Ginebra.
- PARDO, R.H., FARIETA, S., MUNSTERMANN, L.E., FERRO, C. 1996. Estudio preliminar de los flebotomos de Villeta y Quebradanegra, Cundinamarca: sus implicaciones en salud pública. *Biomédica* 16: 293-302.
- PARDO, R.H., CABRERA, O.L., BECERRA, J., FUYA, P., FERRO, C. 2006. *Lutzomyia longiflora*, posible vector en un foco de Leishmaniasis cutánea en la región subandina del departamento del Tolima, Colombia, y el conocimiento que tiene la población sobre este insecto. *Biomédica* 26: 95-108.
- PEREIRA, G.F.M., FONSECA, H.H.R. 1994. Leishmaniose tegumentar americana: epidemiologia e controle. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical* 27 (Supl. III): 45-50.
- PETERSON, A.T., SHAW, J. 2003. *Lutzomyia* vectors for cutaneous leishmaniasis in Southern Brazil: ecological niche models, predicted geographic distributions, and climate change effects. *International Journal for Parasitology* 33 (9): 919-931.
- PÍFANO, C.F., ROMERO, M.J. 1964. Comprobación de un nuevo foco de leishmaniosis en Venezuela, Valle de Cumanacoa, Edo. Sucre. *Gaceta Médica de Caracas* 72: 473-479.
- RAMOS-SANTOS, C., HERNÁNDEZ-MONTES, O., SÁNCHEZ-TEJEDA, G., MONROY-OSTRIA, A. 2000. Visceral leishmaniosis caused by *Leishmania (L.) mexicana* in a Mexican patient with human immunodeficiency virus infection. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz* 95: 729-33.
- ROTUREAU, B. 2006. Ecology of the *Leishmania* species in the Guianan ecoregion complex. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 74 : 81-96.
- ROJAS, E., SCORZA, J.V., MORALES, G., MORALES, C., BARAZARTE, R., TORRES, A. 2004. Diversity and species composition of sand flies (Diptera: Psychodidae) in a Venezuelan urban focus of cutaneous leishmaniasis.

Journal of the American Mosquito Control Association 20: 189-94.

SALOMÓN, O.D., QUINTANA, M.G., BEZZI, G., MORÁN, M.L., BETBEDER, E., VALDÉZ, D.V. 2010. *Lutzomyia migonei* as putative vector of visceral leishmaniasis in La Banda, Argentina. *Acta Tropica* 113 (1):84-7.

SAMPAIO, R.N.R., SALARO, C.P., RESENDE, P., DE PAULA, C.D.R. 2002. Leishmaniose tegumentar americana associada a AIDS: relato de quatro casos. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical* 35: 651-4.

SANDOVAL, C.M., ANGULO, V.M., GUTIÉRREZ, R., MUÑOZ, G., FERRO, C. 1998. Especies de *Lutzomyia* (Diptera: Psychodidae) posibles vectores de leishmaniasis en la ciudad de Bucaramanga, Santander, Colombia. *Biomédica* 18: 161-168.

SANTAELLA-TENORIO, J. 2008. Evaluación del perro como reservorio y su relación con casos humanos de leishmaniasis cutánea en la zona epidémica de Chaparral - Tolima. Tesis de Maestría. Universidad del del Valle. Cali- Colombia.

SANTOS, S.O., ARIAS, J., RIBEIRO, A.A., HOFFMANN, M.P., FREITAS, R.A., MALACCO, M.A.F. 1998. Incrimination of *Lutzomyia cruzi* as a vector of American visceral leishmaniasis. *Medical and Veterinary Entomology* 12: 315-317.

SANTOS, S.O., ARIAS, J.R., HOFFMANN, M.P., FURLAM, M.B.G., FERREIRA, W.F., PEREIRA, C., FERREIRA, L. 2003. The presence of *Lutzomyia longipalpis* in a focus of American visceral leishmaniasis where the only proven vector is *Lutzomyia cruzi*, Corumbá, Mato Grosso do Sul State. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical* 36: 633-634.

SAVANI, E.S.M., NUNES, V.L.B., GALATI, E.A.B., CASTILHO, T.M., DE ARAÚJO, F.S., NOVAES, I.M., CAMARGO, M.C.G., D'AURIA, S.R.N., FLOETER-WINTER, L.M. 2005. Occurrence of co-infection by *Leishmania (Leishmania) chagasi* and *Trypanosoma (Trypanozoon) evansi* in a dog in the state of Mato Grosso do Sul, Brazil. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz* 100: 739-741.

SAVANI, E.S.M., NUNES, V.L.B., GALATI, E.A.B., CASTILHO, T.M., ZAMPIERI, R.A., FLOETER-WINTER, L.M. 2008. The finding of *Lutzomyia almerioi* and *Lutzomyia longipalpis* naturally infected by *Leishmania* spp. in a cutaneous and canine visceral leishmaniasis focus in Serra da Bodoquena, Brazil. *Veterinary Parasitology* 160:18-24.

SCHUBACH, A., HADDAD, F., OLIVEIRA-NETO, M.P., DEGRAVE, W., PIRMEZ, C., GRIMALDI, G. JR., FERNÁNDEZ, O. 1998. Detection of *Leishmania* DNA by polymerase chain reaction in scars of treated human patients. *Journal of Infectious Diseases* 178:911-4.

SHUMAN, E.K. 2011. Global climate change and infectious diseases. *International Journal of Occupational and Environmental Medicine* 2: 11-19.

SILVA, E.S., PACHECO, R.S., GONTIJO, C.M.F., CARVALHO, I.R., BRAZIL, R.P. 2002. Visceral leishmaniasis caused by *Leishmania (Viannia) braziliensis* in a patient infected with human immunodeficiency virus. *Revista do Instituto de Medicina Tropical de Sao Paulo* 44:145-9.

TRAVI, B.L., VÉLEZ, I.D., BRUTUS, L., SEGURA, I., JARAMILLO, C., MONTOYA, J. 1990. *Lutzomyia evansi* an alternate vector of *Leishmania chagasi* in a Colombian focus of visceral leishmaniasis. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene* 84: 676- 677.

- TRAVI, B.L., GALLEGU, J., MONTOYA, J., JARAMILLO, C., LLANO, R., VÉLEZ, I.D. 1996. Bionomics of *Lutzomyiaevansi* (Diptera: Psychodidae), vector of visceral leishmaniasis in northern Colombia. *Journal of Medical Entomology* 33: 278-285.
- TORREZ, M., LÓPEZ, M., LE PONT, F., MARTÍNEZ, E., MUNOZ, M., HERVAS, D., YAKSIC, N., ARÉVALO, J., SOSSA, D., DEDET, J.P., DUJARDIN, J.P.M. 1999. *Lutzomyia nuneztovari anglesi* (Diptera: Psychodidae) as a probable vector of *Leishmania braziliensis* in the Yungas, Bolivia. *Acta Tropica* 71: 311-316.
- VALDERRAMA-ARDILA, C., ALEXANDER, N., FERRO, C., CADENA, H., MARÍN, D., HOLFORD, T.R., MUNSTERMANN, L.E., OCAMPO, C.B. 2010. Environmental risk factors for the incidence of American cutaneous leishmaniasis in a sub-Andean zone of Colombia (Chaparral, Tolima). *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 82: 243 - 250.
- VALLEJO, L., VILLALONGA, J. 1985. Leishmaniasis infantil. *Revista Argentina de Dermatología* 66: 1-7.
- VÉLEZ, I.D. 2001. La leishmaniosis en Colombia: de la selva a la ciudad. Memorias XXVIII Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología, Pereira, Colombia, p. 51-57.
- VERGEL, C., PALACIOS, R., CADENA, H., POSSO, C.J., VALDERRAMA, L., PÉREZ, M., WALKER, J., TRAVI, B.L., SARAVIA, N.G. 2006. Evidence for *Leishmania (Viannia)* parasites in the skin and blood of patients before and after treatment. *Journal of Infectious Diseases* 194: 503-11.
- WALSH, J.F., MOLYNEUX, D.H., BIRLEY, M.H. 1993. Deforestation: effects on vector-borne disease. *Parasitology* 106 (Suppl.1): S55-75.
- WEIGLE, K.A., SANTRICH, C., MARTÍNEZ, F., VALDERRAMA, L., SARAVIA, N.G. 1993. Epidemiology of cutaneous leishmaniasis in Colombia: environmental and behavioral risk factors for infection, clinical manifestations, and pathogenicity. *Journal of Infectious Diseases* 168: 709-714.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. 2011a. Malaria www.who.int/topics/malaria/en (último acceso abril 2011).
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. 2011b. Dengue. www.who.int/topics/dengue/en (último acceso abril 2011).
- XIMENES, M.F.F.M., CASTELLÓN, E.G., SOUZA, M.F., FREITAS, R.A., PEARSON, R.D., WILSON, M.E., JERÓNIMO, S.M.B. 2000. Distribution of phlebotominae sand flies (Diptera: Psychodidae) in the State of Rio Grande do Norte, Brazil. *Journal of Medical Entomology* 37: 162-169.
- YADÓN, Z.E., RODRIGUES, L.C., DAVIES, C.R., QUIGLEY, M.A. 2003. Indoor and peridomestic transmission of American cutaneous leishmaniasis in northwestern Argentina: a retrospective case-control study. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 68: 519-526.

Ecología de la descomposición y los insectos asociados: Presentación de estudios en Colombia.

Marta Wolff, Ph.D.

Grupo de Entomología Universidad de Antioquia-GEUA,
Medellín-Colombia.
mwolff@matematicas.udea.edu.co.

Insectos y otros invertebrados se alimentan de carroña de forma dependiente del Estado de descomposición y de los factores climáticos. El reconocimiento de las especies implicadas, el patrón y el tiempo de llegada a la escena de los adultos, y posteriormente los huevos y las larvas, junto con el conocimiento de sus tasas de desarrollo, pueden dar una indicación del tiempo de muerte. Como se observa en los estudios citados por Smith (1986), Megnin en 1894, informó ocho períodos de actividad de la fauna cadavérica, también llamadas oleadas de insectos (Megnin, 1984). Otros autores reportan un número diferente de oleadas: Fuller, tres oleadas (Fuller, 1934); Howden, dos ondas (Howden, 1950); Jirón y Cardin, en su estudio con perros informaron cuatro oleadas (Jirón & Cardin, 1981); Johnson, cuatro olas en pequeños mamíferos (Johnson, 1975); Rodríguez y Bass, cuatro oleadas (Rodríguez & Bass, 1983); Utsumi, con perros y ratas describió dos oleadas (Utsumi, 1958); Payne, seis oleadas (Payne, 1965); Lord y Burger, cinco oleadas (Lord & Burger, 1984); Bornemissza, cinco oleadas (Bornemissza, 1957). En estudios más recientes, se establecen cinco fases durante el intervalo postmórtem, asociadas a las actividades de los insectos (Anderson & Sherah, 1996, Ferllini, 1994, Moura et al 1997, Wolff et al., 2001, Pérez et al., 2005, Martínez et al., 2007).

Cada una de las especies de artrópodos tiene una tasa única de comportamiento

del desarrollo, que se modifica por variables climatológicas como la temperatura y la humedad. Otra variable a tener en cuenta es el tipo de patrón de "invasión" del cadáver por insectos, ya que algunas especies están siempre presentes, mientras que otras desaparecen y después vuelven reaparecer. Es importante observar que no todos los invertebrados encontrados cerca de un cadáver se están alimentando en él, y sobre esta base, han sido reconocidas cuatro categorías ecológicas de la comunidad de insectos que se encuentran alrededor de los cuerpos: (1) especies necrófagas (constituyen la categoría más importante para establecer el momento de la muerte), (2) predadores y parásitos de especies necrófagas, (3) especies omnívoras y (4) especies accidentales que utilizan el cadáver como una extensión de su nicho ecológico (Smith, 1986).

En países como Colombia, las condiciones ambientales y climáticas regionales pueden cambiar drásticamente en distancias cortas. En cualquier estudio de este tipo se esperaríamos encontrar un proceso similar de insectos involucrados en el reciclaje de los cadáveres, pero la aparición de las especies involucradas en este proceso debe variar en diferentes regiones climáticas. En Colombia, el estudio se ha direccionado hacia el conocimiento en cada área ecológica, como parte de un gran para identificar la entomofauna que se alimenta de carroña y la ecología de la descomposición cadavérica (sucesiones) en altitudes que

van de 0 a > 3.000 m sobre el nivel del mar (Tabla 1).

En Colombia, sólo hasta el año 1999, se realiza el primer estudio de insectos asociados a cuerpos en descomposición, el cual se hizo, utilizando para ello un perro en Cali (Olaya, 1999) y cerdos en Medellín (1999 de Uribe & Wolff;; Restrepo & Valderrama, 1999) como modelos animales y el primer artículo fue publicado aparece en 2001 (Wolff *et al.*, 2001), con el propósito especial de

conocer las especies en las diferentes zonas bioclimáticas del país, a fin de estudiar la ecología de la descomposición y los insectos de importancia legal, como una herramienta en la determinación de intervalo postmórtem.

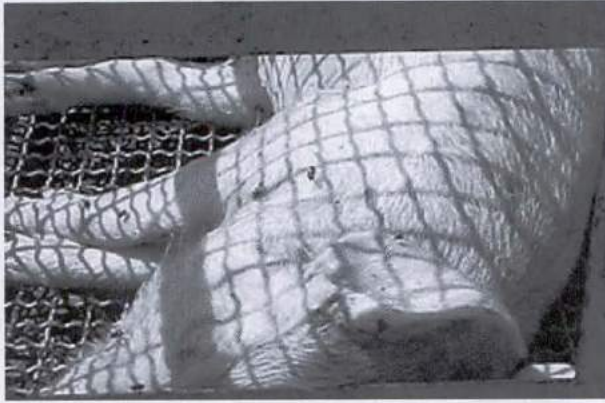
A la fecha en el país, se han realizado más de una veintena de estudios la ecología de la descomposición y los insectos asociados, sin embargo, la gran mayoría no han sido publicados (Tabla 2).

Tabla 1. Estados de descomposición en Colombia, área bioclimática y tiempo de duración

AUTOR	Área bioclimática Altitud (msnm)	ESTADOS DE DESCOMPOSICIÓN				
		Fresco Tiempo	Hinchado Tiempo	Descomposición activa/Tiempo	Descomposición avanzada/Tiempo	Restos Tiempo
Olaya, 1999	bs-T 970	0-2 día	3-9 día	Putrefacto 10-19 día		20+ día
Wolff <i>et al.</i> , 1999	bh-PM 1450	0-1 día	2-6 día	7-12 día	13- día	52+
Ospina & Hoyos, 2003	bh-MB 2543	0-2 día	3-15 día	16-30 día	31-61 día	62+ día
Molano, Castro, Almeciga	bs-MB 2718.	0-3(*)día 0-2 día	4-9(*)día 3-8 día	10-19(*)día 9-14 día	20-88(*)día 15-60 día	89(*)+día 61 día
Grisales & Wolff, 2004	bs-T 0	0-15 horas	15-24 hora	324-72 hora	72-144 hora	144+hour
Pérez <i>et al.</i> , 2005	bh-PM 1450	0-1 día	2-6 día	7-12 día	13-22 día	23+ día
Ramos & Wolff, 2005	Bh-T 305	0-16 horas	20-40:30 hora	44:30-225 hora	237:30-474 hora	486+hour
Vargas & Wolff, 2005	bs-PM 700 -	0-1 día	2-3 día	3-5 día	5-7 día	8+ día
Martínez <i>et al.</i> , 2007	Pàramo-3030	0-3 día	4-16 día	17-30 día	31-51 día	52+ día
Perdomo & Valverde, 2008	bs-T 143	0-1 día	2-4(**)día 2 día	5-7(**)día 3-4 día	8-10(**)día 5-7 día	11(**)+día 8+ día

Tabla 2. Algunos estudios de la ecología de la descomposición y los insectos asociados.

Autor	Año	Ciudad/Departamento	Modelo animal	Tiempo del estudio	Estados de Descomposición
Olaya A.	1999	Cali-Valle	2 perros	50-60 días	Fresco, Hinchado, Descomposición activa, D. avanzada y Restos.
Uribe A& Wolff M	1999	Medellín-Antioquia	1 cerdo	207 días	Fresco, Hinchado, Descomposición activa, D. avanzada y Restos.
Camacho G	2003	Mosquera-Cundinamarca	1 cerdo	184 días	Fresco, Hinchado, Descomposición activa, D. avanzada y Restos.
Ruiz	2003	Cali-Valle	2 cerdos	70 días	Fresco, Enfisematoso, descomposición activa y Restos.
Ospina	2003	Calera-Cundinamarca	1 cerdo	221 días	Fresco, Hinchado, Descomposición activa, D. avanzada y Restos.
Castro <i>et al.</i> ,	2003	Tunja-Boyacá	2 cerdos	88 días	Fresco, Hinchado, Descomposición activa, D. avanzada.
Daza M & Yusseff V	2003	San Onofre	2 cerdos	6 meses	Fresco, Hinchado, Descomposición activa, D. avanzada y Reducción esquelética.
Grisales, Duque & Wolff	2004	Sucre	3 cerdos	12 días	Fresco, Hinchado, Descomposición activa, D. avanzada y Restos.
Builes & Wolff	2004	Medellín-Antioquia	4 conejos	28 días	Fresco, Hinchado, Descomposición activa, D. avanzada y Restos.
Pérez, Duque, Wolff.	2005	Medellín-Antioquia	3 cerdos	36 días	Fresco, Hinchado, Descomposición activa, D. avanzada y Restos.
Ramos & Wolff	2005	Florencia-Caquetá	2 cerdos	37 días	Fresco, Hinchado, Descomposición activa, D. avanzada y Restos.
Vargas & Wolff	2005	Rionegro-Santander	3 cerdos	22 días	Fresco, Hinchado, Descomposición activa, D. avanzada y Momificación.
Zapata & Wolff	2005	Medellín-Antioquia	4 conejos	28 días	Fresco, Hinchado, Descomposición activa, D. avanzada y Restos.
Martínez, Duque, Wolff	2007	Parque Natural Chingaza-Cundinamarca	3 cerdos	120 días	Fresco, Hinchado, Descomposición activa, D. avanzada y Restos.
Perdomo & Valverde	2008	Santa Marta-Magdalena	2 cerdos	15 días	Fresco, Hinchado, Descomposición activa, D. avanzada y Restos.



Fresco



Hinchado



Descomposición activa



Descomposición



Restos

Referencias Bibliográficas

- ANDERSON G., SHERAH V. 1996. Initial studies on insect succession on carrion in southwestern British Columbia, *J. Forensic Sci.* 41: 617-625.
- ARDILLA L. D., WOLFF M. 2007. Sucesión de la entomofauna asociada a dos cerdos en descomposición: expuesto y parcialmente expuesto en la región de Pamplona, MSc Universidad de Pamplona. 53 p.
- BORNEMISSZA G. F. 1957. An analysis of arthropod succ carrion and the effect of its decomposition on the soil fauna, *Aust. J. Zool.* 5: 1-12.
- 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.
- DAZA M. C., YUSSEFF S. Z. 2002. Caracterización de la entomofauna asociada a descomposición cadavérica del cerdo (*Sus scrofa*) empleado como patrón para la descomposición humana en el Municipio de Tunja. Universidad Tecnológica y Pedagógica de Colombia. Facultad de Ciencias. Escuela de Biología Pura. 143 p.
- ESPINAL L. S. 1985. Geografía ecológica del departamento de Antioquia (zonas de vida, formaciones vegetales del departamento de Antioquia). *Revista facultad Nacional de Agronomía Medellín, Universidad nacional de Colombia*, 38(1): 106 p.
- FERLLINI R. 1994. Determinación del tiempo de muerte en cadáveres putrefactos, momificados y saponificados, *Medicina Legal de Costa Rica*. 17-20.
- FULLER M. E. 1934. The insect inhabitants of carrion, a study in animal ecology, *Bull. Council Scientific Industrial Res., Melbourne* 82: 5-62.
- GRISALES D., DUQUE P., WOLFF M. 2004. Estudio de la sucesión de insectos carroñeros en bosque seco tropical, Reserva Natural Sanguare, Sucre-Colombia. Universidad de Antioquia. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. 58 p.
- HOWDEN A.T. 1950. The succession of beetles on carrion, Unpublished Dissertation for Degree of M.S., North Carolina State College, Raleigh, 1950.
- JIRÓN I. F., CARDIN V. M. 1981. Insect succession in the decomposition of the mammal in Costa Rica, *J. New York Entomol. Soc.* 89: 158-165.
- JOHNSON M. D. 1975. Season an microseral variations in insect population on carrion, *Am. Midland Naturalist* 93: 79-90.
- LORD W. D., BURGER J. F. 1984. Arthropods associated with harbor seal (*Phoca vitulina*) carcasses stranded on islands along the New England coast, *Int. J. Entomol.* 26: 282-285.
- MARTÍNEZ E., DUQUE P., Wolff M. 2007. Succession pattern of carrion-feeding insects in Paramo, Colombia. *Forensic Science International.* 166: 182-189.
- MEGNIN P. 1984. La faune des Cadavres, *Encyclope'die Scientifique des Aide-Memoire*, G. Masson, Gauthier Villards et Fils. 214 p.

- MOLANO J., CASTRO J. H., ALMÉCIGA W., WOLFF M. 2003. Estudio preliminar de la sucesión de insectos en cadáver de cerdo (*Sus scrofa*) en la Calera-Cundinamarca. Universidad Francisco José de Caldas. Facultad de Ciencias de la Educación. 118 p.
- MOURA M. O., de CALVALHO C. I. B., MONTEIRO E. L. A. 1997. Preliminary analysis of insects of medico-legal importance in Curitiba, state of Parana, Mem. Inst. Oswaldo Cruz 92 (2): 269-274.
- OLAYA L. A. 1999. Estudio de la Entomofauna sucesional en el cadáver de dos cánidos en condiciones de campo, BSc, Universidad del Valle, Cali, Colombia. 96 p.
- OSPINA M. F. 2003. Insectos asociados a fenómenos de descomposición cadavérica en cerdo blanco (*Sus scrofa*) en el Municipio de Mosquera Cundinamarca. Programa de Biología, Universidad Nacional de Colombia. 23 p.
- PAYNE J. A. 1965. A summer carrion study of the baby pig *Sus scrofa* Illinnaeus, Ecology 46: 592-602.
- HOLDRIDGE L. R. 1967. Life ecology. Tropical Science Center. San José de Costa Rica. I.G.A.C. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 1990. Caquetá Características Geográficas. 13-29.
- PERDOMO E., VALVERDE C., WOLFF M. 2008. Sucesión entomológica en el proceso de descomposición cadavérica en cerdo blanco (*sus scrofa*), bajo dos situaciones (expuesto y parcialmente cubierto) en un bosque seco tropical. Santa Sarta, Colombia. 93 p.
- PÉREZ S., DUQUE P., WOLFF M. 2005. Successional behavior and occurrence matriz of carrion-associate arthropods in the urban area of Medellín, Colombia. Journal Forensic Science. 50 (2): 448-454.
- RAMOS Y., WOLFF M. 2005. Estudio de la entomofauna sucesional asociada a la descomposición de cerdos blancos (*sus scrofa*) en condiciones de campo. Universidad de la Amazonía, Florencia, Caquetá. 103 p.
- RESTREPO F., VALDERRAMA R. 1999. Artropofauna cadavérica asociada a los estados de descomposición del cerdo *Sus scrofa* en dos zonas de vida del Valle de Aburrá. Trabajo de pregrado, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. 90 p.
- RODRÍGUEZ W. C., BASS W. M. 1983. Insect activity and its relationship to decay rates of human cadavers in east Tennessee, J. Forensic Sci. 28: 423-432.
- RUIZ C. A. 2003. Estudio de la entomofauna sucesional asociada a la descomposición de un cerdo (*Sus scrofa*) en condiciones de campo. Programa de Biología, Universidad de Valle Cali. Colombia. 56p.
- SMITH K. G. V. 1986. A Manual of Forensic Entomology, Trustees of the British Museum (Nat. History) and Cornell University Press, London. 205 p.
- UTSUMI K. 1958. Studies on Arthropods congregate to animal carcasses, with regard to the estimation of postmortem interval, J. Ochanomizu Med. J. 7 202-203 (en Japanese with English summary).

VARGAS A. M., WOLFF M. 2005. Patrón sucesional de insectos asociados a cadáveres de cerdos expuestos en bosque seco premontano (bs-PM). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ciencias. Escuela de Biología. 75 p.

WOLFF M., BUILES A., ZAPATA G., MORALES G., BENECKE M. 2004. Detection of parathion (O,O-diethyl O-(4-nitrophenyl) phosphorothioate) by HPLC in insects of forensic importance in Medellín, Colombia. Journal Forensic Medicine and Toxicology. 5 (1) : 6-11.

WOLFF M., URIBE A., ORTIZ A., DUQUE P. 2001. A preliminary study of forensic entomology in Medellín, Colombia. Forensic Science International 120(1-2): 53-59.



Simbosios

**Manejo integrado de plagas
y agricultura de precisión**

MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS Y AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Coordinadora: Dr. Luis Miguel Constantino
Entomología, Cenicafé

Ecoinformática para el manejo integrado de plagas: Un primer acercamiento

Soroush Parsa

CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical).
A.A. 6713, Cali, Colombia.
s.parsa@cgiar.org

Resumen

Las pérdidas que sufre un cultivo por el ataque de plagas dependen de factores locales y factores de paisaje. Generalmente, el entomólogo los estudia por separado. La ecoinformática es un paradigma de investigación observacional que permite estudiarlos simultáneamente integrando múltiples fuentes de datos, entre ellos registros de producción agrícola. Este artículo demuestra el potencial de la ecoinformática aplicada al estudio de infestaciones del gorgojo de los Andes (*Premnotrypes* spp.) y la pulgilla de la papa (*Epitrix* spp.) en 138 lotes de producción de papa en Huancavelica, Perú. El estudio integra datos extraídos de registros de producción con mediciones de campo, generando una matriz de 34 factores de predicción locales y de paisaje para las dos plagas. Los factores locales incluyen la selección del cultivar, la fertilización y el uso de insecticidas. Los factores de paisaje son la proporción del área vecina compuesta por papa y por fuentes de infestación del gorgojo de los Andes. Los resultados se presentan en un sitio de acceso libre en la Internet con la herramienta de visualización de datos Tendalyzer. Esta presentación permite una consulta personalizada de 27,216 visualizaciones

de datos posibles para cada plaga. El artículo usa este caso de estudio para ilustrar la oferta de la ecoinformática para la investigación entomológica; discutiendo sus fortalezas, limitaciones, y necesidades de investigación.

Key words: estudio observacional, estudio experimental, Tendalyzer, *Premnotrypes* spp., *Epitrix* spp.

Abstract

Crop losses to pests are jointly influenced by local and by landscape factors. Generally, entomologists study them separately. Ecoinformatics is an observational research paradigm that allows their simultaneous study by integrating multiple sources of data, among them farmer record-keeping forms. This article demonstrates the potential of ecoinformatics applied to the study infestations by Andean potato weevils (*Premnotrypress* spp.) and potato flea beetles (*Epitrix* spp.) on 138 potato fields in Huancavelica, Peru. The study combined data extracted from record-keeping forms with field measurements, generating a dataset with 34 local and landscape predictors of both pests. The local factors included the cultivar planted, the fertilization regime and the use of

insecticidas. The landscape factors were the proportion of the neighboring area occupied by potato fields and by sources of Andean potato weevil infestations. Results are presented on an open-access website with the data visualization tool Trendalyzer. This presentation method permits a personalized query of 27,216 possible data visualizations for each pest. The article uses this case study to illustrate the potential of ecoinformatics for entomological research; discussing the method's strengths, weaknesses, and research needs.

Key words: observacional study, experimental study, Trendalyzer, *Premnotrypes* spp., *Epitrix* spp.

Introducción

Este artículo explora el potencial de la ecoinformática como método complementario para la investigación en el manejo integrado de plagas (MIP). Específicamente, el artículo busca (1) provocar reflexión sobre una posible fragmentación en la investigación entomológica, (2) generar discusión sobre el potencial de los estudios observacionales para remediar estaposible fragmentación, (3) definir la relación entre los estudios observacionales y la ecoinformática, (4) presentar un caso de estudio en ecoinformática aplicada al MIP, y (5) discutir las fortalezas, debilidades y necesidades de la ecoinformática para el MIP.

Las pérdidas que sufre un cultivo por el ataque de plagas depende de dos tipos de factores: locales y de paisaje. Los factores locales son aquellos que operan desde adentro del lote de producción; por ejemplo, el nivel de resistencia del cultivar sembrado. Los factores de paisaje son aquellos que operan desde afuera del lote de producción; por ejemplo, la disponibilidad natural de controladores

biológicos en zonas aledañas al lote. Ambos grupos de factores actúan simultáneamente en las plagas. Sin embargo, son pocos los estudios que los investigan de manera integral. ¿Por qué?

Una posible explicación radica en que, a diferencia de los factores de paisaje, los factores locales son relativamente fáciles de manipular experimentalmente. Claramente, es mucho más fácil diseñar un experimento para evaluar un insecticida que diseñar un experimento para evaluar una veda. Quizá por eso generalmente preferimos los estudios experimentales para investigar factores locales y recurrimos a estudios observacionales para investigar factores de paisaje. Esta preferencia divisoria puede esconder la intuición de que los estudios observacionales son inferiores a los experimentales, particularmente para la investigación de factores locales. La posición del presente artículo, parcialmente inspirada en debates abordados en otras disciplinas (Diamond, 1983, Miller, 1986, Roe and Just, 2009, Doughty, 1996, Morin *et al.*, 2009), es que ambos tipos de estudio son complementariamente necesarios para una investigación entomológica más robusta (Rosenheim *et al.*, 2011). Por eso mismo, el artículo busca provocar reflexión y debate sobre una aplicación más generalizada de estudios observacionales, y en especial de estudios ecoinformáticos, para facilitar una investigación más integral en el MIP.

La ecoinformática es un paradigma emergente de investigación que aplica avances modernos de la informática y la estadística para facilitar estudios observacionales en ecología, generalmente aprovechando datos pre-existentes (Recknagel, 2006). Su aplicación en la investigación agrícola podría permitirnos aprovechar una copiosa fuente de datos: los registros

de producción (Rosenheim *et al.*, 2011). Un número creciente de agricultores mantiene registros de las actividades asociadas al monitoreo, manejo y cosecha de sus lotes de producción; generando datos observacionales valiosos para la investigación agrícola (e.g., Jiménez *et al.*, 2011, Jiménez *et al.*, 2009, Rochester *et al.*, 2002, Allen and Luttrell, 2009, Parsa *et al.*, 2011). La gradual adopción de la agricultura por ambientes (Maohua, 2001), junto a la creciente demanda de trazabilidad de alimentos (Opara and Mazaud, 2001), apuntan a una gestión de datos de producción más generalizada y homogénea. La oportunidad de integrar, analizar e interpretar estos datos genera un campo fértil para la investigación en el MIP (Rosenheim *et al.*, 2011). Es justamente a este campo de investigación al que el autor llama ecoinformática.

La ecoinformática puede ser particularmente valiosa durante las primeras fases de investigación en MIP, cuando se desconoce el impacto relativo de múltiples factores locales y de paisaje en múltiples plagas de interés (Rosenheim *et al.*, 2011). El presente estudio explora ese potencial aplicado a la investigación simultánea de dos plagas de papa en el Perú: el gorgojo de los Andes (*Premnotryppes* spp.) y la pulguilla de la papa (*Epitrix* spp.). La intención del artículo es más de exponer el potencial del concepto ampliamente que de profundizar en el análisis de las plagas en sí. Por eso, en vez de recurrir a análisis estadísticos convencionales, se opta por facilitar una exploración visual de los datos con la herramienta Web de acceso libre Tendalyzer.

Trendalyzer, conocido también como Gráfico Dinámico de Google, es una herramienta de visualización de datos multi-dimensionales disponible gratuitamente a través de Google Docs. Fue desarrollado por la fundación

Gapminder para facilitar la interpretación de estadísticas socio-económicas globales (Ronnlund and Rosling, 2004). Trendalyzer usa un gráfico de burbuja dinámico para representar cada unidad de observación con cinco variables: dos que la posicionan en los ejes X y Y, dos que ajustan su tamaño y color, y una que posiciona las demás variables en una serie de tiempo. Trendalyzer permite además resaltar en el gráfico observaciones específicas que ameritan un seguimiento más cercano dentro de la población estudiada. Esta herramienta permite una interpretación de datos más intuitiva para no expertos, potencialmente facilitando la participación de agricultores en la fase analítica de la investigación eoinformática.

Materiales y Métodos

Zona de estudio. El estudio fue realizado en seis comunidades de la nación indígena Chopcca, en el departamento de Huancavelica, Perú (74° 45' O, 12° 46' S). Estas comunidades se ubican en una zona montañosa (3.500-4.200 m), fría (6-12° C) y semi-húmeda (500-1.000 mm/año). La papa (*Solanum* spp.) es el cultivo más importante para los Chopcca, quienes la producen en secano una vez por año, aprovechando la temporada de lluvia que empieza en octubre y termina en mayo. El estudio se realizó en la temporada 2008-2009. Los productores Chopcca identifican al gorgojo de los Andes (*P. suturicallus* (Kuschel) y *P. piercei* (Alcalá) y la pulguilla de la papa (*Epitrix* spp.) como las plagas de papa más importantes en la zona.

Unidad de observación. La unidad de observación fue el lote de papa. Se seleccionaron 138 lotes sembrados con los cultivares Yungay (*S. tuberosum*) o Larga (*S. chaucha*). Los lotes pertenecían a 138 productores seleccionados al azar de una lista de 643 productores totales

de las comunidades de Ccasapata, Ccollpaccasa, Chopccapampa, Dos de Mayo y Sotopampa.

Registro de producción. Se diseñó un registro de producción para capturar datos locales asociados a la historia de rotación, siembra, labores culturales y manejo químico del lote durante todo el ciclo de producción. Un estudio preliminar permitió emplear los nombres de productos, términos y unidades más comúnmente usadas por los productores participantes. Los registros contenían insertos de calendarios para facilitar la planificación de actividades y obtener una mejor resolución temporal de la información registrada (Figura 1).

Mediciones locales. Los datos de registros fueron complementados con dos visitas de medición para registrar la elevación, área, perímetro y pendiente del lote (GPSMap 76CSx, Garmin Ltd., Olathe, KS), caracterizar sus propiedades edáficas (Laboratorios Analíticos del Sur; Arequipa, Perú), y estimar la densidad de siembra, altura de aporques, daño por plagas y rendimiento del cultivo (Tabla 1). Las variables independientes GORGOJO y PULGUILLA se estimaron cosechando 40 plantas para calcular el porcentaje de papas con síntomas de daño por estos insectos (Figura 2a, 2c).

Mediciones de paisaje. Usando dispositivos de posicionamiento global (GPSMap 76CSx, Garmin Ltd., Olathe, KS) y un software de información geográfica (ArcGIS, ESRI, Redlands, California, USA) se midieron tres atributos de paisaje a una distancia radial de 100 metros de cada lote (Tabla 1). Esta distancia es corta comparada a otros estudios (e.g., Gardiner *et al.*, 2009), pero funcional en relación a la movilidad del gorgojo de los Andes (Parsa *et al.*, 2011). El primer atributo es el porcentaje del área sondeada compuesta por cultivos

de papa. Este atributo está asociado negativamente con las infestaciones por el gorgojo de los Andes (Parsa *et al.*, 2011). Los otros dos son el número de almacenes de papa en el área sondeada (Figura 2b) y el porcentaje de esa misma área cultivada con papa el ciclo previo al estudio. Ambos atributos son considerados fuentes de infestación del gorgojo de los Andes y están asociados positivamente con las mismas (Parsa *et al.*, 2011).

Análisis. Se tomaron tres pasos para facilitar una exploración libre y personalizada de los datos de este estudio usando la herramienta Trendalyzer. Primero, se subió la matriz de datos a una hoja de cálculo Google Docs. Segundo, se insertó un Gráfico Dinámico a dicha hoja de cálculo. Finalmente, se insertó la hoja de cálculo en un sitio de acceso libre creado en Google Sites.

Resultados

Los resultados de la investigación pueden ser examinados con Trendalyzer accediendo al sitio Web: <https://sites.google.com/a/cgxchange.org/potato-eoinformatics/home>. Si se selecciona GORGOJO o PULGUILLA como variable dependiente en eje Y, la herramienta permite generar 27,216 visualizaciones distintas de los datos para cada insecto, combinando ajustes de las demás variables. La Figura 3 muestra tres visualizaciones representativas para cada una de estas plagas.

Discusión

La misión planteada para la econformática en el MIP es ambiciosa: permitir aprovechar procesos productivos como si fuesen unidades experimentales de un complejo y continuo experimento natural (sensu Diamond, 1983). Esta visión valoriza la experimentación espontánea

del agricultor (Bentley, 2006, Lyon, 1996, Cock, 2007), buscando complementarla con tecnologías que permitan mejorar la interpretación de sus resultados.

Si esta visión se materializa, la ecoinformática puede llegar a ser un instrumento poderoso para el manejo adaptivo activo de cultivos ("active adaptive management;" Shea *et al.*, 2002), en donde cada siembra está acompañada por un plan explícito de aprendizaje. En este sentido, el paradigma adopta componentes exitosos de algunos sistemas de gestión de conocimiento agrícola, como el Sistema de Chequeo de Cultivos (Crop Check; Lacy, 1994) y los Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola (CREA; Foulón, 1982).

La ecoinformática tiene el potencial de facilitar una investigación más integral en el MIP. Por ejemplo, los datos de este estudio permiten explorar simultáneamente asociaciones de factores tanto locales como de paisaje con las infestaciones de dos plagas limitantes en la producción de papa Andina (Figura 3). Este tipo de integración en la investigación del MIP podría guiar a su vez la difícil tarea de integrar tácticas para el manejo simultáneo de múltiples plagas, tarea identificada por expertos como una de las limitantes más importantes en la implementación de un MIP (Ehler, 2006).

Este estudio ilustra la utilidad de una herramienta de visualización de datos como un componente del diverso arsenal analítico disponible para la ecoinformática. Tendalyzer permite una exploración de datos relativamente intuitiva para no expertos, potencialmente facilitando la participación de agricultores en la fase analítica de la investigación. Sin embargo, interpretar estas visualizaciones puede ser difícil cuando los factores influyentes en la variable de respuesta son numerosos y/o

su efecto difuso. Por eso es importante complementar las exploraciones visuales con análisis estadísticos que desagreguen el efecto de cada factor.

Existen muchas herramientas estadísticas paramétricas y no paramétricas valiosas en la ecoinformática. En un artículo anterior, el autor y sus colegas recurrieron a modelos mixtos bajo un enfoque de información teórica (Burnham and Anderson, 2002) para analizar algunos datos del presente estudio (Parsa *et al.*, 2011). Otras herramientas importantes incluyen las regresiones múltiples (Graham, 2003), el pareamiento por puntajes de propensidad (Yuan, 2010), los árboles de clasificación y regresión (De'ath and Fabricius, 2000, De'ath, 2002) y las redes neuronales artificiales (Lek and Guégan, 1999).

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) pueden ser aliados importantes para estudios ecoinformáticos en el MIP. La sola georeferenciación de un lote permite aprovechar fuentes públicas de datos de clima (Hijmans *et al.*, 2005), precipitación (Simpson *et al.*, 1996), topografía (Farr *et al.*, 2007), suelos (Sánchez *et al.*, 2009) e imágenes satelitales (Lauer *et al.*, 1997, Justice *et al.*, 1998). Estos datos pueden ser usados como covariables para controlar el efecto ambiental en los análisis estadístico de los datos (Jiménez *et al.*, 2011, Jiménez *et al.*, 2009).

Es importante ver a la ecoinformática como una ayuda, no una panacea, para el MIP. Al ser un tipo de estudio observacional, tiene una menor validez interna comparada a estudios experimentales, no permitiendo establecer inferencias causales inequívocamente. Además, la ecoinformática afronta el reto de analizar datos de una menor calidad que los datos en la mayoría de estudios observacionales, ya que estos son

colectados por agricultores y no por investigadores. Experiencias equivalentes en la epidemiología (Robins *et al.*, 2000, Fox, 1991) y en la "ciencia ciudadana" (Dickinson *et al.*, 2010) demuestran que estos retos no son insuperables. Sin embargo, el verdadero valor de la ecoinformática yace en su capacidad de complementar, y no de sustituir, los estudios experimentales en el MIP (Rosenheim *et al.*, 2011).

La ecoinformática es un campo fértil para la investigación multidisciplinaria en el MIP. Tres líneas de investigación merecen prioridad: (1) el diseño de sistemas de registro de producción fácilmente adoptables por agricultores (ver Parikh *et al.*, 2006 como modelo), (2) el desarrollo de métodos sencillos de monitoreo de plagas que minimicen el efecto del observador (ver discusión de Musser *et al.*, 2007), y (3) la adaptación de herramientas estadísticas que mejoren las inferencias causales de estudios

observacionales (e.g., Fox, 1991). Estos temas sin duda crearán oportunidades de colaboración estimulantes para entomólogos, agroecólogos, geógrafos, sociólogos rurales, estadísticos y otros profesionales interesados en el desarrollo agrícola sostenible.

Agradecimientos

Agradezco especialmente a mi mentor Jay Rosenheim, pionero intelectual del concepto presentado en este artículo. Raúl Ccanto y el Equipo Yanapai coordinaron la colección de datos. Las ideas presentadas se han beneficiado de conversaciones con Daniel Jiménez, James Cock, John Lacy, Santiago González, Jesús Alcázar, María Scurrah, Édgar Olivera, Jeff Bentley, Perry de Valpine y Tapan Parikh. El estudio de campo se realizó bajo el generoso financiamiento y continuo estímulo del Collaborative Crop Research Program de la Fundación McKnight.

Tabla 1. Lista de variables para estudio ecoinformático de dos plagas de papa en Chopcca.

Variable	Descripción	Escala	Fuente
COMUNIDAD	División política territorial dentro de la nación Chopcca	-	-
TEMPORADA	Año de cosecha del lote	-	-
LOTE	Código asignado aleatoriamente a la unidad de observación	-	-
ALT_LOTE	Altura del lote en metros sobre el nivel del mar (m)	Local	Medición
ÁREA	Área del lote (m ²)	Local	Medición
PERÍMETRO	Perímetro del lote (m)	Local	Medición
PEDIENTE	Pendiente promedio del lote (cm)	Local	Medición
ARENA	Porcentaje de arena del suelo (%)	Local	Medición
LIMO	Porcentaje de limo del suelo (%)	Local	Medición
ARCILLA	Porcentaje de arcilla del suelo (%)	Local	Medición
ROTACIÓN_2007	Uso del lote durante temporada 2007-2008	Local	Registro
ROTACIÓN_2006	Uso del lote durante temporada 2006-2007	Local	Registro
DÍA_SIEMBRA	Día de siembra, en días transcurridos desde 1/10 (DDO)	Local	Registro
CULTIVAR	Cultivar de papa sembrado en el lote	Local	Registro
DIST_SURCO	Distancia promedio entre surcos (cm)	Local	Medición
DIST_PLANTA	Número de plantas en 5 m de surco	Local	Medición

Variable	Descripción	Escala	Fuente
FERT_ORGÁNICO	Cantidad de guano aplicado por planta (g/planta)	Local	Registro
FERT_QUÍMICO	Cantidad de fertilizante químico aplicado por planta (g/planta)	Local	Registro
CENIZA	Aplicación de ceniza en la siembra	Local	Registro
CARBOFURÁN	Aplicación del insecticida Carbofurán en la siembra	Local	Registro
DESYERBO	Eliminación de malezas	Local	Registro
ALT_APORQUE	Altura del aporque o surco (cm)	Local	Medición
INSECT_DIC	Aplicaciones de insecticida químico en diciembre	Local	Registro
INSECT_ENE	Aplicaciones de insecticida químico en enero	Local	Registro
INSECT_FEB	Aplicaciones de insecticida químico en febrero	Local	Registro
INSECT_MAR	Aplicaciones de insecticida químico en marzo	Local	Registro
INSECT_TOT	Aplicaciones de insecticida	Local	Registro
DÍA_COSECHA	Día de cosecha y muestreo de rendimiento, en DDO	Local	Medición
RENDIMIENTO	Peso total de tubérculos (Kg./40 plantas)	Local	Medición
GORGOJO	Porcentaje de infestación por <i>Premnotrypes</i> spp. (%)	Local	Medición
PULGUILLA	Porcentaje de infestación por <i>Epitrix</i> spp. (%)	Local	Medición
PH	pH del suelo después de cosechar	Local	Medición
MO	Materia orgánica del suelo después de cosechar (%)	Local	Medición
p	Fósforo del suelo después de cosechar (ppm)	Local	Medición
K	Potasio del suelo después de cosechar (ppm)	Local	Medición
ÁREA_DILUYENTE	Porcentaje del área a 100 m del lote en papa el ciclo presente (%)	Paisaje	Medición
ÁREA_FUENTE	Porcentaje del área a 100 m del lote en papa el ciclo anterior (%)	Paisaje	Medición
ALMACENES	Número de almacenes de papa a 100 m del lote	Paisaje	Medición

Manejo de plagas de papa 2008-2009

Ficha de monitoreo y evaluación



Consentimiento

ESTIMADOS COLABORADORES: Ustedes han sido uno de las 200 familias Chopcca sorteadas para participar en un estudio para aprender a controlar mejor el "papa luyu". Su colaboración es valiosa y muy valiosa para todos los que queremos aprender a usar menos venenos para producir papas más naturales. El estudio NO LES VA A TOMAR MUCHO TIEMPO, solo les pedimos que nos ayuden sus actividades de producción de UNA SOLA CHACRA; por ejemplo en esta fecha sembrar la papa o sacarla cuchara de veneno mojado en su mochila. Para ayudarles, les vamos a dar un registro fácil de llenar, y les vamos a mandar un ayudante para llenarlo bien. Los ayudantes les van a sacar dos venenos, media hora cada vez. Cuando llegue la mochila, vamos a marcar 40 puntos solo para contar cuantas papas están dañadas con el "papa luyu". No nos vamos a llevar ninguna papa, solo queda para Uds. A todos los que llenan bien el registro, después de analizar el estudio, les vamos a entregar un informe especial con recomendaciones de cómo manejar mejor el "papa luyu".

- ¿Desea participar en el estudio? Si No
- ¿Participaste en el estudio en año anterior? Si No
- Nombre: _____ Sexo: Hombre Mujer Edad: _____ años
- ¿Quién fumiga tu chacra de papa? No fumigamos Yo mismo Mi esposo Mi esposa Mi hijo Mi hija Otro: _____
- ¿Quién contrata al fumigador pagado? Yo mismo Mi esposo Mi esposa
- ¿Esta presente la persona que fumiga tu chacra o contrata al fumigador? Si No
- Centro poblado: 1. Choccapampa B 2. Choccapampa A 3. Comaspa 4. Soropampa 5. Colapampa 6. Dos de Mayo
- Barrio: _____
- Fecha: _____
- Ayudante: 1. Adán 2. Juan 3. Príncipe 4. Javier 5. Alfredo 6. Raúl 7. Otro: _____

Datos de chacra

- ¿Va a sembrar Papaya o Large puros en esta chacra este año? 1. Papaya 2. Large 3. Los dos 4. Ninguno
 - AYUDANTE:** Si sembras los dos, dar monedas: 1. Cero + Papaya 2. Solo + Large
 - ¿En que parte está la chacra? _____
 - ¿Cuándo vas a sembrar la chacra?
- | OCTUBRE | | | | | | | NOVIEMBRE | | | | | | | DICIEMBRE | | | | | | |
|---------|----|----|----|----|----|----|-----------|----|----|----|----|----|----|-----------|----|----|----|----|----|----|
| L | M | J | V | S | D | | L | M | J | V | S | D | | L | M | J | V | S | D | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 |
| 29 | 30 | 31 | | | | | 29 | 30 | 31 | | | | | 29 | 30 | 31 | | | | |
- ¿Qué forma de siembra utilizas vas a usar? 1. Aboncho 2. Chajna 3. Ojivo 4. Otro: _____
 - ¿Cuántos yuntas tiene la chacra? _____ yuntas
 - ¿Qué tamaño es tu semilla? 1. Primera grande 2. Segunda mediana 3. Tercera pequeña
 - ¿Qué sembraste el año pasado en la chacra? 1. Nada (sin cenizas) 2. Pape 3. Cebada 4. Habas 5. Quinoa 6. Avena 7. Trébol 8. Otro: _____
 - ¿Qué sembraste hace dos años en la chacra? 1. Nada (sin cenizas) 2. Pape 3. Cebada 4. Habas 5. Quinoa 6. Avena 7. Trébol 8. Otro: _____

Primera fumigación

Fumigación	Fecha																																																																																																																																																			
	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="7">DICIEMBRE</th> <th colspan="7">ENERO</th> <th colspan="7">FEBRERO</th> </tr> <tr> <th>L</th><th>M</th><th>J</th><th>V</th><th>S</th><th>D</th><th></th> <th>L</th><th>M</th><th>J</th><th>V</th><th>S</th><th>D</th><th></th> <th>L</th><th>M</th><th>J</th><th>V</th><th>S</th><th>D</th><th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td> <td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td> <td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td> </tr> <tr> <td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td> <td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td> <td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td> </tr> <tr> <td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td><td>21</td> <td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td><td>21</td> <td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td><td>21</td> </tr> <tr> <td>22</td><td>23</td><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td> <td>22</td><td>23</td><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td> <td>22</td><td>23</td><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td> </tr> <tr> <td>29</td><td>30</td><td>31</td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td>29</td><td>30</td><td>31</td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td>29</td><td>30</td><td>31</td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </tbody> </table>	DICIEMBRE							ENERO							FEBRERO							L	M	J	V	S	D		L	M	J	V	S	D		L	M	J	V	S	D		1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	8	9	10	11	12	13	14	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	15	16	17	18	19	20	21	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	22	23	24	25	26	27	28	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31					29	30	31					29	30	31				
DICIEMBRE							ENERO							FEBRERO																																																																																																																																						
L	M	J	V	S	D		L	M	J	V	S	D		L	M	J	V	S	D																																																																																																																																	
1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7																																																																																																																																
8	9	10	11	12	13	14	8	9	10	11	12	13	14	8	9	10	11	12	13	14																																																																																																																																
15	16	17	18	19	20	21	15	16	17	18	19	20	21	15	16	17	18	19	20	21																																																																																																																																
22	23	24	25	26	27	28	22	23	24	25	26	27	28	22	23	24	25	26	27	28																																																																																																																																
29	30	31					29	30	31					29	30	31																																																																																																																																				

- ¿Fumigaste tú o alguien de tu familia? Si No
- ¿Quién fumiga tu chacra? 1. Yo mismo 2. Mi esposo 3. Mi esposa 4. Otro: _____
- ¿De qué capacidad era la mochila? 1. 75 litros 2. 20 litros 3. Otro: _____

<input type="checkbox"/> ¿Haste abono foliar? <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No
<input type="checkbox"/> ¿Cuántas cucharadas de foliar por mochila? _____
<input type="checkbox"/> ¿Que foliar usaste? _____ <input type="checkbox"/> No se

<input type="checkbox"/> ¿Haste veneno para burros? <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No
<input type="checkbox"/> ¿Cuántas cucharadas de veneno por mochila? _____
<input type="checkbox"/> ¿Que veneno usaste? <input type="checkbox"/> 1. Lasser <input type="checkbox"/> 2. Tamaron <input type="checkbox"/> 3. Serrán <input type="checkbox"/> 4. Fumigador líquido <input type="checkbox"/> 5. Otro: _____ <input type="checkbox"/> No se
<input type="checkbox"/> ¿Que quieres controlar? <input type="checkbox"/> 1. Comaspa <input type="checkbox"/> 2. Papa luyu <input type="checkbox"/> 3. Papa papaj <input type="checkbox"/> 4. Otro: _____

- ¿Pagaste a un fumigador? Si No
- Nombre del fumigador: _____ No se su nombre
- Comunidad del fumigador: _____ No se su comunidad
- ¿Qué le contrataste? 1. Yo mismo 2. Mi esposo 3. Mi esposa 4. Otro: _____
- ¿Cuánto pagaste por mochila? _____
- ¿Su mochila tenía abono foliar? Si No No se

<input type="checkbox"/> ¿Su mochila tenía veneno? <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> No se
<input type="checkbox"/> ¿Que veneno? <input type="checkbox"/> 1. Lasser <input type="checkbox"/> 2. Tamaron <input type="checkbox"/> 3. Serrán <input type="checkbox"/> 4. Fumigador líquido <input type="checkbox"/> 5. Otro: _____ <input type="checkbox"/> No se
<input type="checkbox"/> ¿Que quieres controlar? <input type="checkbox"/> 1. Comaspa <input type="checkbox"/> 2. Papa luyu <input type="checkbox"/> 3. Papa papaj <input type="checkbox"/> 4. Otro: _____

Actividades de siembra

Siembras	Fecha																																																																																																																																																			
	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="7">OCTUBRE</th> <th colspan="7">NOVIEMBRE</th> <th colspan="7">DICIEMBRE</th> </tr> <tr> <th>L</th><th>M</th><th>J</th><th>V</th><th>S</th><th>D</th><th></th> <th>L</th><th>M</th><th>J</th><th>V</th><th>S</th><th>D</th><th></th> <th>L</th><th>M</th><th>J</th><th>V</th><th>S</th><th>D</th><th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td></td> <td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td> <td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td> </tr> <tr> <td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td> <td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td> <td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td> </tr> <tr> <td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td><td>21</td> <td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td><td>21</td> <td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td><td>21</td> </tr> <tr> <td>22</td><td>23</td><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td> <td>22</td><td>23</td><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td> <td>22</td><td>23</td><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td> </tr> <tr> <td>29</td><td>30</td><td>31</td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td>29</td><td>30</td><td>31</td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td>29</td><td>30</td><td>31</td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </tbody> </table>	OCTUBRE							NOVIEMBRE							DICIEMBRE							L	M	J	V	S	D		L	M	J	V	S	D		L	M	J	V	S	D		1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	8	9	10	11	12	13	14	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	15	16	17	18	19	20	21	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	22	23	24	25	26	27	28	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31					29	30	31					29	30	31				
OCTUBRE							NOVIEMBRE							DICIEMBRE																																																																																																																																						
L	M	J	V	S	D		L	M	J	V	S	D		L	M	J	V	S	D																																																																																																																																	
1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7																																																																																																																																
8	9	10	11	12	13	14	8	9	10	11	12	13	14	8	9	10	11	12	13	14																																																																																																																																
15	16	17	18	19	20	21	15	16	17	18	19	20	21	15	16	17	18	19	20	21																																																																																																																																
22	23	24	25	26	27	28	22	23	24	25	26	27	28	22	23	24	25	26	27	28																																																																																																																																
29	30	31					29	30	31					29	30	31																																																																																																																																				

- ¿Aplicaste guano? Si No
- Tipo de guano: 1. Guano de corral 2. Guano de mar 3. Otro: _____
- ¿Un puñado de guano por cuantas matas? _____ apoya puycoy
- ¿Cuántos sacos de guano entraron en la chacra? _____
- ¿Mezclaste ceniza con tu guano? Si No

- ¿Aplicaste fertilizante químico? Si No
- Tipo de fertilizante químico: 1. Fosfato diamónico 2. Cloruro de potasio 3. Urea 4. 20/20/20 5. Otro: _____
- ¿Un puñado de fertilizante químico por cuantas matas? _____ apoya puycoy
- ¿Cuántos kilos de fertilizante químico entraron en la chacra? _____

- ¿Aplicaste veneno granulado? Si No
- ¿Que veneno usaste? 1. Furadan 2. Furaxol 3. Korax 4. Otro: _____
- ¿Cuántos kilos de veneno granulado entraron en la chacra? _____

- ¿Aplicaste cal? Si No
- ¿Un puñado de cal por cuantas matas? _____ apoya puycoy
- ¿Cuántos kilos de cal entraron en la chacra? _____

- ¿Aplicaste ceniza para (no mezclada en el guano)? Si No
- ¿Un puñado de ceniza por cuantas matas? _____ apoya puycoy
- ¿Cuántos sacos de ceniza entraron en la chacra? _____

- ¿Vas a despetar tu chacra? Si No ¿Cuándo vas a despetar? _____
- ¿Vas a fumigar tu chacra? Si No ¿Cuándo vas a fumigar? _____
- ¿Cuándo vas a aporcar tu chacra? _____

Labores culturales

Desyerbo	Fecha																																																																																																		
	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="7">DICIEMBRE</th> <th colspan="7">ENERO</th> </tr> <tr> <th>L</th><th>M</th><th>J</th><th>V</th><th>S</th><th>D</th><th></th> <th>L</th><th>M</th><th>J</th><th>V</th><th>S</th><th>D</th><th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td> <td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td> </tr> <tr> <td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td> <td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td> </tr> <tr> <td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td><td>21</td> <td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td><td>21</td> </tr> <tr> <td>22</td><td>23</td><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td> <td>22</td><td>23</td><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td> </tr> <tr> <td>29</td><td>30</td><td>31</td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td>29</td><td>30</td><td>31</td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </tbody> </table>	DICIEMBRE							ENERO							L	M	J	V	S	D		L	M	J	V	S	D		1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31					29	30	31				
DICIEMBRE							ENERO																																																																																												
L	M	J	V	S	D		L	M	J	V	S	D																																																																																							
1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7																																																																																						
8	9	10	11	12	13	14	8	9	10	11	12	13	14																																																																																						
15	16	17	18	19	20	21	15	16	17	18	19	20	21																																																																																						
22	23	24	25	26	27	28	22	23	24	25	26	27	28																																																																																						
29	30	31					29	30	31																																																																																										

Primer aponque	Fecha																																																																																																		
	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="7">ENERO</th> <th colspan="7">FEBRERO</th> </tr> <tr> <th>L</th><th>M</th><th>J</th><th>V</th><th>S</th><th>D</th><th></th> <th>L</th><th>M</th><th>J</th><th>V</th><th>S</th><th>D</th><th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td> <td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td> </tr> <tr> <td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td> <td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td> </tr> <tr> <td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td><td>21</td> <td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td><td>21</td> </tr> <tr> <td>22</td><td>23</td><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td> <td>22</td><td>23</td><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td> </tr> <tr> <td>29</td><td>30</td><td>31</td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td>29</td><td>30</td><td>31</td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </tbody> </table>	ENERO							FEBRERO							L	M	J	V	S	D		L	M	J	V	S	D		1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31					29	30	31				
ENERO							FEBRERO																																																																																												
L	M	J	V	S	D		L	M	J	V	S	D																																																																																							
1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7																																																																																						
8	9	10	11	12	13	14	8	9	10	11	12	13	14																																																																																						
15	16	17	18	19	20	21	15	16	17	18	19	20	21																																																																																						
22	23	24	25	26	27	28	22	23	24	25	26	27	28																																																																																						
29	30	31					29	30	31																																																																																										

Segundo aponque	Fecha																																																																																																		
	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="7">FEBRERO</th> <th colspan="7">MARZO</th> </tr> <tr> <th>L</th><th>M</th><th>J</th><th>V</th><th>S</th><th>D</th><th></th> <th>L</th><th>M</th><th>J</th><th>V</th><th>S</th><th>D</th><th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td> <td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td> </tr> <tr> <td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td> <td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td> </tr> <tr> <td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td><td>21</td> <td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td><td>21</td> </tr> <tr> <td>22</td><td>23</td><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td> <td>22</td><td>23</td><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td> </tr> <tr> <td>29</td><td>30</td><td>31</td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td>29</td><td>30</td><td>31</td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </tbody> </table>	FEBRERO							MARZO							L	M	J	V	S	D		L	M	J	V	S	D		1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31					29	30	31				
FEBRERO							MARZO																																																																																												
L	M	J	V	S	D		L	M	J	V	S	D																																																																																							
1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7																																																																																						
8	9	10	11	12	13	14	8	9	10	11	12	13	14																																																																																						
15	16	17	18	19	20	21	15	16	17	18	19	20	21																																																																																						
22	23	24	25	26	27	28	22	23	24	25	26	27	28																																																																																						
29	30	31					29	30	31																																																																																										

Figura 1. Registros de producción diseñados para capturar datos de variables locales para estudios de infestación de dos plagas de papa en la nación Chopcca

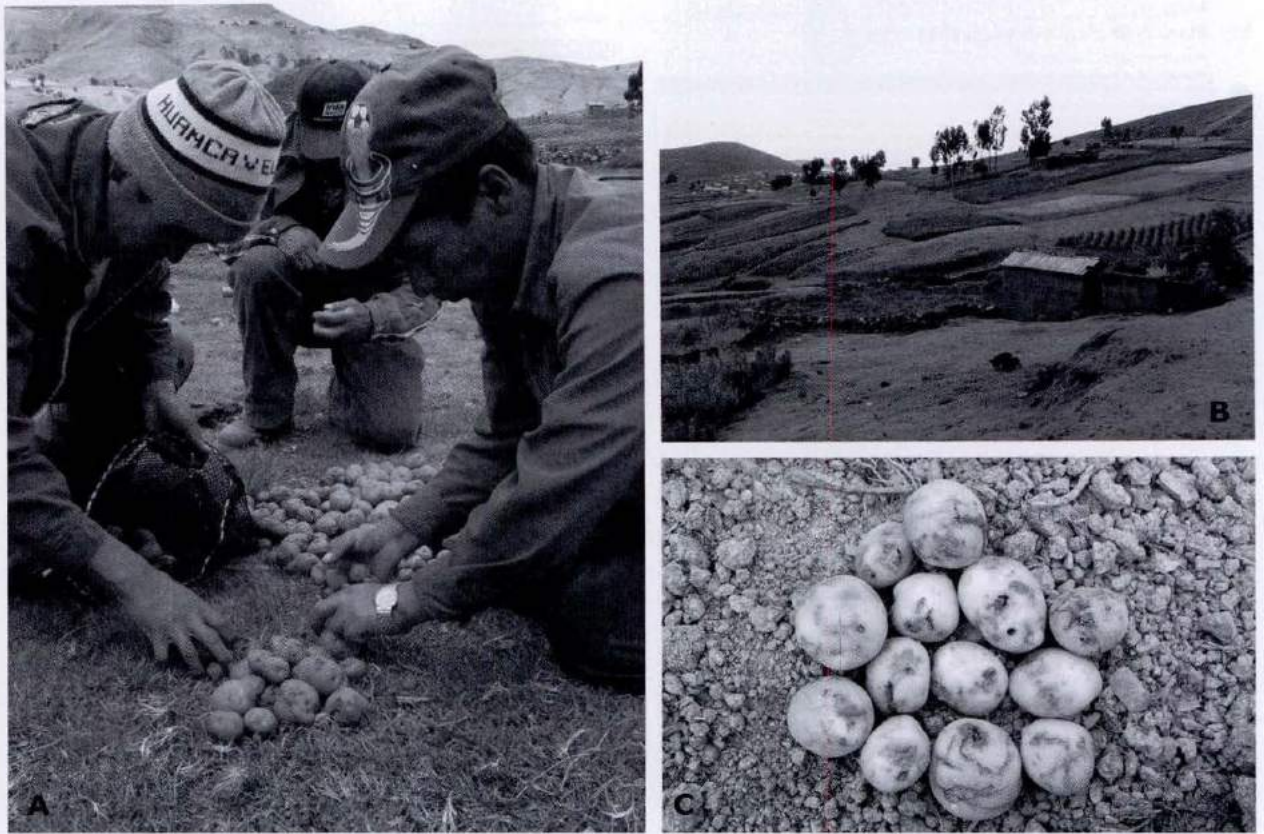


Figura 2. Mediciones de campo. (a) Evaluación participativa de infestaciones durante la cosecha. (b) Paisaje agrícola típico en Chopcca, mostrando un almacén frente a un lote de papa. (c) Síntomas externos de daño por gorgojo de los Andes y pulguilla de la papa. Las flechas señalan daños por pulgullas. Los oscurecimientos y orificios indican daño por gorgojos.

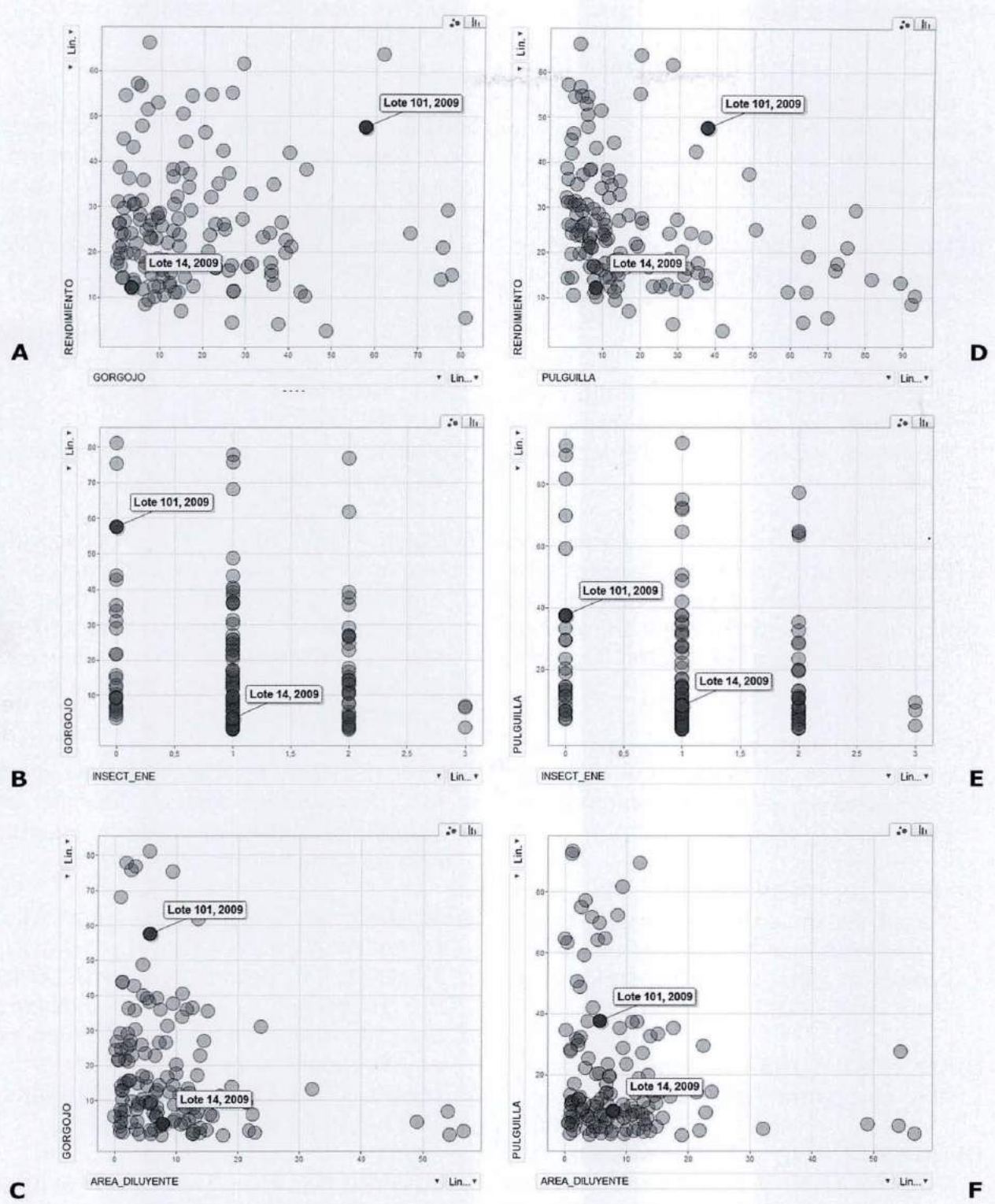


Figura 3. Visualizaciones representativas usando la herramienta Trendalyzer para caracterizar patrones de asociación entre las infestaciones de dos plagas de papa en Chopcca y tres variables de interés. Las visualizaciones a, b, d y e son de variables locales. Las visualizaciones c y f son de variables de paisaje. Todas las visualizaciones resaltan dos lotes aleatoriamente seleccionados para ilustrar el potencial uso de la herramienta por agricultores para comparar sus procesos y resultados de producción (i.e. "benchmarking").

Referencias Bibliográficas

- ALLEN, K.; LUTTRELL, R. 2009. Spatial and temporal distribution of heliothines and tarnished plant bugs across the landscape of an Arkansas farm. *Crop Protection*, 28 (9): 722-727.
- BENTLEY, J. 2006. Folk experiments. *Agriculture and Human Values*, 23 (4): 451-462.
- BURNHAM, K.; ANDERSON, D. 2002. Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach, Springer, New York.
- COCK, J. 2007. Un sistema de Agricultura Específica por Sitio-AES que aprovecha y comparte las experiencias de los mismos productores. Taller Innovación Tecnológica para el Sector Agrícola. CIAT. Cali, Colombia.
- DE'ATH, G. 2002. Multivariate regression trees: a new technique for modeling species-environment relationships. *Ecology*, 83 (4): 1105-1117.
- DE'ATH, G.; FABRICIUS, K. E. 2000. Classification and regression trees: a powerful yet simple technique for ecological data analysis. *Ecology*, 81 (11): 3178-3192.
- DIAMOND, J. M. 1983. *Ecology: laboratory, field and natural experiments*.
- DICKINSON, J.; ZUCKERBERG, B.; BONTER, D. N. 2010. Citizen science as an ecological research tool: challenges and benefits. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 41 (1).
- DOUGHTY, P. 1996. Statistical analysis of natural experiments in evolutionary biology: comments on recent criticisms of the use of comparative methods to study adaptation. *The American Naturalist*, 148 (5): 943-956.
- EHLER, L. E. 2006. Integrated pest management (IPM): definition, historical development and implementation, and the other IPM. *Pest management science*, 62 (9): 787-789.
- FARR, T. G.; ROSEN, P. A.; CARO, E.; CRIPPEN, R.; DUREN, R.; HENSLEY, S.; KOBRICK, M.; PALLER, M.; RODRIGUEZ, E.; ROTH, L. 2007. The shuttle radar topography mission. *Reviews of geophysics*, 45 (2).
- FOULÓN, M. 1982. Los Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola (CREA) como agentes de tecnificación. Jornadas Nacionales sobre la Tecnificación en el Desarrollo del Sector Agropecuario. Buenos Aires, Argentina.
- FOX, G. A. 1991. Practical causal inference for ecoepidemiologists. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 33 (4): 359-373.
- GARDINER, M.; LANDIS, D.; GRATTON, C.; DIFONZO, C.; O'NEAL, M.; CHACON, J.; WAYO, M.; SCHMIDT, N.; MUELLER, E.; HEIMPEL, G. 2009. Landscape diversity enhances biological control of an introduced crop pest in the north-central USA. *Ecological Applications*, 19 (1): 143-154.
- GRAHAM, M. H. 2003. Confronting multicollinearity in ecological multiple regression. *Ecology*, 84 (11): 2809-2815.
- HIJMANS, R. J.; CAMERON, S. E.; PARRA, J. L.; JONES, P. G.; JARVIS, A. 2005. Very high resolution interpolated

- climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25 (15): 1965-1978.
- JIMÉNEZ, D.; COCK, J.; JARVIS, A.; GARCÍA, J.; SATIZÁBAL, H. F.; DAMME, P. V.; PÉREZ-URIBE, A.; BARRETO-SANZ, M. A. 2011. Interpretation of commercial production information: A case study of lulo (*Solanum quitoense*), an under-researched Andean fruit. *Agricultural Systems*, 104: 258-270.
- JIMÉNEZ, D.; COCK, J.; SATIZÁBAL, H. F.; BARRETO, S.; MIGUEL, A.; PÉREZ-URIBE, A.; JARVIS, A.; VAN DAMME, P. 2009. Analysis of Andean blackberry (*Rubus glaucus*) production models obtained by means of artificial neural networks exploiting information collected by small-scale growers in Colombia and publicly available meteorological data. *Computers and electronics in agriculture*, 69 (2): 198-208.
- JUSTICE, C. O.; VERMOTE, E.; TOWNSHEND, J. R. G.; DEFRIES, R.; ROY, D. P.; HALL, D. K.; SALOMONSON, V. V.; PRIVETTE, J. L.; RIGGS, G.; STRAHLER, A. 1998. The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): Land remote sensing for global change research. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 36 (4): 1228-1249.
- LACY, J. 1994. Ricecheck-a collaborative learning approach for increasing productivity. En: HUMPHREYS, E., MURRAY, E., CLAMPETT, W.S., LEWIN, L.G. (ed.) *Proceedings of the First International Temperate Rice Conference on Temperate Rice—Achievements and Potential*, 12–24 February 1994. Leeton, Australia.
- LAUER, D. T.; MORAIN, S. A.; SALOMONSON, V. V. 1997. The Landsat program: Its origins, evolution, and impacts. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 63 (7): 831-838.
- LEK, S.; GUÉGAN, J. F. 1999. Artificial neural networks as a tool in ecological modelling, an introduction. *Ecological modelling*, 120 (2-3): 65-73.
- LYON, F. 1996. How farmers research and learn: The case of arable farmers of East Anglia, UK. *Agriculture and Human Values*, 13 (4): 39-47.
- MAOHUA, W. 2001. Possible adoption of precision agriculture for developing countries at the threshold of the new millennium. *Computers and electronics in agriculture*, 30 (1-3): 45-50.
- MILLER, J. C. 1986. Manipulations and interpretations in tests for competition in streams: "controlled" vs "natural" experiments. *Oikos*, 47 (1): 120-123.
- MORIN, L.; REID, A.; SIMS-CHILTON, N.; BUCKLEY, Y.; DHILEEPAN, K.; HASTWELL, G.; NORDBLOM, T.; RAGHU, S. 2009. Review of approaches to evaluate the effectiveness of weed biological control agents. *Biological Control*, 51 (1): 1-15.
- MUSSER, F.; STEWART, S.; BAGWELL, R.; LORENZ, G.; CATCHOT, A.; BURRIS, E.; COOK, D.; ROBBINS, J.; GREENE, J.; STUDEBAKER, G. 2007. Comparison of direct and indirect sampling methods for tarnished plant bug (Hemiptera: Miridae) in flowering cotton. *Journal of Economic Entomology*, 100 (6): 1916-1923.
- OPARA, L. U.; MAZAUD, F. 2001. Food traceability from field to plate. *Outlook on agriculture*, 30 (4): 239-247.
- PARIKH, T. S.; JAVID, P.; SASIKUMAR, K.; GHOSH, K.; TOYAMA, K. 2006.

- Mobile phones and paper documents: evaluating a new approach for capturing microfinance data in rural India. Proceedings of the ACM Conference on Computer-Human Interaction. ACM Press. Montreal, Canada.
- PARSA, S.; CCANTO, R.; ROSENHEIM, J. A. 2011. Resource concentration dilutes a key pest in indigenous potato agriculture. *Ecological Applications*, 21 (2): 539-546.
- RECKNAGEL, F. 2006. *Ecological informatics: scope, techniques, and applications*, Springer, Berlin, Germany.
- ROBINS, J. M.; HERNÁN, M. Á.; BRUMBACK, B. 2000. Marginal structural models and causal inference in epidemiology. *Epidemiology*, 11 (5): 550.
- ROCHESTER, W.; ZALUCKI, M.; WARD, A.; MILES, M.; MURRAY, D. 2002. Testing insect movement theory: empirical analysis of pest data routinely collected from agricultural crops. *Computers and electronics in agriculture*, 35 (2-3): 139-149.
- ROE, B. E.; JUST, D. R. 2009. Internal and External Validity in Economics Research: Tradeoffs between Experiments, Field Experiments, Natural Experiments, and Field Data. *American Journal of Agricultural Economics*, 91 (5): 1266-1271.
- RONNLUND, A. R.; ROSLING, O. 2004. Free software for a world in motion. Proceedings of the Second International Conference on Creating, Connecting and Collaborating through Computing.
- ROSENHEIM, J. A.; PARSA, S.; FORBES, A. A.; KRIMMEL, W. A.; LAW, Y. H.; SEGOLI, M.; SIVAKOFF, F. S.; ZAVIEZO, T.; GROSS, K. 2011. Ecoinformatics for Integrated Pest Management: Expanding the Applied Insect Ecologist's Tool-Kit. *Journal of Economic Entomology*, 104 (2): 331-342.
- SÁNCHEZ, P. A.; AHAMED, S.; CARRÉ, F.; HARTEMINK, A. E.; HEMPEL, J.; HUISING, J.; LAGACHERIE, P.; MCBRATNEY, A. B.; MCKENZIE, N. J.; MENDONÇA-SANTOS, M. L. 2009. Digital soil map of the world. *Science*, 325 (5941): 680.
- SHEA, K.; POSSINGHAM, H. P.; MURDOCH, W. W.; ROUSH, R. 2002. Active adaptive management in insect pest and weed control: intervention with a plan for learning. *Ecological Applications*, 12 (3): 927-936.
- SIMPSON, J.; KUMMEROW, C.; TAO, W. K.; ADLER, R. 1996. On the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM). *Meteorology and Atmospheric Physics*, 60 (1): 19-36.
- YUAN, L. L. 2010. Estimating the effects of excess nutrients on stream invertebrates from observational data. *Ecological Applications*, 20 (1): 110-125.

Programas de supresión, contención, prevención y erradicación de tefrítidos integrando la técnica del insecto estéril

Jorge Hendrichs¹, Rui Pereira¹ and Jesus Reyes¹

¹Insect Pest Control Section, Joint FAO/IAEA Programme of Nuclear Techniques in Food and Agriculture, Wagramer Strasse 5, P.O. Box 100, A-1400 Vienna, Austria, J.Hendrichs@iaea.org

Resumen

La Técnica del Insecto Estéril (TIE) es un método biológico que ha sido aplicado contra moscas tefrítidas en todos los continentes. LA TIE es amigable con el medio ambiente debido a que no contamina, es especie-específica y no introduce insectos exóticos. Sin embargo, su aplicación operacional es logísticamente compleja y de un conocimiento y gestión intensivos. Además, requiere de un compromiso a largo plazo, productores organizados y la participación activa de diversos grupos de interés en el programa. Cualquier técnica usada de manera aislada tiene poca probabilidad de ser exitosa si se desean manejar poblaciones de insectos, por lo que la integración con otros métodos es necesaria. Por lo tanto un control efectivo se alcanza solamente cuando los insectos estériles son dispersados de manera sistemática como parte de un enfoque de manejo integrado de plagas en áreas extensas. La TIE tiene un exitoso historial en la supresión, contención, prevención y/o erradicación de insectos plagas. También puede ser usada para eliminar brotes de plagas invasoras, o para establecer áreas de baja prevalencia o áreas libres de plagas, por lo que provee mejores opciones para aplicar los estándares de la Convención Internacional de Protección de Plantas (CIPP), y vencer barreras no arancelarias en el mercado internacional agrícola. Los resultados socio-económicos de una aplicación efectiva de la TIE en áreas extensas pueden ser muy significativos y la demanda por su aplicación integrada

está creciendo. Sin embargo, la tecnología todavía necesita ser desarrollada para un cierto número de especies plaga de moscas de la fruta. También hay mucho potencial para mejorar las metodologías e incrementar la efectividad de los machos estériles a través del uso de suplementos nutricionales, hormonales, semioquímicos o microbiológicos. Los progresos son revisados de manera breve y se presenta una visión general de programas exitosos que han integrado la TIE para el control de las moscas tefrítidas.

Key words: áreas extensas, grupos de interés, moscas de la fruta, manejo integrado de plagas, medio ambiente

Abstract

The Sterile Insect Technique (SIT) is a biological method that has been applied against tephritid fruit flies on all continents. The SIT is environment-friendly in view that it is non-polluting, species-specific and does not introduce exotic insects. However, its operational application is logistically complex and knowledge- and management-intensive. In addition, it requires a long-term commitment, the organization of growers and the participation of other stakeholders. Using any single technique in isolation is unlikely to be successful for managing insect populations and integration with other methods is needed. Effective control is therefore only achieved when the sterile insects are systematically released as part of an area-wide integrated pest management (AW-IPM) approach. The

SIT has a successful track record for pest insect suppression, containment, prevention and/or eradication. It can also be used to eliminate outbreaks of invasive pests, or to establish pest-free areas and areas of low pest prevalence, thereby providing better options to address International Plant Protection Convention (IPPC) standards and to overcome non-tariff barriers to international agricultural trade. Socio-economic outcomes of effective area-wide SIT application can be very significant, and the demand for its integrated application is growing. However, the technology still needs to be developed for a number of major pest fruit flies. There is also much potential to improve methodologies and to increase sterile male effectiveness through the use of nutritional, hormonal, semiochemical and microbiological supplements. Advances will be briefly reviewed, as well as an overview of successful programs integrating the SIT to control tephritid fruit flies.

Key words: area-wide, stakeholders, fruit flies, integrated pest management, environment.

Moscas de la fruta de importancia económica

Las especies de moscas de la fruta (Diptera: Tephritidae) de importancia económica son principalmente plagas polífagas. El número de hospederos puede variar de diez a varios cientos de variedades de frutos, como es el caso de muchas especies de *Anastrepha*, *Bactrocera*, *Ceratitis*, y *Dacus*. En muchos países templados, sub-tropicales y tropicales las moscas tefritidas son plagas importantes, causando pérdidas significativas cuando no se llevan a cabo medidas eficaces de control. Además son generalmente plagas de importancia cuarentenarias en vista de su potencial para invadir nuevos países y continentes.

Las moscas de la fruta son objeto de un uso intensivo de insecticidas, y aunque son por lo general altamente efectivos, su falta de especificidad y toxicidad, aunado a los residuos que dejan en las frutas frescas, hortalizas y el medio ambiente, originan preocupación pública y la demanda creciente por enfoques más seguros y menos dañinos. Los residuos de insecticidas también pueden ser una barrera seria al desarrollo del mercado de productos agrícolas. No se puede depender de manera indefinida de los insecticidas tradicionales debido al desarrollo de resistencia en las poblaciones de la plaga, retiro de productos y la expansión del mercado de productos agrícolas libres de insecticidas. Por lo tanto hay una necesidad de desarrollar controles de plagas que sean más amigables al medio ambiente, que sean más sustentables y que puedan promover el comercio.

La técnica del insecto estéril

La Técnica del Insecto Estéril (TIE) es especie-específica y por lo tanto:

- a) Inherentemente segura para los trabajadores agrícolas, comunidades rurales y la biodiversidad.
- b) Inocua a los organismos benéficos tales como los enemigos naturales y polinizadores.
- c) No deja residuos en los productos, de tal modo que protege a los consumidores.
- d) No introduce especies exóticas que pueden llegar a establecerse, y
- e) Funciona inversamente dependiente a la densidad; por lo tanto tiene la capacidad singular de poder erradicar, de manera amigable con el ambiente, poblaciones aisladas.

La TIE implica la producción masiva de insectos a escala industrial en grandes biofábricas (Dyck *et al.*, 2005; Hendrichs and Robinson 2009; Liedo *et al.*, 2010). Los insectos a ser dispersados en el campo son esterilizados mediante radiación ionizante con una dosis que induce esterilidad, la cual no perjudica de manera significativa la habilidad de los machos estériles para volar, aparearse y transferir esperma a las hembras silvestres. Los insectos estériles son liberados en áreas extensas de una manera sostenida para cubrir la población total de la plaga en un área definida y en números suficientes para lograr tasas aceptables en la proporción de insectos estériles a fértiles. Esto conduce a una reducción en la proporción de apareamientos fértiles en la población silvestre lo que resulta en su declinación.

El éxito de la TIE descansa en la habilidad de los machos estériles liberados de transferir a la hembra silvestre esperma funcional que sea exitoso en fertilizar los huevecillos. El número de veces que una hembra se aparee no es importante, siempre y cuando el esperma del macho estéril sea competitivo con el esperma del macho silvestre. E. F. Knipling ideó un modelo matemático simple para describir la TIE el cual, a pesar de algunas limitaciones, provee un conjunto de ecuaciones para demostrar los principios de la TIE (Liedo *et al.*, 2010). A medida que la población silvestre declina y el número de insectos estériles liberados permanece constante, tanto la proporción de apareamientos estériles como la tasa de supresión se incrementa, y una vez que población silvestre empieza a declinar, la tasa a la cual ocurre se incrementa con el tiempo.

Desde que el concepto original fue desarrollado por Knipling (1979) y sus colegas en los Estados Unidos en la década de 1940, la TIE ha sido usada exitosamente contra la mosca del gusano barrenador,

las moscas tse-tsé, las moscas de la fruta y algunas polillas y escarabajos. Progresos técnicos en ecología del comportamiento, cría masiva, mejora de cepas, información de posicionamiento geográfico, de monitoreo, y liberaciones aéreas combinadas con economías de escala, y una creciente demanda por productos agrícolas libres de plagas y de insecticidas en el comercio local e internacional, han incrementado el uso de la TIE en programas que aplican el manejo integrado de plagas en áreas extensas. Esos programas, debido a que han reducido el uso de insecticidas, han también favorecido a los agentes naturales de control biológico y su uso contra insectos plagas secundarias.

Requisitos para la aplicación de la TIE

Al usar cualquier técnica de manera aislada es improbable ser exitoso en el manejo de las poblaciones de insectos por lo que son necesarios enfoques integrales. Esta advertencia aplica especialmente al uso de los insectos estériles debido a que las poblaciones de insectos silvestres son frecuentemente de tal magnitud que es impráctico considerar la liberación de suficientes insectos estériles para causar una declinación en la población inicial. La fortaleza de la TIE es a bajas densidades de población y para ser efectiva se apoya en una variedad de medidas de supresión, dependiendo de manera particular en la especie de insecto objetivo. Una estrategia usada frecuentemente es iniciar la aplicación de la TIE cuando la población natural está en baja densidad debido a condiciones climáticas adversas.

La efectividad en integrar métodos de control compatibles es incrementada por su implementación coordinada sobre las áreas agrícolas y no agrícolas contiguas que contienen el total de la población de la plaga, más que enfocarse solamente

en la protección de huertos o cultivos individuales. Este enfoque es crítico ya que las hembras que ya han apareado y que se mueven hacia adentro de un área bajo liberación de insectos estériles permanecen en gran medida sin ser afectadas por los machos estériles. Este concepto de áreas extensas debe de ser visto no solamente en términos de las comunidades agrícolas, sino también en términos del ecosistema como un todo, incluyendo las actividades humanas en el área objetivo (Vreysen *et al.*, 2007).

La TIE es intensa en relación al conocimiento, ya que es muy importante entender la dinámica poblacional que es dependiente de la densidad y los parámetros de la tabla de vida, definir de manera temporal y espacial los parámetros ecológicos de la población objetivo y estimar el tamaño de la población. Es también esencial que el comportamiento sexual y sistema de apareamiento natural sea bien entendido, de tal forma que el comportamiento de apareamiento de los machos liberados pueda ser monitoreado para asegurar que no hay cambios significativos durante la cría masiva.

Es esencial un método eficiente, económico y biológicamente aceptable para la producción masiva de moscas de la fruta competitivas. La cría masiva de insectos por muchas generaciones en grandes biofábricas impone una elección y adaptación de todos los aspectos de la biología del insecto. Esas fuerzas reducen inevitablemente la competitividad de los insectos estériles en el campo. El arte de la cría masiva estriba en encontrar un equilibrio aceptable entre la eficiencia de la producción masiva y la calidad en general de los insectos. Más allá de cierto punto no es posible compensar con una liberación mayor de insectos estériles la pobre calidad del insecto producido. Los

procedimientos de esterilización mediante radiación deben estar sujetos a estrictos protocolos de control de calidad para asegurar que todos los insectos liberados son irradiados con la dosis requerida.

Como en cualquier sistema industrial, el control de calidad en términos de producción (ingredientes de dieta y equipo), proceso (procedimientos y condiciones de la cría masiva) y producto (insectos estériles) juega un papel importante en la determinación del éxito. Para la mayoría de los programas existe un conjunto detallado de procedimientos estándares de operación, los cuales proveen cierta confianza en cuanto a la calidad de los insectos que están siendo producidos. Es esencial el uso de pruebas de apareamiento bajo condiciones semi-naturales para evaluar la competitividad sexual y la continua compatibilidad de los insectos liberados con la población natural.

Opciones estratégicas para la aplicación de la TIE

Dependiendo de si un área está infestada, tiene baja prevalencia, está parcialmente libre, tiene un estatus de área libre, o ha sido recientemente invadida por una mosca de la fruta exótica (Tabla 1), existen diferentes opciones estratégicas para la aplicación de la TIE. Qué aplicación estratégica escoger depende en gran medida de los objetivos (reducción de pérdidas o el establecimiento progresivo de áreas de baja prevalencia a eventuales áreas libres de la plaga) y los mercados objetivo: (a) Mercado no discriminatorio (interno o externo), (b) mercados de bajo nivel de insecticidas que requieren que un producto agrícola tenga un bajo nivel de residuos como la Unión Europea, y (c) mercados de productos libres de plagas tales como Australia, Chile, Japón, Nueva Zelanda o los EUA que tienen

cero tolerancia a las plagas de moscas de la fruta no presentes en su territorio (Hendrichs *et al.*, 2005) (Tabla 2).

Supresión

El concepto de usar insectos estériles dentro de un programa integrado de supresión para reemplazar el uso de insecticidas está ganando una aceptación creciente a medida que el costo de los insectos estériles disminuye, el costo de los insecticidas y las preocupaciones acerca del medio ambiente y la inocuidad de alimentos se incrementan (Hendrichs *et al.*, 1995). Integrando la TIE para la supresión de plagas elimina la necesidad de usar sistemas cuarentenarios costosos y difíciles de mantener, y la característica de continuidad de un programa de supresión estimula la comercialización de la TIE.

Erradicación

La TIE tiene la singular capacidad de erradicar poblaciones de una plaga siempre y cuando ciertas condiciones ecológicas y cuarentenarias sean alcanzadas. La acción inversamente dependiente a la densidad de la TIE es muy efectiva en remover los últimos individuos de la población objetivo. Generalmente se supone que la erradicación no es una opción si la población objetivo no está aislada. Sin embargo, en algunos casos, el aislamiento puede ser obtenido mediante el uso de barreras naturales que evitan la distribución de la plaga y a través de la aplicación de la técnica en áreas extensas. El programa de erradicación del gusano barrenador se basó en este enfoque de "alfombra rodante". El mantenimiento de un área libre de plagas requiere medidas cuarentenarias adecuadas y una continua vigilancia. La TIE también es una de las herramientas más poderosas para eliminar brotes incipientes de especies exóticas invasoras.

Contención

Programas de contención usan barreras de insectos estériles para prevenir la dispersión de una plaga exótica invasora que se ha establecido. Algunos de estos programas se vuelven permanentes y estacionarios, pero algunos otros avanzan o retroceden, y eventualmente desaparecen.

Prevención

Los insectos estériles son liberados en un área de manera continua para evitar el establecimiento de una plaga exótica invasora. Como la liberación de insectos estériles es bondadosa desde un punto de vista ambiental, esta puede ser hecha en casi cualquier situación. Generalmente es llevada a cabo en lugares donde el riesgo de invasión es alto y las actividades cuarentenarias no son suficientes para prevenir la invasión.

Programas operacionales

La aplicación práctica de la TIE como parte de un programa de manejo integrado de plagas en áreas extensas es logísticamente compleja y muy intensa desde el punto de vista de su gestión. Además, requiere de un compromiso a largo plazo, y del enfoque en áreas extensas, de la organización de productores y la participación de otros diversos grupos de interés. A pesar de esto, durante las pasadas décadas, la TIE ha sido aplicada en más de 20 países en cinco continentes para controlar algunas 15 especies de insectos, incluyendo diferentes polillas, escarabajos, moscas del gusano barrenador, moscas tse-tsé y moscas de la fruta. La Tabla 3 proporciona una lista de las plantas de cría masiva de moscas de la fruta existentes en apoyo a programas de áreas extensas contra plagas de mosca de la fruta.

Pocas plagas tienen un mayor impacto en el comercio mundial de productos agrícolas que las moscas de la fruta; por lo que el objetivo de muchos programas operacionales grandes ha sido la protección o el desarrollo de la producción de fruta fresca y hortalizas y mantener o alcanzar áreas de baja prevalencia o incluso el estatus de áreas libres de la plaga. La mosca del Mediterráneo, (*Ceratitis capitata*), fue eliminada de las áreas que había invadido en el sur de México, y por 30 años una barrera de moscas estériles a lo largo de la frontera con Guatemala ha mantenido a México y los EUA libres de la mosca del Mediterráneo. De la misma manera, Chile eliminó la mosca del Mediterráneo del norte de su territorio, Argentina de Patagonia y Perú de sus valles más meridionales. La mosca del melón, *Bactrocera cucurbitae*, fue erradicada del sur de Japón, la mosca de la fruta de Queensland, *B. tryoni*, del occidente de Australia, y algunas especies de *Anastrepha* spp de la región norte de México y del sur de EUA.

En vez de tener que erradicar brotes de moscas del Mediterráneo exóticas, generalmente de forma anual, California y Florida mantienen de manera permanente programas preventivos de liberación de mosca del Mediterráneo estéril en áreas de alto riesgo de introducción de moscas exóticas, los cuales son menos costosos y políticamente más aceptables que las aplicaciones aéreas de insecticida y el establecimiento temporal de áreas reguladas con cuarentena alrededor de los brotes detectados. Programas que actualmente mantienen barreras de contención con moscas estériles se llevan a cabo en Guatemala (mosca del Mediterráneo) y en Australia para proteger la Zona de Exclusión de Moscas de la Fruta (mosca de la fruta de Queensland). Gradualmente, la TIE ha sido aplicada con el propósito de supresión en áreas extensas sin cuarentenas, con programas

contra la mosca del Mediterráneo en Brasil, Israel, Jordania, Portugal, España, Sudáfrica y contra moscas de la fruta del género *Bactrocera* en Tailandia.

Beneficios económicos

Enkerlin (2005) evaluó el beneficio e impacto de programas de moscas de la fruta en áreas extensas con un componente de TIE y revisó como estos pueden generar beneficios sustanciales directos e indirectos al sector privado de frutas frescas y hortalizas y a toda la cadena agroalimentaria relacionada con estos productos. Estos programas protegen, a un costo relativamente bajo, industrias hortícolas de alto valor, como la de Argentina, Chile, Israel, México, Sudáfrica y los EUA. El estimó que la relación costo-beneficio alcanzado en algunos de esos programas de moscas de la fruta es alto, oscilando entre 2.8 y 400 dependiendo de la magnitud del daño de la plaga, el valor del cultivo que está siendo protegido, el compromiso de las partes interesadas, los recursos disponibles para ejecutar el programa y la eficiencia en el manejo del programa; demostrando claramente que la TIE cuando es integrada de manera apropiada con otros métodos y aplicada en áreas extensas es económicamente factible.

Cuando es aplicada con fines de supresión en áreas extensas y con economías de escala en los procesos de la cría masiva y liberación, la TIE compite en costos con el control convencional, además de los beneficios adicionales que proporciona con relación al medio ambiente y el comercio. Otra característica peculiar de la aplicación integrada de la TIE en áreas extensas, es que los beneficios se distribuyen más allá de los productores comerciales de frutas y hortalizas, alcanzando las huertas de traspatio y las fincas o granjas de subsistencia en áreas rurales pobres.

Un ejemplo es el Programa Moscamed que ha mantenido libre de la mosca del Mediterráneo a México, EUA, Belice y varias regiones de Guatemala, permitiendo de esta manera la expansión de la industria hortofrutícola en estos países. Este estatus fitosanitario, aunado al Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) firmado en 1994, ha resultado en un incremento notable de los ingresos brutos de México por la venta de productos hortofrutícolas, los cuales en 2004 ya alcanzaban los 3500 millones de dólares por año. Para México, el retorno económico de este programa a lo largo de los años, desde la firma del TLCAN, es notable -167 dólares de retorno considerando el valor de los cultivos y el ahorro de los costos de control por cada dólar invertido-. Además, este retorno no incluye el beneficio social y medio ambiental obtenido por la prevención del establecimiento de esta plaga. Más aún, el Programa Moscamed ha creado en Guatemala y en el sur de México muchos empleos permanentes, sosteniendo por más de 30 años cientos de familias. Otro beneficio indirecto del programa incluye el fortalecimiento de la infraestructura del sistema oficial de sanidad vegetal y de los sistemas de exportación creando así oportunidades para transformar la industria hortofrutícola en una empresa orientada a la exportación valuada en miles de millones de dólares.

Tendencias futuras

Un incremento en la percepción de las limitaciones del uso de insecticidas acentuará la necesidad de estrategias de control alternativas tanto para las especies de moscas de las frutas nativas como para las exóticas. La TIE podrá ser cada vez un componente más importante de esas estrategias, especialmente cuando es usada en programas de supresión los cuales a su vez también abren las puertas para la comercialización

de la TIE. Esto puede ir desde clientes que sencillamente compran las moscas estériles y desarrollan sus propios sistemas de liberación y monitoreo hasta la compra del paquete completo de la TIE. Para la mosca del Mediterráneo ya existen compañías comerciales operando en Israel y Sudáfrica. Para la supresión de la mosca de la cebolla *Delia antiqua* (Diptera: Anthomyiidae) en cultivos comerciales de cebolla en Holanda una compañía privada ofrece también el paquete completo para el uso de la TIE. Esta tendencia, sin embargo, dependerá de la expansión de la técnica hacia otras plagas de moscas de la fruta y el incremento de su eficiencia, lo que requiere de inversiones sustanciales en investigación y desarrollo con respecto a todos los componentes de la tecnología.

La tendencia del incremento gradual del uso rutinario de insectos estériles para supresión de plagas más que para erradicar, particularmente en productos agrícolas comercialmente importantes, favorecerá la participación del sector privado y por lo tanto acelerará esos progresos. Los productores comerciales de insectos benéficos serán probablemente los inversionistas naturales, en virtud de las complementariedades con los insectos estériles, experiencia en manejo de organismos vivos y el entendimiento del mercado de control biológico. Aparte de la comercialización, la armonización de los procedimientos de control de calidad para la producción, proceso y producto necesitarán ser consolidados, en particular, los protocolos internacionales para medir el éxito de apareamiento de los machos estériles con las hembras silvestres en el campo.

Los Programas TIE se beneficiarán tremendamente si se desarrollan métodos genéticos que permitan criar masivamente solo machos como se ha demostrado ya para la mosca del Mediterráneo (Dyck

et al., 2005). También dietas probióticas apropiadas para larvas y la aplicación de tratamientos nutricionales, hormonales, microbiológicos y semioquímicos para los adultos estériles juegan un papel primordial en la mejora de la competitividad sexual de los machos estériles y en general hacen contribuciones importantes al costo de producción y la calidad del insecto estéril.

Como la implementación de los programas es logísticamente compleja, su gestión permanecerá como un asunto importante para determinar el éxito o fracaso del control de plagas en áreas extensas. De esta manera, a pesar de los muchos éxitos alcanzados y los que están en vías de ser alcanzados, en los países menos desarrollados la TIE puede ser una tecnología que está "adelantada a su tiempo" y mucho más allá de la capacidad

e infraestructura de los servicios de sanidad vegetal en estos países.

Los fracasos en la aplicación de la TIE, la mayoría confinados a estos países, no han sido debidos a la ciencia, sino a la falta de la implementación sistemática de las operaciones a gran escala. Una mayor participación del sector privado en estos países probablemente aseguraría una efectiva implementación.

Tabla 1. Programas de control de moscas de la fruta integrando la TIE en áreas extensas (actualizado de Hendrichs et al., 2005).

Estrategia de Control				
Supresión	Erradicación	Contención	Prevención	Erradicación
(Área infestada)	(Área infestada)	(Parte infestada y parte área libre)	(Área libre)	(Introducción en una área libre)
<i>C. capitata</i> : Brasil, Croacia, Israel, Jordania, Portugal (Madeira), Marruecos, Sudáfrica, España, Túnez.	<i>C. capitata</i> : Argentina (Mendoza, Patagonia, San Juan); Chile, México, sur de Perú; algunas regiones de norte y noroccidente de Guatemala.	<i>C. capitata</i> : Frontera de Guatemala con México. <i>B. tryoni</i> : Suroriente de Australia. <i>Anastrepha ludens</i> : Valle del Río Grande, Texas, EUA y norte de México.	<i>C. capitata</i> : La cuenca de Los Angeles, California, EUA. Tampa-Miami, Florida, EUA. <i>B. cucurbitae</i> : Japón (islas cercanas a Taiwán) <i>A. ludens</i> : Baja California, México.	<i>C. capitata</i> : California, EUA; Florida, EUA; Sur de Australia; noreste de México. <i>B. tryoni</i> : Oeste de Australia
<i>B. dorsalis</i> and <i>B. correcta</i> : Tailandia.	<i>B. cucurbitae</i> : Japón.			
<i>A. ludens</i> : Aguascalientes, México.	<i>A. ludens</i> and <i>A.</i> <i>obliqua</i> : Noroeste de México			
<i>Delia antiqua</i> *: Holanda				

*Aun y cuando esta especie (mosca de la cebolla) pertenece a la familia Anthomyiidae se consigna en esta tabla porque la supresión mediante la TIE se realiza de manera comercial.

Tabla 2. Acceso a mercados potenciales en base a la estrategia de control disponible (actualizado de Hendrichs *et al.*, 2005).

Estrategia de control	Mercados Potenciales			
	Mercado doméstico	Mercado no discriminatorio	Mercado de bajo nivel de residuos	Mercado de productos libres de plagas
Supresión (Área infestada)				
Control Convencional	Si	Si	No	No
Uso de poco insecticida incluyendo la TIE	Si	Si	Si	No
Áreas de baja prevalencia y enfoque de sistemas	Si	Si	Si	Si ¹
Erradicación (Establecimiento de áreas libres de plagas)	Si ²	Si ²	Si ²	Si
Contención (Protección de áreas libres de plagas)	Si ²	Si ²	Si ²	Si
Prevención (Mantenimiento de áreas libres de plagas)	Si ²	Si ²	Si ²	Si

¹ Solamente cuando se combina con medidas complementarias tales como tratamientos de post-cosecha.

² Establecimiento, protección o mantenimiento de áreas libres de plagas. Involucra cuarentenas y un intenso monitoreo, por lo general no es una alternativa costo-efectiva para esos mercados por lo que estas estrategias de control se deben enfocar a mercados de productos libres de plagas.

Tabla 3. Plantas con capacidad de cría masiva de moscas de la fruta en el mundo (actualizado de Hendrichs *et al.*, 1995).

País	Lugar	Especie	Capacidad semanal (millones)
Perú	Lima	<i>Anastrepha fraterculus</i>	5-8
México	Metapa	<i>A. ludens</i>	300
Estados Unidos	Texas	<i>A. ludens</i>	140-160
México	Metapa	<i>A. obliqua</i>	25-50
Tailandia	Pathumtanee	<i>Bactrocera correcta</i>	15-30
Japón	Okinawa	<i>B. cucurbitae</i>	70-200
Tailandia	Pathumtanee	<i>B. dorsalis</i>	15-40
Filipinas	Quezon City	<i>B. philippinensis</i>	10-15
Australia	Menangle	<i>B. tryoni</i>	10-15
Argentina	Mendoza	<i>Ceratitis capitata</i>	200-400 ^a
Argentina	San Juan	<i>C. capitata</i>	40-60 ^a
Australia	Perth	<i>C. capitata</i>	5-15 ^a
Brasil	Juazeiro	<i>C. capitata</i>	100 ^a
Chile	Arica	<i>C. capitata</i>	30 ^a
Guatemala	El Pino	<i>C. capitata</i>	2,000 ^a
Israel	Sde Eliyahu	<i>C. capitata</i>	50 ^a
México	Metapa	<i>C. capitata</i>	500-600 ^a
Perú	Lima and Piura	<i>C. capitata</i>	400-500 ^a
Portugal	Madeira	<i>C. capitata</i>	50 ^a
Sudáfrica	Stellenbosch	<i>C. capitata</i>	10-12 ^a
España	Valencia	<i>C. capitata</i>	500 ^a
Estados Unidos	Hawaii	<i>C. capitata</i>	200-250 ^a

^a Solo producción de machos estériles, el resto 50% machos estériles y 50% hembras estériles.

Referencias Bibliográficas

- DYCK, V. A.; HENDRICHS, J.; ROBINSON, A. S. 2005. "Sterile Insect Technique: Principles and Practice in Area-wide Integrated Pest Management". Springer, Dordrecht, The Netherlands. 787 pp.
- ENKERLIN W. R. 2005. Impact of fruit fly control programmes using the sterile insect technique. pp. 651-676, In Dyck, V. A., Hendrichs, J., and Robinson, A. S. (eds.). "Sterile Insect Technique: Principles and Practice in Area-wide Integrated Pest Management". Springer, Dordrecht, The Netherlands
- HENDRICHS, J.; FRANZ G.; RENDÓN P. 1995. Increased effectiveness and applicability of the Sterile Insect Technique through male-only releases for control of Mediterranean fruit flies during fruiting seasons. *J. Appl. Entomol.* 119: 371-377.
- HENDRICHS J.; VREYSEN, M. J. B.; ENKERLIN W. R.; CAYOL, J. P. 2005. Strategic Options in using sterile insects for area-wide integrated pest management, pp. 563-600. In Dyck, V. A., Hendrichs, J., and Robinson, A. S. (eds.). "Sterile Insect Technique: Principles and Practice in Area-wide Integrated Pest Management". Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- HENDRICHS J.; ROBINSON, A. S. 2009. Sterile insect technique. pp. 953-957, In "Encyclopedia of Insects". Resh V. and Carde R. T. [eds.], Academic Press.
- KNIPLING, E. F. 1979. Use of insects for self-destruction. In "The Basic Principles of Insect Population Suppression and Management." USDA, Washington, DC. [Agricultural Handbook No. 512]
- LIEDO, P.; ENKERLIN W.; HENDRICHS J. 2010. Fundamentos de la técnica del insecto estéril. pp. 243-256, In "Moscas de la Fruta: Fundamentos y Procedimientos para su Manejo". S y G Editores, México, D. F.
- VREYSEN, M. J. B.; ROBINSON, A. S.; HENDRICHS J. 2007. "Area-wide Control of Insect Pests, From Research to Field Implementation". Springer, Dordrecht, the Netherlands. 789 pp.

Efecto del clima en las poblaciones del salivazo de la caña de azúcar, *Aeneolamia varia* (F.) (HEMIPTERA: CERCOPIDAE) en el Valle del Cauca⁵

Alex Enrique Bustillo Pardey¹, Ulises Castro Valderrama², Luis Antonio Gómez Valverde³ Álvaro Tulio Urresti⁴

¹Ing. Agr., Ph. D., Entomólogo I, Programa de Variedades, Cenicaña, alexe.bustillo@gmail.com.

²Ing. Agr., M. Sc., Entomólogo II, Programa de Variedades, Cenicaña, ucastro@cenicana.org.

³Ing. Agr. Ph. D., Entomólogo I, Programa de Variedades, Cenicaña hasta junio 2009, entomo.lag@gmail.com.

⁴Practicante Agrícola, Programa de Variedades, Cenicaña, aurresti@cenicana.org.

⁵Contribución de Cenicaña y el MADR Py: 141-2008P4896-4070, al Simposio Manejo Integrado de Plagas y Agricultura de Precisión, Socolen 2011.

Introducción

Los recientes efectos en el planeta tierra atribuidos al cambio climático, que ahora se perciben con mucha evidencia, han llamado la atención de todo el mundo en especial de los investigadores, con el fin de establecer las causas y analizar sus posibles consecuencias. La agricultura no está ajena a este problema y en ella los problemas fitosanitarios pueden tener un impacto muy importante, como es el caso de los insectos.

El calentamiento global puede traer un incremento y movimiento de poblaciones de insectos de sitios en donde normalmente habitan, a lugares en los cuales las temperaturas se tornan más altas. Es por esto, que los insectos se pueden constituir en posibles indicadores de cambio climático. La temperatura corporal de los insectos, varía de acuerdo con la temperatura ambiental en donde se desarrollan, por lo tanto un incremento en la temperatura, resulta en que su ciclo de vida sea más corto y por ende para un mismo tiempo sus poblaciones se incrementen más de lo convencional. (Ayres y Lombardero, 2000, Menéndez, 2007).

La mayor parte de las especies de insectos están asociadas a intervalos térmicos, de humedad y de radiación, relacionados con su fenología y fisiología. Como consecuencia del aumento de la temperatura y la variación en la distribución de las precipitaciones asociadas al cambio climático, muchas especies podrían sufrir una modificación en su hábitat al aumentar o disminuir su distribución. Aunque cada especie responde de manera individual a dicho cambio, los ciclos biológicos de la mayoría de los insectos son muy sensibles a estas variaciones (Crozier, 2004).

Existe evidencia de que el cambio climático en las zonas templadas, ha provocado que los insectos se expandan o distribuyan a zonas más nórdicas, y que se presenten diferencias en su fenología en relación con las plantas que afectan. Este hecho sería importante analizarlo también en los trópicos. (Battisti *et al.*, 2005, Battisti, 2008).

También se ha comprobado a través de restos fósiles, que incrementos en la emisión de CO² en la atmósfera, conllevan a un aumento del balance de C/N en el tejido de las plantas, lo cual altera la calidad nutricional de este tejido. Esto a

su vez, resulta en un alimento de baja calidad a lo cual los insectos responden incrementando su nivel de consumo de follaje y consecuentemente aumentan el daño a la planta, aunque otros insectos pueden mostrar altas mortalidades y reducir su impacto. Además, hay evidencias de que cambios en los niveles de CO² pueden afectar las defensas químicas de las plantas, haciéndolas más accesibles al ataque de los insectos (Bezemer y Jones, 1998, Hunter, 2001).

Los resultados de investigaciones recientes sugieren, que la adaptación evolutiva al calentamiento climático tendrá profundos efectos ecológicos, porque las tasas de crecimiento de las poblaciones alterarán ecosistemas completos en el futuro. Además, las características importantes del ecosistema como son la diversidad de las especies y las redes alimenticias son muy sensibles a los ritmos de crecimiento poblacional de las especies que viven e interactúan en esos ecosistemas (Thompson, 2008).

Para el caso de la caña *Saccharum officinarum*, cultivada para azúcar y panela, en Colombia se están presentando recientemente nuevos problemas de plagas, como es la aparición de los insectos comúnmente conocidos como salivazos. La presencia de esta plaga puede ser una respuesta de desplazamientos y adaptación de estas especies a un ecosistema que se torna más caliente, y cuyos regímenes de precipitación están siendo alterados. Estos cambios pueden inducir a los insectos a desplazarse a otras latitudes y altitudes. Con el fin de constatar estos hechos, es necesario analizar experimentalmente esta posibilidad, para lo cual se requieren observaciones simultáneas durante varias generaciones sobre condiciones de clima, fenología del cultivo y la dinámica de las poblaciones de estos insectos. En este documento, se analiza la situación

para el caso del salivazo *Aeneolamia varia*, en el cultivo de la caña de azúcar en el Valle del Cauca, durante un periodo de tres años desde su detección.

Antecedentes

El salivazo de la caña de azúcar, *Aeneolamia varia* (F.), es la plaga más importante de la caña de azúcar en Venezuela (Linares y Pérez, 1985). Su presencia en Colombia se registra hace más de 40 años, infestando pastos en los Llanos Orientales, piedemonte de la Orinoquía y de la Amazonía (Posada, 1989; Peck, 2001). Se detectó por primera vez en 2007, en cultivos de caña de azúcar sembrada para la producción de panela en Anapoima, Cundinamarca y para azúcar en el Valle del Cauca en donde afectó cerca de 25.000 ha entre los municipios de Tuluá y Buga (Gómez, 2007).

Los salivazos se caracterizan porque sus ninfas, o estados inmaduros, secretan y se recubren de un líquido baboso y espumoso. El adulto del salivazo de la caña de azúcar, causa daño al alimentarse de las hojas, produciendo una reacción caracterizada por bandas rojizas necróticas longitudinales y la ninfa succiona la savia del xilema de las raíces causando el marchitamiento de la planta.

A. varia se considera como la plaga más dañina del cultivo de la caña de azúcar en Venezuela y de los pastos para ganadería en los Llanos Orientales de Colombia y en el Piedemonte de la Orinoquía y la Amazonía (Linares y Salazar, 1989; Peck, 2001). Las ninfas de *A. varia* chupan la savia de las raíces y los adultos, la savia de las hojas, al tiempo que inyectan una toxina en la planta. En las hojas se produce necrosis, aparecen porciones de manchas alargadas de color pardo rojizo y los tejidos terminan por secarse.

Metodología

En la hacienda La Negra cultivada con caña de azúcar proveedora del Ingenio Pichichi, localizada en Buga, que se encontraba infestada con *A. varia*, se escogió la suerte 9, que correspondía a una plantilla de la variedad CC 84-75 sembrada el 9 de mayo de 2008. Desde la aparición del salivazo en esta suerte no se realizó ninguna labor de control para reducir sus poblaciones. En el cultivo se hicieron todas las prácticas convencionales de manejo para el cultivo de la caña. El 22 de agosto de 2009 (semana 31) se cosechó la plantilla y el 17 de octubre de 2010 (semana 41) la primera soca. Antes de la cosecha en ambos casos, la suerte se quemó.

Durante tres años se llevaron a cabo registros semanales, sobre la captura de adultos del salivazo usando trampas amarillas impregnadas de un pegante para insectos. La evaluación se llevó a cabo localizando en el lote de caña de cuatro parcelas de 40 x 40 m en la suerte. En cada parcela se ubicó una trampa amarilla de 45 x 45 cm, la cual se cambió semanalmente, una vez se

contabilizaron los adultos de *A. varia* capturados. Los registros de precipitación se tomaron de la información que guarda el Ingenio Pichichí de una de las estaciones meteorológicas próximas a la hacienda La Negra hacia el piedemonte.

Resultados y discusión

En la Tabla 1 se presentan los datos globales y por semestres de las precipitaciones y capturas de adultos de *A. varia*. El clima en el Valle del Cauca presenta una distribución bimodal con precipitaciones en el primero y segundo semestres, lo cual se evidenció durante los años de este estudio. La precipitación anual mostró extremos, siendo de 973 mm para el 2009 y 1.812 mm para el 2010. La precipitación por semestres también fue muy variable, en el 2010 fue casi el doble en el segundo semestre (B) al compararla con la del primer semestre (A) (Tabla 1). Las capturas totales de adultos de *A. varia* en las trampas variaron considerablemente entre semestres y en el total anual, mostrando una reducción importante hacia el 2010, cuando se capturó solo el 12% de lo capturado en 8 meses del 2008.

Tabla 1. Precipitaciones (mm) y número de adultos de *Aeneolamia varia* capturados en las trampas, en la hacienda La Negra (Pichichi) entre los años 2008* y 2011**.

Año	Semestre A		Semestre B		Total	
	mm	Adultos	mm	Adultos	mm	Adultos
2008	708	1885	640	2431	1348	4316
2009	581	1392	392	796	973	2188
2010	618	63	1194	441	1812	504
2011	604	299				

*Datos entre mayo y diciembre, 2008.

**Datos entre enero y abril, 2011

En las figuras 1 a 5, se muestran los resultados del seguimiento a las capturas de adultos de *A. varia* contrastándolas con la precipitación de la zona entre mayo de 2008 y abril de 2011. Durante el 2008 los registros de capturas en las trampas se iniciaron en la semana 19 (mayo). Las mayores capturas de adultos de *A. varia* durante el estudio se lograron en el 2008, alcanzando máximos de 100 adultos/ trampa - semana en la semana 24. De ahí en adelante, la reducción de las poblaciones del salivazo fue

continúa hasta alcanzar niveles cercanos a cero después de la semana 40. Las precipitaciones en los dos semestres de este año fueron bastante similares (Tabla 1).

Para el 2009, se presentó una reducción considerable de la precipitación hacia el segundo semestre y al analizar la precipitación total, esta se redujo en 28% y para el segundo semestre la reducción fue del 40%, en comparación con el 2008. Las capturas de adultos durante el 2009 alcanzaron su máximo con 50 adultos/trampa – semana hacia la semana 6 y de 40 adultos/trampa – semana, en el segundo semestre hacia la semana 48. Se observa una reducción a casi cero de sus poblaciones entre las semanas 31 a 44 (Figura 2), debido a la cosecha que se hizo de la suerte, la cual inició un incremento hasta la semana 49. A partir de esta semana se presenta de nuevo reducción de sus poblaciones (Figura 2).

El 2010 fue un año de altos contrastes en las precipitaciones, ya que en el primer semestre la precipitación fue reducida, pero en el segundo ésta fue el doble, alcanzando 1194 mm (Tabla 1). En relación con las poblaciones de *A. varia*, estas se redujeron considerablemente, alcanzando máximos de solo 12 adultos/trampa – semana hacia la semana 17 y de 28 adultos/trampa – semana hacia la semana 46. Las poblaciones no continuaron aumentando debido a la intensidad de las lluvias que se presentaron hacia finales del año en que muchas suertes de caña se inundaron en la zona (Figura 3).

En la Figura 4, se puede ver claramente que durante los tres años de observaciones se ha presentado una reducción considerable en los niveles de población de *A. varia*. Las capturas de adultos se redujeron de

100 adultos/trampa-semana en 2008, a unos pocos individuos durante 2010.

Las continuas capturas de adultos que se observan en la Figura 4 durante casi todo el año, muestran que hay un traslape de generaciones del salivazo, pero que hay una tendencia en los años 2009 y 2010 a mostrar una distribución bimodal teniendo picos en los dos semestres de cada año. La reducción de poblaciones en el 2010 es un claro efecto climático, al presentarse un déficit considerable de lluvias desde el segundo semestre del 2009, que debió incidir para que mucha población de huevos y ninfas sucumbieran. Este insecto como mecanismo de supervivencia, entra en diapausa en el estado de huevo, durante periodos prolongados de sequía, por lo tanto se supone que al reiniciarse las lluvias con abundancia en el segundo semestre del 2010, estos eclosionaron y se inició un ciclo que al cabo de unos dos meses dieron origen a adultos cuya presencia se registró en las trampas hacia la semana 44, sin embargo se presume que el crecimiento de esta población se detuvo debido a las altas precipitaciones registradas en la zona, al final del 2010 (Tabla 1). Durante los cuatro primeros meses del 2011 (Figura 5), se muestra una tendencia a incrementarse las poblaciones de *A. varia* a pesar de las precipitaciones registradas en este periodo (604 mm) (Tabla 1), que se consideran altas en comparación con los años anteriores.

Nuestro grupo ha realizado varias investigaciones sobre la biología de este insecto tanto en caña como en pasto braquiaria (Sendoya *et al.*, 2011a). En relación con la biología de *A. varia* en caña de azúcar, los resultados indican que la temperatura también afecta su desarrollo, la duración del estado ninfal es de 37 días a 26.6°C. y 75% de HR,

mientras que se incrementa a 40 días cuando estas condiciones son de 23,8°C. y 75%.

Por otra parte, se ha encontrado que la dinámica de *A. varia* criado en caña de azúcar, se afecta por las mortalidades que ocurren en sus estados de desarrollo. En el estado de huevo la mortalidad es del 42% y en el estado ninfal llega al 73%, esto indica que el crecimiento de sus poblaciones en un cultivo de caña es lento y podría obedecer a una adaptación de la plaga de su huésped natural los pastos, a la caña de azúcar (Sendoya *et al.*, 2011b).

Conclusiones

Se concluye que las variaciones climáticas afectan decisivamente la dinámica de *A. varia*, propiciando sus desplazamientos

de las pasturas hacia los cultivos de caña de azúcar. Las épocas secas inducen al salivazo a que entre en diapausa en el estado de huevo y causan mortalidades en sus estados inmaduros, y durante periodos muy lluviosos sus poblaciones se pueden afectar por altas precipitaciones. Un efecto indirecto ocurre sobre la fauna benéfica que afecta esta plaga, al reducirse sus poblaciones a causa de estos fenómenos climáticos. Finalmente, es importante anotar que *A. varia* sigue latente en los cultivos de caña y en las pasturas adyacentes y es posible que bajo condiciones de precipitaciones más reguladas, pueda incrementar sus poblaciones y constituirse en una amenaza seria para el cultivo de la caña de azúcar.

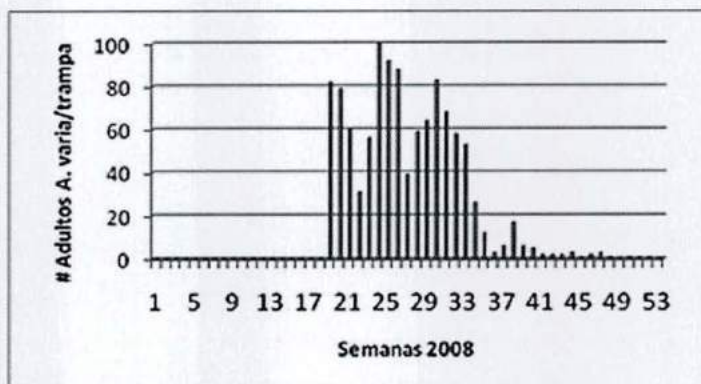
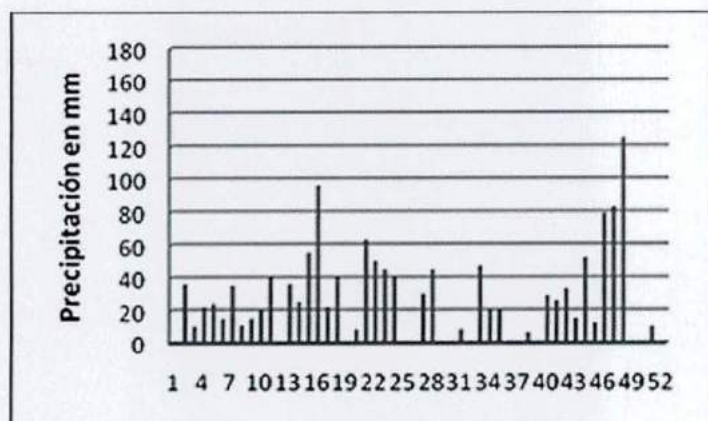


Figura 1. Precipitación y población de adultos de *Aeneolamia varia* en la hacienda La Negra 2008. Las evaluaciones se iniciaron en mayo de 2008.

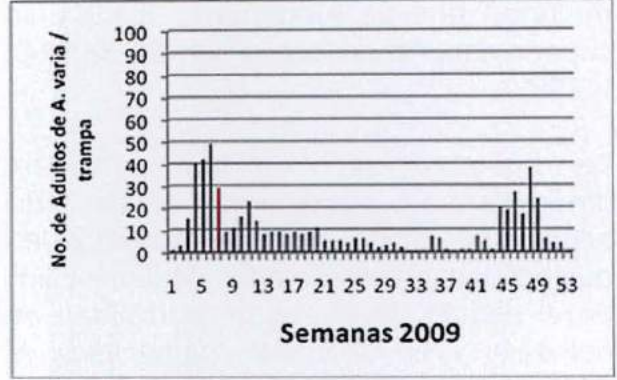
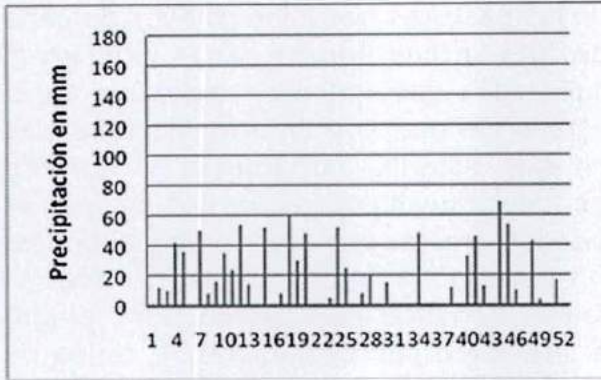


Figura 2. Precipitación y población de adultos de *Aeneolamia varia* en la hacienda La Negra 2009.

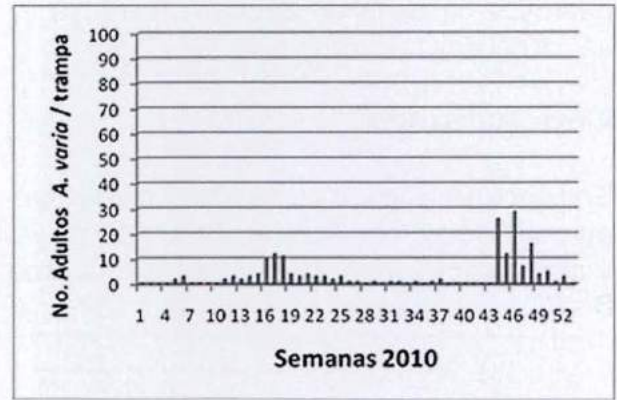
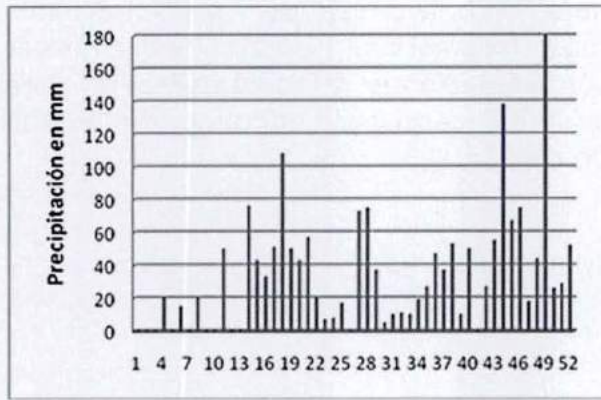


Figura 3. Precipitación y población de adultos de *Aeneolamia varia* en la hacienda La Negra 2010.

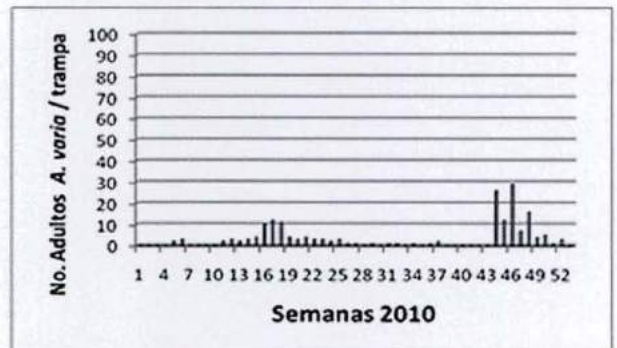
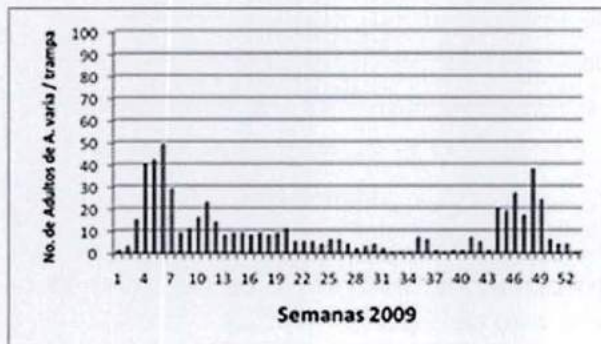
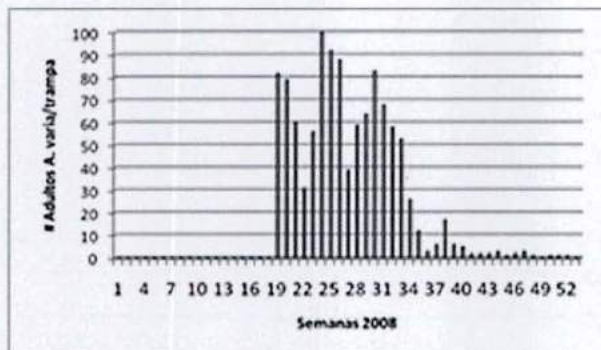


Figura 4. Variación en la población de adultos de *Aeneolamia varia* entre los años 2008 y 2010 en la hacienda La Negra.

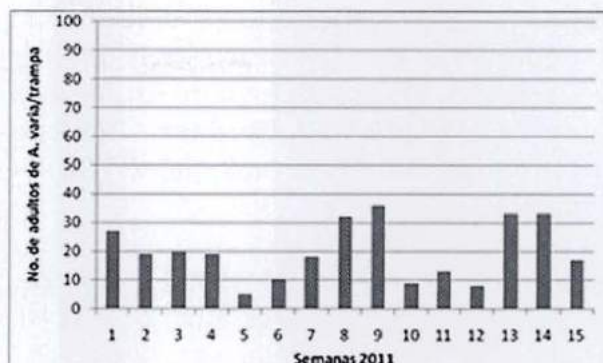
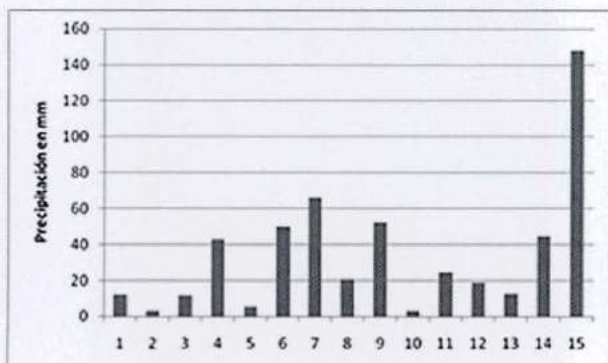


Figura 5. Precipitación en mm arriba y población de adultos/trampa de *Aeneolamia varia* en la hacienda La Negra durante los cuatro primeros meses de 2011.

Referencias Bibliográficas

- AYRES M. P.; LOMBARDERO M. J. 2000. Assessing the consequences of global change for forest disturbance from herbivores and pathogens. *Science of the total environment*, 262: 263-286.
- BARRIENTOS, A. 1986. Fluctuación de *Aeneolamia varia* en pasturas de *Brachiaria decumbens*. *Pasturas tropicales - boletín*, 8 (2): 10 -13.
- BATTISTI A, STASTNY, M.; NETHERER, S.; ROBINET, C.; SCHOPF, A.; ROQUES, A.; LARSSON, S. 2005. Expansion of geographic range in the pine processionary moth caused by increased winter temperatures. *Ecological Applications*, 15: 2084-2096.
- BATTISTI, A. 2008. Forests and climate change - lessons from insects. *iForest* 1: 1-5. [online 2008-02-28] URL: <http://www.sisef.it/iforest/show.php?id=210>
- BEZEMER, T. M.; JONES, T. H. 1998. Plant-insect herbivore interactions in elevated atmospheric CO₂: quantitative analyses and guild effects. *Oikos*, 82: 212-222.
- CROZIER, L. 2004. Warmer winters drive butterfly range expansion by increasing survivorship. *Ecology*, 85: 231-241.
- GÓMEZ, L. A. 2007. Manejo del salivazo *Aeneolamia varia* en cultivos de caña de azúcar en el valle del río Cauca. *Cenicaña (Colombia), Carta Trimestral*, 29 (2-3): 10-17.
- HUNTER, M. D. 2001. Effects of elevated atmospheric carbon dioxide on insect-plant interactions. *Agricultural and Forest Entomology*, 3: 153-159.
- LINARES, B. A.; PÉREZ, G. 1985. Gramíneas hospederas de *Aeneolamia* spp (Homoptera: Cercopidae) en la región centro occidental de Venezuela. *Caña de Azúcar*, 3 (1): 34-42.
- LINARES, B. A.; SALAZAR, J. 1989. Candelilla; salivazo de la caña de azúcar *Aeneolamia varia* (Fabricius). Disponible en: <http://www.miza-ucv.org.ve/plagas-agricolas/fichas/ficha.php?hospedero=285&plaga=161>, [Consultado diciembre 17, 2010].
- MENÉNDEZ, R. 2007. How are insects responding to global warming? *Tijdschrift voor Entomologie*, 150: 355-365

PECK, D. 2001. Diversidad y distribución geográfica del salivazo (Homoptera: Cercopidae) asociado con gramíneas en Colombia y Ecuador. *Revista Colombiana de Entomología*, 27 (3-4): 129-136.

SENDOYA, C. A.; RAMÍREZ, G. D.; BUSTILLO, A. E.; CASTRO, U. 2011a. Biología de *Aeneolamia varia* (F.) (Hemiptera: Cercopidae) en caña de azúcar en el Valle del Cauca. En: Resúmenes, 32 Congreso Sociedad Colombiana de Entomología, Manizales, julio 27 - 29, 2011.

SENDOYA, C. A.; RAMÍREZ, G. D.; GARCÍA, A. M.; BUSTILLO, A. E.; CASTRO, U. 2011b. Parámetros reproductivos de *Aeneolamia varia* (F.) (Hemiptera: Cercopidae) en una cría masiva usando pasto braquiaria. En: Resúmenes, 32 Congreso Sociedad Colombiana de Entomología, Manizales, julio 27 - 29, 2011.

POSADA O., L. 1989. Lista de insectos dañinos y otras plagas en Colombia. ICA, 4ª ed. Bogotá, Boletín Técnico No. 43, 662 p.

THOMPSON, A. 2008. Insect invasion possible as climate warms. Environment, LiveScience Staff Writer, <http://www.livescience.com/environment/080211-gw-insects.html>, posted: 11 February 2008 04:45 pm ET.

Acercamientos multidisciplinarios para promover el manejo integrado de plagas en gulupa, granadilla y maracuyá en Colombia

Kris A.G. Wyckhuys

Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT, A.A. 6713, Cali,
Colombia
k.wyckhuys@cgiar.org

Resumen

Por todo el mundo en vías de desarrollo, frutas tropicales generan ingresos y seguridad laboral, sostienen economías rurales y constituyen la base para una agro-industria emergente. En Colombia, varias especies de *Passiflora* (p.ej., gulupa, granadilla, maracuya) se cultivan principalmente por pequeños agricultores. En estos cultivos, las moscas del ovario o del botón floral (Diptera: Lonchaeidae) son herbívoros importantes. Se estima que algunas de esas especies actúan como plagas, causando vastas pérdidas en producción. Sin embargo, muy poca información existe sobre su biología, ecología y manejo. También, agricultores locales padecen de la información necesaria para diseñar apropiados programas de manejo de estos insectos. Un actual proyecto de investigación aborda los aspectos tanto sociales como ecológicos del manejo de Lonchaeidae en cultivos de Passifloraceae en Colombia. Primero, un estudio en las principales zonas de producción de Passifloraceae indicó la composición de especies de Lonchaeidae, sus dinámicas poblacionales y patrones regionales de infestación. Se identificó un

complejo diverso de especies de *Dasiops* y *Neosilba*, afectando flores, botones florales, igual que frutos inmaduros, con niveles de infestación ocasionalmente sobrepasando los 40%. Posteriormente, una encuesta nacional de productores arrojó luces sobre el conocimiento local y prácticas de manejo de estas plagas. Aparte de una adopción general del uso indiscriminado de insecticidas, varios agricultores están evaluando el uso de trampas y cebos caseros. Algunos productores también usan cebos tóxicos e implementan prácticas de fitosanidad. En una fase final del proyecto, comparamos la efectividad de innovaciones locales con prácticas de manejo definidos por científicos, mediante investigación participativa. Durante ese proceso, científicos se unieron con productores de Passifloraceae en múltiples comunidades rurales, para validar un set de prácticas bajo las respectivas condiciones de producción. Este acercamiento multidisciplinario ayuda a identificar, validar y difundir prácticas de manejo de Lonchaeidae, que son de bajo costo, fácil implementación y moldeados al contexto social y ecológico de la producción de Passifloraceae en Colombia.



Symposios

Importancia de Staphylinidae

Coordinador: Dr. Alex Bustillo

Xanthopygina (Staphylinidae: Staphylininae: Staphylinini) de Colombia: antecedentes, avances y perspectivasDiana Torres Rodríguez¹, Germán Amat García²,
José Luis Navarrete Heredia³¹Lic. En Biología; Programa de Maestría en Ciencias-Biología, Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá; ditorresro@unal.edu.co.²Magister en Ciencias. Profesor Asociado; Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá; gdamatg@unal.edu.co.³Centro de Estudios en Zoología, Universidad de Guadalajara, México; glenusmx@gmail.com**Resumen**

La familia Staphylinidae, específicamente la subfamilia Staphylininae, presenta una alta riqueza de especies. A nivel mundial se reconocen cerca de 300 géneros y alrededor de 7.000 especies agrupadas en siete tribus y varias subtribus. Sin embargo, los estudios taxonómicos realizados sobre este grupo, especialmente en Colombia, son escasos y en consecuencia, se tiene un conocimiento taxonómico inadecuado de su diversidad y distribución, lo que ha generado dificultades para reconocer su importancia en estudios de sistemática, ecología y conservación, así como su potencial para proponerlos como grupos bioindicadores. La subtribu Xanthopygina Sharp, 1884 (Staphylinidae: Staphylininae), presenta una composición incierta en la categoría de género y algunos de estos, no han sido definidos adecuadamente. Como un acercamiento al estado del grupo, se realizó un estudio taxonómico de los estafilínidos de la subtribu Xanthopygina en Colombia, a través de

la revisión de caracteres morfológicos externos, en ejemplares depositados en algunas colecciones entomológicas del país, con lo que se generó un tratamiento taxonómico a nivel de género. Se revisaron 487 ejemplares, encontrando 13 géneros y 65 morfoespecies, de éstas, 18 fueron determinadas a nivel específico y 9 se establecieron como afines. Los géneros con mayor riqueza fueron *Phanolinus*, *Nordus* y *Xanthopygus*. Géneros como, *Tympanophorus* y *Smilax* están representados por solo una especie. La mayoría de especies se encuentran distribuidas en región Andina, Amazonía y Orinoquía.

Key words: Taxonomía, Distribución geográfica, Riqueza, Morfología.

Abstract

The family Staphylinidae, especially the subfamily Staphylininae, has a high species richness. There are about 300 genera and about 7.000 species

recognized and grouped into seven tribes and several subtribes. However, taxonomic studies conducted on this group, especially in Colombia are scarce and therefore we have an inadequate taxonomic knowledge of their diversity and distribution, which has caused difficulties to recognize its importance in studies of systematic, ecology and conservation, and to propose them as potential indicator groups. The composition of the subtribe Xanthopygina Sharp, 1884 (Staphylinidae: Staphylininae) at present is uncertain; there are some genera inadequately defined. As an approach to increase our knowledge of Colombian Xanthopygina, we conducted a taxonomic study through an examination of external morphological characters in specimens from several Colombian entomological collections. Our survey was conducted primarily to generic level. 487 specimens were examined; we found 13 genera and 65 morphospecies, of these, 18 were determined to specific level and 9 were established as close related to a described species. The genera with greater richness were *Phanolinus*, *Nordus* and *Xanthopygus*, whereas, *Smilax* and *Tympanophorus* were recorded by only one species; most species are recorded in the Andean, Amazon and the Orinoco regions.

Key words: Taxonomy, Geographical distribution, Richness, Morphology.

Introducción

La familia Staphylinidae, es el grupo más diverso dentro del orden Coleoptera a nivel mundial, con aproximadamente 55.400 especies agrupadas en 3.400 géneros y 31 subfamilias (Navarrete *et al.*, 2002; Grevnikov y Newton, 2009; Newton *et al.*, 2005); En Colombia, existen 796 especies descritas en 230 géneros y 20 subfamilias, cifra que contrasta con las

5.000 especies que se estima que existen (Newton *et al.*, 2005).

Su gran diversidad no es solo taxonómica sino ecológica, mostrando una amplia variedad de hábitats y hábitos; además, presentan una alta especificidad y elevadas tasas de recambio en gradientes altitudinales (Gutiérrez *et al.*, 2006), lo que los hace altamente sensibles a los cambios ambientales; sin embargo, son grandes los vacíos que se presentan en su conocimiento, principalmente en países que concentran una alta biodiversidad como Colombia.

El conocimiento actual que se tiene de la familia, particularmente sobre sus preferencias de índole ecológico como tipos de hábitat, distribución y hábitos alimenticios, ha generado el desarrollo de varios estudios con el fin de encontrar métodos que permitan esclarecer la importancia de esta familia como posible bioindicadora, no obstante las dificultades asociadas a la taxonomía del grupo (Newton *et al.*, 2005) siendo la única condición que lo limita para ser utilizado con este fin (Villarreal *et al.*, 2004).

La subfamilia Staphylininae Latreille, 1802, ocupa el segundo lugar dentro de Staphylinidae en cuanto a número de especies se refiere. A nivel mundial se reconocen cerca de 300 géneros y alrededor de 7.000 especies agrupadas en siete tribus y varias subtribus. En cuanto a su ecología, se sabe que son especialmente diversos y abundantes en bosques tropicales y templados. Se les encuentra en una gran variedad de ambientes como el dosel, la madera en descomposición y especialmente en la hojarasca, con una gran afinidad por los ambientes húmedos, constituyendo uno de los grupos más comunes e importantes en términos ecológicos de la fauna del suelo (Gutiérrez *et al.*, 2006; García *et al.*, 2005; Navarrete-Heredia *et al.*, 2002; Torres, 2008).

La subtribu Xanthopygina Sharp, 1884, es un grupo con distribución principalmente neotropical, que cuenta con 37 géneros e incluye aproximadamente 385 especies (Chatzimanolis, 2005); es un grupo de fácil manejo debido a que cuenta con algunos de los individuos de mayor tamaño dentro de la familia (entre 1 y 2 cm. aproximadamente) y su principal carácter diagnóstico (margen superior e inferior del hipomerón pronotal no unidos en los extremos) es de fácil reconocimiento; sin embargo, algunos especies coinciden adecuadamente con la diagnosis genérica y aunque existen revisiones recientes de algunos, todavía es escaso su conocimiento taxonómico, sistemático y de historia natural (Navarrete *et al.*, 2002).

Algunas especies de la subtribu Xanthopygina se han encontrado asociadas a detritos y nidos de hormigas, carroña, excremento humano y de otros animales, hongos en descomposición, musgos, hojarasca, debajo de cortezas de pino, habitando en bosque tropical caducifolio, subcaducifolio, perennifolio, mesofilo de montaña, bosques de pino, encino y palmar, y vegetación secundaria con influencia tropical. También en zonas áridas, específicamente en cactus y frutas en descomposición (Navarrete *et al.*, 2002). Así en la necesidad de conocer e inventariar la biodiversidad en el territorio nacional, esta investigación constituye un aporte para clarificar la taxonomía de la subtribu Xanthopygina, en Colombia y contribuir a la superación de la brecha existente entre las cifras de géneros y especies, conocidas y estimadas, así como también para facilitar su uso en sistemática, ecología y conservación.

Este contexto, revela la necesidad de avanzar en el conocimiento de este tipo de fauna en el país. Debido a que en este estudio se utiliza para la determinación de taxones, caracteres de la morfología

externa, se utilizó el concepto morfológico de especie.

Materiales y Métodos

Se examinaron 487 ejemplares provenientes de las siguientes colecciones entomológicas:

- (ICNUN): Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia.
- (UNAB): Colección Entomológica de la Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.
- (MHNUPN): Museo de Historia Natural de la Universidad Pedagógica Nacional.
- (HPUJ): Museo Javeriano de Historia Natural Lorenzo Uribe de la Pontificia Universidad Javeriana.
- (MLS): Colección Entomológica de la Universidad de la Salle.
- (IAvH): Instituto Alexander von Humboldt de Villa de Leiva.
- (UPTC): Museo de Historia Natural "Luis Gonzalo Andrade". Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Biológicas.
- (CIUQ): Colección Entomológica Universidad del Quindío. Armenia.
- (MEFLG): Museo Entomológico "Francisco Luis Gallego" de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

Se revisó la morfología externa de los ejemplares y se determinaron a género usando las claves de Navarrete-Heredia (2002), Chatzimanolis (2004, 2005) y Chatzimanolis y Ashe (2003, 2005). En algunos casos fue posible determinar a los especímenes a nivel específico o bien determinarlos como especies afines; los restantes se determinaron como morfoespecies. Se utilizó la terminología para la morfología de Blackwelder (1936). Se extrajo la información de distribución geográfica proveniente de las etiquetas de localización.

Resultados

Se revisaron en total 487 ejemplares, pertenecientes a 13 géneros y 62 morfoespecies; de éstas, 18 fueron determinadas a nivel específico, 9 se registraron como afines y 35 como morfoespecies. Los géneros encontrados con mayor riqueza fueron *Phanolinus*, *Nordus* y *Xanthopygus*; Aunque *Phanolinus* fue el género con mayor riqueza de especies, también fue uno de los que presentó menor número de especies determinadas, a diferencia de *Nordus* en el que se logró determinar a nivel específico o establecidas como afines a todas las morfoespecies; en *Xanthopygus* se lograron establecer morfoespecies, afines y especies determinadas. Los géneros con el menor número de morfoespecies fueron *Elmas*, *Paraxenopygus*, *Smilax* y *Tympanophorus*, que presentaron solo una especie, y solo en los casos de *Elmas* y *Smilax* se pudo llegar a algún tipo de aproximación en cuanto a su determinación. Los demás géneros tampoco presentaron un total de morfoespecies muy alto, todos entre 2 y 4 morfoespecies, que solo fueron determinadas o establecidas como afines en el caso de *Glenus*, *Oligotergus* y *Xenopygus* (Tabla 1).

De las 27 especies determinadas o establecidas como afines, se encontró en términos generales, que la mayoría se encuentran distribuidas sobre la cordillera de los Andes o próxima a esta, en los llanos orientales y en la región amazónica. Los departamentos con mayor número de registros fueron Amazonas y Meta.

La especie con el mayor número de registros fue *Xenopygus* aff. *analis* que se encontró en 10 departamentos de Colombia. De este mismo género, la especie *Xenopygus* aff. *bicolor*, solo se registra una vez en la amazonía colombiana (Tabla 2).

Especies como *Elmas lescheni*, *Glenus vestitus*, *Oligotergus* aff. *luridipes*, *Phanolinus gloriosus* y *Smilax* aff. *pilosa*, siguieron el mismo patrón al registrarse, también principalmente las cordilleras y en la Amazonía; *Glenus vestitus* se encontró en los departamentos de Antioquia y Meta. Las especies del género *Nordus* mostraron el mismo patrón de distribución geográfica. La especie *Xanthopygus cognatus* fue la única que se registro en la parte Caribe de Colombia, el resto de especies del mismo género, siguen los patrones de distribución que se han mostrado en las especies anteriores (Tabla 2).

De los caracteres taxonómicos observados, son significativos los caracteres del genital del macho para separar especies, así como también se encontró que el carácter color no es diagnóstico en esta misma categoría. Para caracterizar géneros los caracteres más relevantes fueron, la densidad del poro, el tamaño de los ojos, longitud de la mandíbula, forma del artejo apical de los palpos labiales y maxilares, la unión o no de la línea anterior del protórax con la línea superior del hipomeron pronotal, líneas impresas o no, en los terguitos abdominales y tarsómeros 1

a 4 de las patas anteriores dilatados o diagnósticos en las categorías de género y especie (Tabla 3).

Tabla 1. Géneros y especies registradas en las colecciones entomológicas revisadas.

Género	Número de Morfoespecies	Especies
<i>Dysanellus</i>	4	
<i>Elmas</i>	1	<i>Elmas lescheni</i>
<i>Glenus</i>	2	<i>Glenus vestitus</i>
<i>Nordus</i>	14	<i>N. amphivolos</i>
		<i>N. antennatus</i>
		<i>N. batesi</i>
		<i>N. densiventris</i>
		<i>N. dichromos</i>
		<i>N. diversiventris</i>
		<i>N. fungicola</i>
		<i>N. maculiceps</i>
		<i>N. major</i>
		<i>N. simplex</i>
		<i>N. solitarius</i>
		<i>N. aff. stomachoponos</i>
		<i>N. stylocerus</i>
		<i>N. xanthocerus</i>
<i>Oligotergus</i>	2	<i>O. aff. luridipes</i>
<i>Paraxenopygus</i>	1	
<i>Phanolinus</i>	15	<i>Phanolinus gloriosus</i>
<i>Philothalpus</i>	2	
<i>Plociopterus</i>	3	
<i>Smilax</i>	1	<i>S. aff. pilosa</i>
<i>Tympanophorus</i>	1	
<i>Xanthopygus</i>	13	<i>X. aff. calidus</i>
		<i>X. aff. sapphirinus</i>
		<i>X. aff. rufipenis</i>
		<i>X. cognatus</i>
		<i>X. xanthopygus</i>
<i>Xenopygus</i>	3	<i>X. aff. confusus</i>
		<i>X. aff. analis</i>
		<i>X. aff. bicolor</i>
13	62	27

Tabla 2. Departamentos en los que se registraron ejemplares de la subtribu Xanthopygina.

Especie	Distribución (Departamentos)	Colección
<i>Elmas lescheni</i>	Amazonas; Meta; Vaupés	ICNUN; IAvH
<i>Glenus vestitus</i>	Antioquia; Meta	UNAB; ICNUN; MHNUPN; IAvH
<i>Nordus amphivolos</i>	Amazonas	MUJ
<i>Nordus antennatus</i>	Amazonas; Meta	IAvH; ICNUN
<i>Nordus batesi</i>	Amazonas	IAvH
<i>Nordus densiventris</i>	Huila	IAvH
<i>Nordus dichromos</i>	Nariño	IAvH
<i>Nordus diversiventris</i>	Valle del Cauca	IAvH
<i>Nordus fungicola</i>	Antioquia	MEFLG
<i>Nordus maculiceps</i>	Caldas; Meta	MEFLG; IAvH
<i>Nordus major</i>	Antioquia	MEFLG
<i>Nordus simplex</i>	Amazonas; Meta; Putumayo	IAvH; MUJ
<i>Nordus solitarius</i>	Antioquia; Caldas; Valle del Cauca	MEFLG; IAvH
<i>Nordus aff. stomachoponos</i>	Boyacá; Cundinamarca; Meta	UPTC; ICNUN; MUJ; UNAB
<i>Nordus stylocerus</i>	Putumayo	IAvH
<i>Nordus xanthocerus</i>	Nariño	IAvH
<i>Oligotergus aff. luridipes</i>	Nariño	ICNUN
<i>Phanolinus gloriosus</i>	Boyacá; Risaralda	UPTC; MUJ; IAvH
<i>Smilax aff. pilosa</i>	Cundinamarca; Meta; Tolima	UNAB; MUJ; IAvH
<i>Xanthopygus aff. calidus</i>	Santander	ICNUN
<i>Xanthopygus aff. sapphirinus</i>	Cundinamarca; Meta	UNAB
<i>Xanthopygus aff. rufipenis</i>	Amazonas	MUJ
<i>Xanthopygus cognatus</i>	Antioquia; Meta	MEFLG; ICNUN
<i>Xanthopygus xanthopygus</i>	Amazonas; Boyacá	ICN; MEFLG
<i>Xenopygus aff. confusus</i>	Amazonas; Antioquia; Meta; Putumayo	MUJ; IAvH
<i>Xenopygus aff. analis</i>	Amazonas; Antioquia; Caldas; Chocó; Cundinamarca; Magdalena, Meta; Risaralda; Tolima; Santander	MUJ; IAvH; ICNUN; UNAB; MEFLG
<i>Xenopygus aff. bicolor</i>	Amazonas	MUJ

Tabla 3. Caracteres clave para la diagnosis de los géneros de la subtribu Xanthopygina.

	Carácter
CABEZA	<p>Forma: 1. Más ancha que larga, 2. Cuadrada, 3. Más larga que ancha</p> <p>Tamaño de los ojos: 1. Mayor a la mitad de la longitud de la cabeza, 2. Menor. 3. Cubriendo totalmente el margen lateral</p> <p>Abundancia de poros: 1. Escasos, 2. Abundantes, 3. Densos</p> <p>Coloración de las setas: 1. Oscuras, 2. Pálidas</p> <p>Longitud de la mandíbula: 1. Más corta que la longitud de la cabeza, 2. Igual a la longitud de la cabeza, 3. Más larga que la longitud de la cabeza</p> <p>Quilla en la gena: 1. Presente, 2. Ausente</p> <p>Forma del palpo labial apical: 1. Más largo que ancho, 2. Más ancho que largo, 3. Cuadrado</p> <p>Forma del palpo maxilar apical: 1. Más largo que ancho, 2. Más ancho que largo, cuadrado</p> <p>Microsetas en los antenómeros: 1. 3 a 11, 2. 4 a 11, 3. 5 a 11</p> <p>Forma de los antenómeros</p>
PROTÓRAX	<p>Longitud: 1. Más largo que la cabeza, 2. Igual a la cabeza, 3. Menor que la cabeza</p> <p>Forma: 1. Más ancho que largo, 2. Cuadrado, 3. Más largo que ancho</p> <p>Distribución de setas: En todo en pronoto, 2. Sobre los bordes, en los ángulos anteriores</p> <p>Coloración de las setas: 1. Oscuras, 2. Pálidas</p> <p>Proceso postcoxal: 1. Presente, 2. Ausente</p> <p>Forma del proceso postcoxal: 1. Triangular ancho, 2. Como una pestaña pequeña</p>
ÉLITROS	<p>Coloración: 1. Opaco, 2. Brillante, 3. Metalizados</p> <p>Coloración de las setas: 1. Oscuras, 2. Pálidas</p>
ABDOMEN	<p>Brillo de los segmentos: 1. Opaco, 2. Brillante, 3. Metalizados</p> <p>Presencia de líneas impresas en los terguitos abdominales: 1. Presencia, 2. Ausencia</p> <p>Forma de las líneas impresas en los terguitos: 1. Curvas, 2. Rectas, 3. Cortas, bajo los ángulos anterolaterales</p>
PATAS	<p>Forma de los tarsómeros de las patas anteriores: 1. Dilatados fuertemente, 2. dilatados levemente, 3. No dilatado</p> <p>Forma de los tarsómeros de las patas medias y posteriores: 1. Dilatados fuertemente, 2. dilatados levemente, 3. No dilatado</p> <p>Prolongaciones en las coxas posteriores: 1. Presencia, 2. Ausencia</p>

Discusión

Las cifras de registros encontrados contrastan con el número de géneros y especies registradas para Colombia, aunque estas son variables dependiendo del autor. Según la lista de chequeo de Staphylinidae de Colombia (Newton et al., 2005), la subtribu Xanthopygina

registra 49 especies en 15 géneros, más 13 géneros que se encuentran en la categoría de probables o conocidos; así se puede observar como el número de géneros encontrados es significativo con respecto al número registrado y como el número de especies sobrepasa a las registradas, resaltando la importancia de este grupo en el territorio nacional

en términos de riqueza de especies. Esto también es sustentado por sus patrones de distribución geográfica, en los que se pueden establecer vacíos de muestreo y especies posiblemente viviendo en simpatria, lo que podría indicar la especificidad de estas especies a determinadas condiciones ambientales.

Es posible que no se hayan encontrado todos los géneros registrados, posibles y conocidos que se citan en la lista de chequeo para Colombia porque este trabajo solo se realizó con ejemplares de colección, así que se hace necesario para continuar aportando al conocimiento del grupo, realizar muestreos principalmente donde se establecieron los vacíos en las distribuciones.

Conclusiones

1. Teniendo en cuenta el número de morfoespecies encontradas y separadas principalmente por las características del genital de macho, se puede sostener la importancia de la subtribu en relación con la riqueza de especies y la posible especificidad al hábitat ya que muchas de estas fueron encontradas en simpatria. Así, los procesos de especiación simpátrica que posiblemente se están generando dentro de los géneros, nos permite visualizar el valor que presenta este grupo para trabajos ecológicos y de conservación, principalmente del hábitat, pues es posible que se estén generando condición en cuanto a microhábitat que favorezcan la especiación dentro del grupo.
2. Se evidencio una gran dificultad para llegar a niveles específicos y aún genéricos debido a la falta de trabajos taxonómicos realizados con el grupo y a la dificultad para acceder a ejemplares tipo, que dentro de la

mayoría de géneros constituía un paso indispensable debido a la presencia de posibles especies crípticas y polimórficas, y a que las publicaciones originales que la mayoría eran de 1800s, no constituían una descripción plena sino más una diagnosis, sin fotografías, ilustraciones, esquemas y tratamiento del genital.

Agradecimientos

Héctor Jaime Gasca y Karen Salazar por sus valiosos aportes a esta investigación; a los Doctores Alfred F. Newton del Field Museum of Natural History at Chicago y Stylianos Chatzimanolis del Department of Biological and Environmental Sciences, University of Tennessee at Chattanooga por su colaboración en la determinación de ejemplares y búsqueda bibliográfica. A Angélico Asenjo por el envío de literatura clásica sobre Staphylinidae; a los curadores de las colecciones que facilitaron la revisión del material.

Referencias Bibliográficas

- ASHE, J. CHATZIMANOLIS, S. 2003. A revision of the Genus *Elmas* Blackwelder, 1952 (Coleoptera: Staphylinidae: Staphylininae: Xanthopygina). With a Preliminary Reconstructed Phylogeny of the Species. Scientific papers. Natural History Museum The University of Kansas. Number 28: 1-41.
- BLACKWELDER R. 1936. Morphology of the coleopterous family Staphylinidae. En: Smithsonian Miscellaneous Collections. [En línea]. Vol. 94 Núm. 13. 54p. [5 feb. 2009]. Disponible en: http://museohn.unmsm.edu.pe/divisiones/zoologia/entomologia/web_staphy/archivos_staphy/morfologia_staphylinidae.html

- CHATZIMANOLIS, S. 2004. "A revision of the Neotropical Beetle genus *Nordus* Blackwelder (Insecta: Coleoptera: Staphylinidae: Xanthopygina)". En: *Entomologische Abhandlungen. Museum für Tierkunde Dresden*. 62 (1): 3-64. [2 sep. 2010]. Disponible en: http://www.arthropod-systematics.de/EA_62_1/EA_62_1-3-64_Chatzimanolis.pdf
- CHATZIMANOLIS, S. 2005. "Phylogeny of the Neotropical rove beetle genus *Nordus* (Coleoptera: Staphylinidae) with a special reference to the evolution of coloration and secondary sexual characters". En: *Systematic Entomology* [En línea] 30, 267-280. [30 ago 2010]. Disponible en: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-3113.2004.00274.x/pdf>
- CHATZIMANOLIS, S. & ASHE, J. 2005. "Revision and phylogeny of the Neotropical genus *Philothalpus* Kraatz (= *Eugastus* Sharp and *Allostenopsis* Bernhauer) (Coleoptera: Staphylinidae: Xanthopygina)". En: *Insect Systematics & Evolution*. 36:1. [5 sep. 2010]. Disponible en: <http://orton.catie.ac.cr/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=OET.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=029618>
- GARCÍA, R. y CHACÓN P. 2005. Estafilínidos (Coleoptera: Staphylinidae) en fragmentos de bosque seco del valle geográfico del río Cauca. En: *Revista Colombiana de Entomología* [en línea]. Vol. 31(1). 43-50p. [14 may 2009]. Disponible en: <http://hormigas.univalle.edu.co/pdf/2005EstafilinidosBosqueSeco.pdf>
- GUTIÉRREZ, C; ULLOA, P. 2006. Composición de los estafilínidos (Coleoptera: Staphylinidae) asociados a hojarasca en la cordillera oriental de Colombia. En: *Folia Entomológica Mexicana* [en línea]. Vol. 45(2). 69-81p. [21 mar 2009]. Disponible: <http://entomologia.univalle.edu.co/boletin/TesisPre.pdf>
- NAVARRETE-HEREDIA, J; NEWTON, F; THAYER, M.K.; ASHE, J.S. and CHANDLER, D.S. 2002. Guía Ilustrada para los géneros de Staphylinidae (Coleoptera) de México. Illustrated guide to the genera of Staphylinidae (Coleoptera) of México. Universidad de Guadalajara y CONABIO, México. 401p.
- NEWTON A. GUTIÉRREZ C. y CHANDLER D. 2005. Checklist of the Staphylinidae (Coleoptera) of Colombia. En: *Biota colombiana* [en línea]. 6 (1). 1-72p. [10 feb. 2009]. Disponible en: http://www.siac.net.co/biota/bitstream/123456789/147/1/Staphylinidae_galera.pdf
- TORRES. D. 2008. Coleópteros de la hojarasca en cuatro coberturas vegetales del Santuario de Fauna y Flora Otún Quimbaya (Risaralda, Colombia). Bogotá. 2008. Tesis (Licenciatura en Biología). Universidad Pedagógica Nacional. Facultad de Ciencia y Tecnología. Departamento de Biología.
- VILLAREAL H; M. ÁLVAREZ, S. CÓRDOBA, F. ESCOBAR, G. FAGUA, F. GAST, H. MENDOZA, M. OSPINA y A.M. UMAÑA. 2004. Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Programa de Inventarios de Biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia. 236 p.

Hacia la Revisión y Filogenia del Género *Pselaphomorphus* Motschulsky (Coleoptera: Staphylinidae, Pselaphinae)

Laura María Vásquez Vélez, Nico Fran²

²Universidad de Puerto Rico, Recinto Mayaguez

Resumen

La subfamilia Pselaphinae (Coleoptera, Staphylinidae) contiene más de 9.000 especies distribuidas alrededor del mundo. Su alta diversidad ha sugerido gran importancia ecológica, que combinada con una variedad de características morfológicas, la convierten en buen ejemplo para realizar análisis filogenéticos y estudios evolutivos en diferentes escalas geográficas. En las Américas, la mayoría de los trabajos en sistemática de la subfamilia se han enfocado en la fauna de Norte América, dejando la fauna de Centro y Sur América sin mayores actualizaciones sobre posibles nuevas especies y re-descripciones por más de 50 años. El género Neotropical *Pselaphomorphus* Motschulsky (Pselaphinae, Jubini), contiene actualmente 5 especies que fueron descritas entre los años 1855 y 1917 para Argentina, Brasil, Panamá, Paraguay y Venezuela. En el presente estudio se han encontrado al menos 12 nuevas especies pertenecientes a 7 países diferentes. Los resultados que se han encontrado ayudarán a la revisión del género y al análisis filogenético, además de un análisis de biogeografía histórica.

Abstract

Pselaphinae subfamily (Coleoptera, Staphylinidae) contains over 9.000 species distributed worldwide. Its high diversity suggests great ecological importance that combined with a variety of morphological

characteristics make it a good example for phylogenetic and evolutionary studies on different geographical scales. In the Americas, most of the work on systematics of the subfamily has focused on the fauna of North America, leaving the fauna of Central and South America without major updates on possible new species and re-descriptions for 50 years. The neotropical genus *Pselaphomorphus* Motschulsky (Pselaphinae, Jubini), currently contains 5 species described between 1855 and 1917 for Argentina, Brazil, Panama, Paraguay and Venezuela. In this study has resulted in at least 12 new species belonging to 7 different countries. These results are going to be included in the revision of the genus as well as in an historical biogeography analysis.

Palabras clave: Pselaphinae, características morfológicas, revisión, Neotropical *Pselaphomorphus*.

Key words: Pselaphinae, morphological characteristics, revision, Neotropical, *Pselaphomorphus*.

Introducción

La subfamilia Pselaphinae (Coleoptera: Staphylinidae) contiene más de 9.000 especies distribuidas alrededor del mundo (Newton & Chandler, 1989; Thayer, 2005). Esta riqueza de especies la convierte en la segunda subfamilia más grande dentro de la hiperdiversa Staphylinidae (Grebennikov & Newton, 2009). Su alta riqueza de especies y

abundancia en ciertos microhábitats sugiere que los pselaphinos son importantes ecológicamente (Chandler, 1990; Navarrete-Heredia *et al.*, 2002). Todas las especies son depredadoras de invertebrados como anélidos, colémbolos, larvas de insectos, ácaros, etc. (Chandler, 1990). La mayoría de las especies son de talla pequeña (0.7-4.5 mm) y pueden ser encontradas en hojarasca y madera en descomposición en el suelo de los bosques (Newton & Chandler, 1989; Chandler, 1990; Thayer, 2005). Así, al combinar la diversidad de la subfamilia con una variedad de caracteres taxonómicos se pueden mejorar análisis filogenéticos y facilitar estudios evolutivos en escalas biogeográficas regionales y globales (Newton & Chandler, 1989; Carlton, 1990).

Diversos estudios han tratado la taxonomía de Pselaphinae alrededor del mundo. En la región Neotropical, Orlando Park trabajó en la fauna de pselaphinos de las Indias Occidentales y Centro América a mediados del siglo pasado (Park, 1942; 1952). Sin embargo, desde aquella época los trabajos sobre revisión de especies se han enfocado en la fauna de Norte América, dejando gran parte de la fauna neotropical sin actualizaciones de carácter sistemático por más de 50 años. Como consecuencia, muchos grupos de pselaphinos neotropicales permanecen inexplorados taxonómicamente y requieren la revisión de nuevas especies así como la de aquellas descritas incompletamente. Este trabajo es parte integral de un proyecto que tratará aparentes problemas sistemáticos en la tribu neotropical Jubini Raffray, con particular énfasis en el género *Pselaphomorphus*, Motschulsky.

Pselaphomorphus - sculpturatus fue descrita por Motschulsky en 1855, en Panamá, siendo el primer reporte para este género. Según Park (1952), el

género puede ser distinguido de otros géneros dentro de Jubini usando las siguientes características: la cabeza es alargada con un surco longitudinal medio, esta se constriñe antes del ápice formando un tubérculo conspicuo, el cual no se encuentra en géneros como *Jubus* o *Sebaga*, en los cuales la cabeza se estrecha regularmente hacia el ápice. Las antenas son alargadas con segmentos más largos que anchos, opuesto a segmentos transversos y cortos, como los observados en *Arctophysis*. Pronoto tiene dos surcos longitudinales profundamente definidos y un surco antebasal transverso, que está ausente en *Barrojuba*. La superficie ventral de la cabeza tiene un par de carinas oblicuas convergentes bien definidas. Como en muchos Jubini, la forma alada está restringida a los machos que al mismo tiempo tiene un número mayor de ommatidia (Park, 1942).

El género *Pselaphomorphus* incluye cinco especies descritas, originalmente distribuidas desde Panamá hasta Argentina (Park, 1952): *P. sculpturatus* Motschulsky, 1855, a partir de la cual se describió el género y la primera especie encontrada en Panamá; *P. microphthalmus* Raffray, 1890, descrita para Colonia Tovar, Venezuela; *P. longiceps* Raffray, 1890, descrita para Blumenau, Santa Catarina y Vicosá, Minas Gerais, en Brasil; *P. bruchi* Raffray, 1908, descrita para Buenos Aires, Argentina, y *P. brevipennis* Raffray, 1917, descrita para Asunción, Paraguay. Préstamos de Museos y colecciones variadas de diferentes países de Centro y Sur América han generado varias nuevas posibles especies. Así, el objetivo de este trabajo es presentar especímenes de *Pselaphomorphus* pertenecientes a diferentes países donde antes no habían sido reportados; además de enumerar las posibles nuevas especies pertenecientes a este género con miras a la revisión del género y la descripción completa de las especies actuales.

Materiales y Métodos

Los especímenes usados en este proyecto fueron obtenidos por medio de visitas a Museos y préstamos temporales a UPRM-INVCOL (Franz & Yussef-Vanegas, 2009) por parte de las siguientes instituciones:

- (FMNH) - Field Museum of Natural History, Chicago, USA.
- (KSEM) - Kansas University Division of Entomology, Snow Entomological Collections, Kansas, USA.
- (UNHC) Chandler - Donald S. Chandler collection, Department of Zoology, University of New Hampshire, Durham, USA.

Las características externas fueron examinadas usando un microscopio estereoscopio Leica M50 (magnificación 10-64x). Las fotografías de los hábitos fueron tomadas con el sistema Microptics XLT.

Los especímenes pertenecientes a posibles nuevas especies, fueron comparados con las especies ya descritas tomando en cuenta características morfológicas y el país donde fueron colectados.

Resultados y Discusión

Se han encontrado al menos 12 nuevas especies pertenecientes al género *Pselaphomorphus*. Estas especies son reportes para Bolivia, Costa Rica, Ecuador, Guatemala, Honduras, México, Panamá y Perú. Las características morfológicas observadas fueron las convenidas por Motschusky (1955) y Raffray (1891). Estas son: Diferencia de longitud de las antenas, diferencias en la forma de la cabeza, detalles del surco longitudinal de la cabeza, forma del pronoto y los lóbulos prenatales (subcuadrados/triangu-

los), presencia de un diente en el humero elitral. Además de las características morfológicas se tuvo en cuenta el país de colecta de cada espécimen. De acuerdo a la morfología de las hembras que no presentan alas, se puede decir que la dispersión de los coleópteros del género *Pselaphomorphus* está limitada a los machos.

En la Figura 1 se presenta una fotografía del hábito y una vista lateral de un individuo macho de la especie a partir de la cual se describió el género en 1855 para Panamá, este se puede diferenciar por las siguientes características:

Pselaphomorphus sculpturatus Motschulsky-longitud de las antenas alcanza la base de los élitros, cabeza alargada con surco longitudinal cubierto con pilosidad oscura. El pronoto es rectangular, los surcos longitudinales del pronoto forman lóbulos subcuadrados. El cuerpo es marrón oscuro con pilosidad marrón clara. En vista lateral, el extremo apical de la cabeza se ensancha a la altura de la inserción de las antenas, formando un tubérculo.

En la Figura 2 se presenta un macho de la especie descrita para Brasil, que se puede distinguir por medio de las siguientes características:

Pselaphomorphus longiceps Raffray-longitud de las antenas alcanza el final del pronoto, cabeza triangular, el surco longitudinal presenta un ensanchamiento a la altura de los ojos. El pronoto es subcuadrado con el extremo apical más angosto que el basal, los surcos longitudinales del pronoto forman lóbulos subcuadrados. El cuerpo es marrón claro, con pilosidad del mismo tono. En vista lateral la línea dorsal de la cabeza es continua, haciendo que tubérculo antenal no sea tan conspicuo como en otras especies.

En la Figura 3 se presenta un macho la especie descrita para Venezuela, que se puede distinguir por medio de las siguientes características:

Pselaphomorphus microphthalmus Raffray- longitud de las antenas alcanza el final del pronoto, cabeza alargada con surco longitudinal cubierto por pilosidad dorada. El pronoto es subcuadrado con los surcos longitudinales formando lóbulos triangulares. El cuerpo es marrón rojizo con pilosidad dorada alrededor del cabeza, pronoto y élitros. En vista lateral, el extremo apical de la cabeza se ensancha a la altura de la inserción de las antenas, formando un tubérculo.

Conclusiones y Perspectivas

Las especies descritas serán la base para continuar con la revisión del género *Pselaphomorphus*. Las 12 nuevas especies

que han sido encontradas respaldan la hipótesis sobre un aislamiento geográfico de cada especie de acuerdo al país donde fue colectada. Las especies adicionales serán nombradas apropiadamente y descritas como un objetivo más grande de este proyecto. Con la nueva información que se vaya recopilando en el transcurso de esta investigación se llevará a cabo un análisis filogenética basado en características morfológicas y un análisis de biogeografía histórica.

Agradecimientos

Los autores agradecen a las instituciones y/o personas que realizaron el préstamo de los especímenes: en el Field Museum of Natural History en Chicago a M. Thayer y A. Newton; en la Universidad de New Hampshire a D.S. Chandler, y en la Universidad de Kansas, las Snow Entomological Collections.



Figura 1. Hábito y vista lateral de *Pselaphomorphus sculpturatus* Motschulsky. La línea vertical representa 1 mm.



Figura 2. Hábito y vista lateral de *Pselaphomorphus longiceps* Raffray. La línea vertical representa 1 mm.

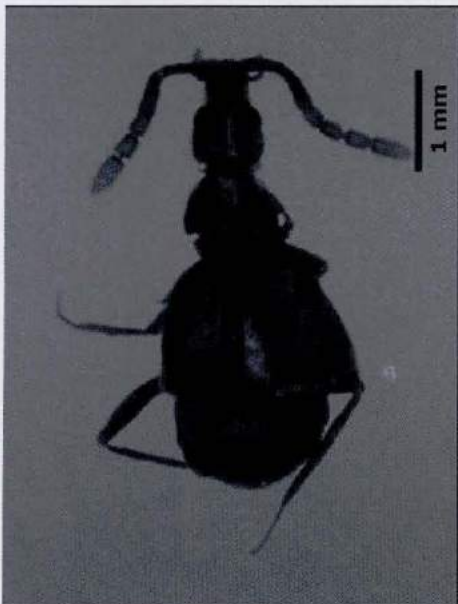


Figura 3. Hábito y vista lateral de *Pselaphomorphus microphthalmus* Raffray. La línea vertical representa 1 mm.

Referencias Bibliográficas

- ARNETT R.H, SAMUELSON G.A, NISHIDA G.M. 1993. The Insect and Spider Collections of the World, 2nd Ed. Fauna & Flora Handbook No. 11. Sandhill Crane Press, Gainesville, 316 pp.
- CARLTON C.E. 1990. Biogeographic affinities of pselaphid beetle genera of eastern of United States. Florida Entomologist 73: 570-579.
- CHANDLER D.S. 1990. Insecta: Coleoptera Pselaphidae. In: Dindal, D.L (ed.). Soil Biology Guide. John Wiley and Sons, Inc. New York.
- GREBENNIKOV V.V. NEWTON A.F. 2009. Good-bye Scydmaenidae, or why the ant-like stone beetles should become megadiverse Staphylinidae sensu latissimo (Coleoptera). European Journey of Entomology 106: 275-301.
- MOTSCHULSKY V. 1855. Voyages. Lettre de M. de Motschulsky à M. Ménétriés. No. 2. A bord du bateau à vapeur United-States, 20 Mars 1854. Etudes Entomologiques 4: 8-25.
- NAVERRETE-HEREDIA J.L., NEWTON A.F., THAYER M. K., ASHE J.S, CHANDLER D.S. 2002. Guía Ilustrada para los Géneros de Staphylinidae (Coleoptera) de México. Universidad de Guadalajara y CONABIO, México. 401 pp.
- NEWTON, A.F., CHANDLER D.S. 1989. World catalog of the genera of Pselaphidae (Coleoptera). Fieldiana Zoology 53: 1-93.
- PARK O. 1942. A study in Neotropical Pselaphidae. Northwestern University Studies in the Biological Sciences and Medicine. Northwestern University, Evanston and Chicago. 403 pp.
- PARK O. 1952. A revisional study of Neotropical pselaphid beetles. Part One. Tribes Faronini, Pyxidicerini and Jubinini. Chicago Academy of Sciences, Special Publication 9: 1-49.
- RAFFRAY A. 1891. Voyage de M.E. Simon au Venezuela. Décembre 1887-Avril 1888. 10a Mémoire. Psélaphides. Annales de la Société Entomologique de France (6)10: 297-330.
- THAYER M.K. 2005. 11. 7. Staphylinidae Latreille, 1802. Pp 296-344 In: Niels P. Kristensen & Rolf G. Beutel (eds.). Handbook of zoology: A natural history of the phyla of the Animal Kingdom. Volume IV: Artropoda: Insecta

Diversidad de estafilínidos (Coleoptera: Staphylinidae) asociados a tres bosques en el Santuario de Fauna y Flora Guanentá Alto Río Fonce, Andes Colombianos

Daniel Felipe Silva Tavera¹,
José Luis Navarrete Heredia²

¹Estudiante Biología-Universidad Industrial de Santander
protoentomon@gmail.com.

²Centro de Estudios en Zoología, Universidad de Guadalajara, México;
glensmx@gmail.com

Resumen

Se compara la diversidad y composición de los escarabajos de la familia Staphylinidae asociados a tres bosques en el Santuario de Fauna y Flora Guanentá, Alto Río Fonce. Los estafilínidos hacen parte de una colecta realizada por el Grupo de Estudios en Biodiversidad de la Universidad Industrial de Santander en periodos comprendidos entre el año 2000 y 2002. En la colecta se usaron distintas técnicas (Malaise, Mac-phail, Pitfall, golpeteo y jameo). Como descriptor del esfuerzo y calidad del muestreo se implementan curvas de acumulación de especies (Colwell and Coddington, 1994).

La diversidad alfa se explora mediante índices de diversidad, Curvas rango-abundancia para interpretar la abundancia de especies y la estimación de riqueza de especies. Se usa el enfoque de similaridad composicional (Speight *et al.*, 2008) para los tres bosques usando índices basados en presencia/ausencia (Jaccard y Sorensen) y abundancias (Morisita-Horn), también se implementa un análisis de agrupamiento por UPGMA (Crisci & Lopez-Armengol, 1983) para explorar el reconocimiento de gremios.

Key words: Staphylinidae Colombia, diversidad-alfa, indicadores biológicos.

Historia y diversidad de los Andes

El paisaje de la Cordillera de los Andes obedece a un conjunto de eventos geológicos y climáticos que tomaron lugar hace varios millones de años (Meade & Conrad, 2008). El movimiento de las Placas Pacífica y Caribe favorecieron procesos orogénicos y de subducción que contribuyeron al levantamiento asincrónico de las formaciones andinas (Gregory-Wodzicki, 2000; Graham, 2009), alcanzando la mayor complejidad geomorfológica en las tres cordilleras de los Andes de Colombia que están separadas por las cuencas sedimentarias de los valles del río Cauca y Magdalena. El levantamiento de los Andes constituye uno de los tres eventos históricos que explican la diversidad biológica en los Andes Tropicales, este evento abrió el camino para un sinnúmero de eventos de vicarianza y creó distintos ambientes para la radiación biótica y la diversificación. La conexión con el norte del continente permitió el intercambio biótico, enriqueciendo la diversidad nativa con nuevas taxa y el fluctuante clima del Pleistoceno probablemente causó el fraccionamiento y aislamiento de las poblaciones trayendo consigo eventos de especiación y radiación (Kattan *et al.*, 2004).

Los Andes Tropicales se consideran un candidato "Hyper-hot" para la

conservación, soportado por el número de especies y endemismos para plantas y vertebrados (Myers *et al.*, 2000), sugiriendo que este patrón de diversidad posiblemente se presente en insectos dada la estrecha relación de estos con las plantas (Larsen *et al.*, 2011).

Coleopteros y Staphylinidae

La diversidad de especies de Coleoptera ha sido ampliamente evocada y se reconoce como el orden con mayor número de especies animales descritas (McKenna & Farrell, 2009). Se han propuesto importantes factores que podrían explicar la gran diversidad del orden. Dentro de los factores se han incluido aquellos relacionados con la estructura y función corporal (Lawrence & Britton, 1994), y múltiples roles ecológicos de algunas grandes familias con las angiospermas (Farrel, 1998). Por otra parte, Bouchard *et al.* (2009), exponen que los patrones de diversidad de escarabajos, nos muestran que Coleoptera tuvo una masiva radiación adaptativa al inicio de su historia evolutiva y la radiación adaptativa de las angiospermas ayudó a conducir la diversificación de algunas familias de coleoptera (especialmente Curculionidae, Chysomelidae, Scarabaeidae y Cerambycidae). Sin embargo, los linajes de depredadores, micófagos y las familias restantes, han sido altamente exitosas, así que el éxito del orden Coleoptera no ha sido únicamente conducido por aquellos linajes altamente diversos, sino también por un número importante de linajes de éxito moderado (Bouchard *et al.*, 2009).

La familia Staphylinidae, es el grupo más diverso dentro del orden Coleoptera a nivel mundial, con aproximadamente 55.400 especies agrupadas en 3.400 géneros y 31 subfamilias (Grevnikov y Newton 2009), corresponde a una de las familias de Coleoptera de mayor

diversidad y abundancia en los bosques tropicales (Navarrete-Heredia *et al.*, 2002; Newton *et al.*, 2005), son comúnmente encontrados dentro de la fauna edáfica y varias de las especies son depredadores de vida libre pero otras se alimentan de hongos, polen o materia orgánica en descomposición (Newton *et al.*, 2005; (Klimaszewski, 2000), incluso han sido considerados como "bioindicadores" (Bohac, 1999). Los estafilínidos habitan una variedad de macro y micro-hábitats mostrando marcados grupos tróficos y respuestas en composición tanto en hábitats conservados (Klimaszewski, 2000; Navarrete-Heredia *et al.*, 2002), como en hábitats semi-naturales e intervenidos (Bohac, 1999).

Indicadores de heterogeneidad

Los insectos han sido considerados como buenos indicadores de heterogeneidad de hábitat, diversidad del ecosistema y estrés ambiental debido a su diversidad y sensibilidad al estrés ambiental (Cano & Schuster). Adicionalmente se han sugerido tres categorías de indicadores para el uso de insectos terrestres: indicadores ambientales, ecológicos y de biodiversidad (McGeoch, 1998) La categoría Indicadores de Biodiversidad o Bioindicadores ha sido propuesta para los escarabajos de la familia Staphylinidae (Bohac, 1999; Anderson & Ashe, 2000). Bohac resalta que la diversidad de especies y la estructura ecológica de la comunidad de estafilínidos difiere en distintos tipos de bosque o ambientes intervenidos, incluso en las comunidades que viven cerca de sistemas lóticos, debido a factores bióticos y abióticos.

De esta forma la respuesta de la comunidad de estafilínidos podría ser usada para evaluar cambios en el ecosistema. Sin embargo, McGeoch sostiene que la selección de potenciales taxa o grupos

indicadores se hace teniendo en cuenta criterios a priori, como la identificación de relaciones entre el indicador y las variables del ambiente, y el desarrollo de pruebas de hipótesis de acuerdo a los patrones de correlación encontrados.

Por otra parte, los protocolos dirigidos a inventariar la totalidad de la fauna y la flora de un área mejor conocidos como ATBI (All Taxa Biodiversity Inventory) han sido fuertemente cuestionados y delimitados (Janzen, 1997). El empeño por conocer la biodiversidad de forma eficiente ha llevado a proponer indicadores de Biodiversidad, estos pueden definirse como un parámetro que provee una medida de la biodiversidad. Este parámetro es una medida biológica tal como la riqueza y abundancia de especies de una familia. (Speight, *et al.*, 2008). El enfoque de Diversidad alpha de estafilínidos, considerados como indicadores (Bohac, 1999; Anderson & Ashe, 2000) permite evaluar si hay una respuesta diferencial en distintos ambientes. Adicional a esto las especies sin describir, observadas en colecciones, muestran que la fauna de estafilínidos en Colombia podría llegar a sumar las 5.000 especies (Newton *et al.*, 2005). Trabajos en la cordillera central y oriental han mostrado respectivamente el 26 % y 23 % de los géneros de estafilínidos registrados para Colombia (Vásquez-Vélez *et al.*, 2010; Gutiérrez-Chacón & Ulloa-Chacón, 2006). Por tanto el acercamiento a los escarabajos de la familia Staphylinidae permite aportar información acerca su diversidad, distribución y carácter como Indicador en la cordillera oriental.

Diversidad de Staphylinidae en Colombia

Considerando el criterio de identificación de relaciones entre variables del ambiente y el indicador, en Colombia los estafilínidos

han sido abordados por algunos trabajos desarrollados hacia el Valle del río Cauca y estivaciones de la cordillera central, caracterizando la composición y comparando la diversidad de estafilínidos relacionados con ambientes de bosque intervenido, ambientes de sistemas agroproductivos, fragmentos de bosque seco tropical (bs-T) y algunos remanentes de bosque andino. (García *et al.*, 2001; García & Chacón, 2005; Sanabria, *et al.*, 2008; Méndez, *et al.*, 2009; Gutiérrez-Chacón *et al.*, 2009; Vásquez-Vélez *et al.*, 2010).

Con estos trabajos se mostraron algunas relaciones entre la composición de la comunidad de estafilínidos y el ambiente, tales como la influencia del factor humedad en la riqueza de especies (García *et al.*, 2001), la determinante importancia de los microhábitat en la distribución de estafilínidos en los paisajes rivereños (Gutiérrez-Chacón *et al.*, 2009) y la relación entre la extensión de fragmento de bosque y la riqueza de estafilínidos (García & Chacón, 2005).

La exploración de la fauna de estafilínidos colombianos se extendió hacia la vertiente oriental de la cordillera oriental con el trabajo de Gutiérrez-Chacón & Ulloa-Chacón en 2006, el cual se enfocó en estudiar la composición de estafilínidos y la influencia del gradiente altitudinal en su diversidad en tres áreas con remanentes de bosque Amazónico tropical de tierras bajas, bosque subandino y bosque andino, indicando que los bosques andinos de la cordillera oriental poseen una rica diversidad de estafilínidos, esta característica de los bosques andinos se debe entre otros factores a la fisiografía, el clima y la historia geológica de su conformación (van DerHammen y Hooghiemstra, 2001). Desde el punto de vista geológico, en los Andes se han diferenciado unidades estructurales y la cordillera oriental con sus prolongaciones,

forma parte de las unidades andinas neotropicales (Ricardi *et al.*, 2001). El santuario de Fauna y flora guanenta alto del río Fonce se encuentra dentro de la vertiente occidental de la cordillera oriental, el 60% de su extensión (6.130 ha) corresponde a la formación andina conteniendo una reserva forestal de gran importancia por presentar bosques en buen estado de conservación (Galindo *et al.*, 2003).

Newton *et al.* en 2005 produjeron un listado de especies para Colombia. Se conocen 796 especies nombradas y 230 géneros, sin embargo, esta cifra se ve opacada por la estimación que sugiere 5.000 especies contenidas en la fauna colombiana de estafilínidos (Newton *et al.*, 2005).

La Familia Staphylinidae mundialmente posee casi 48.000 especies nombradas, actualmente ubicadas en 31 subfamilias y más de 3.400 géneros y son especialmente abundantes y diversos en los trópicos. Los trabajos taxonómicos con estafilínidos hoy están más activos que antes permitiendo incluir a estos escarabajos en trabajos ecológicos. Sin embargo la actividad taxonómica no se

ve reflejada en el neotrópico (excepto para México) (Newton *et al.*, 2005).

Descripción del área de estudio

El sitio de estudio se denomina "La sierra" (6°0.0'15.5"N, 73°9'19.8"W; 6°01'36"N, 73°9'3.8"W). Localizado en el Santuario de Fauna y Flora Guanentá alto río Fonce en el costado occidental de la cordillera oriental. La temperatura media anual es de 12.1°C y la humedad relativa de 84%. La precipitación media anual es de 1.926 mm y hay dos periodos de lluvia bien definidos, uno entre febrero y junio y otro entre septiembre y diciembre. Los bosques que presentan están catalogados como bosque muy húmedo montano bajo (bmh-MB) y bosque muy húmedo montano (bmh-M) (Galindo *et al.*, 2003). Antiguamente los bosques de "La Sierra" fueron afectados por la extracción de madera, pero actualmente están en recuperación.

Resultados

Listado de géneros (Ver Tabla 1).

Tabla 1. Listado de géneros

Subfamilia	Tribu
Staphylininae	<i>Misantlius</i>
	<i>Oligotergus</i>
	<i>Platydracus</i>
	<i>Belonuchus</i>
	<i>Gabrius</i>
	<i>Bisnius</i>
	<i>Heterothops</i>
	<i>Plochionocerus</i>
	<i>Bolitogyrus</i>
	<i>Philonthus</i>
	<i>Agerodes</i>
<i>Xanthopygus</i>	

Subfamilia	Tribu
Paederinae	<i>Palaminus</i> <i>Ronetus</i> <i>Dibelonetes</i> <i>Paederus</i>
Osoriinae	<i>Aneucamptus</i> <i>Thoracophorus</i>
Pselaphinae	<i>Arthmius</i> <i>Sebaga</i> <i>Jubus</i>
Tachyporinae	<i>Sepedophilus</i>
Steninae	<i>Stenus</i>
Megalopsidiinae	<i>Megalopinus</i>
Aleocharinae	<i>Hoplandria</i> <i>Falagria</i> <i>Aleochara</i> <i>Tinotus</i>
Oxytelinae	<i>Anotylus</i>
Scydmaeninae	<i>Scydmaeninae</i> spp.

Referencias Bibliográficas

- ANDERSON, R.; ASHE, J.S. 2000. Leaf litter inhabiting beetles as surrogates for establishing priorities for conservation of selected tropical montane cloud forests in Honduras, Central América (Coleoptera; Staphylinidae, Curculionidae). *Biodiversity and Conservation* (9): 617-653.
- BOHAC, J. 1999. Staphylinid beetles as bioindicators. *Agric. Ecosyst. Environ.* (74): 357-372.
- BOUCHARD, P.; GREBENNIKOV, V.V.; SMITH, B. T.; DOUGLAS, H. 2009. *Insect Biodiversity: Science and Society* Edited by Robert G. Foottit and Peter H. Adler. Blackwell Publishing Ltd. 265-301.
- COLWELL, R. K.; CODDINGTON, J. A. 1994. Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. *Philosophical Transactions of the Royal Society (Series B)* (345):101-118.
- CRISCI, J.V.; LÓPEZ-ARMENGOL, M.F. 1983. *Introducción a la Teoría y Práctica de la Taxonomía Numérica*. Monografía 26, Seria de Biología, Programa de Monografías Científicas, OEA, Washington D.C. 128.
- FARRELL, B. D. 1998. "Inordinate fondness" explained: why are there so many beetles?. *Science* 281: 553-557.
- GARCÍA R.; CHACÓN de ULLOA, P. 2005. Estafilínidos (Coleoptera: Staphylinidae) en fragmentos de bosque seco del valle geográfico del

río Cauca. Rev. Colomb. Entomol. 31(1):43-50

GALINDO-T,R.; BETANCUR, J.; CADENA-M, J. 2003. Estructura y composición florística de cuatro bosques andinos del Santuario de Flora y Fauna Guanentá Alto Río Fonce, Cordillera Oriental Colombiana. *Caldasia* 25(2): 313-335.

GARCÍA, R.; ARMBRECHT, I.; CHACÓN-ULLOA, P. 2001. Staphylinidae (Coleoptera): Composición y mirmecofilia en bosques secos relictuales de Colombia. *Folia Entomol Mex* 40(1): 1-10

GRAHAM, A. 2009. The Andes: A Geological Overview from a Biological Perspective *Annals of the Missouri Botanical Garden*. 96,(3): 371-385.

GREGORY-WODZICKI, K. M. 2000. Uplift history of the central and northern Andes: a review. *Geological Society of America Bulletin* 112: 1091-1105.

GUTIÉRREZ C.; ULLOA-CHACÓN P. 2006. Composición de estafilínidos (Coleoptera: Staphylinidae) asociados a hojarasca en tres localidades de la Cordillera Oriental de Colombia. *Folia Entomol Mex* 45(2): 69-81

GREBENNIKOV, V.V.; NEWTON, A.F. 2009. Good-bye Scydmaenidae, or why the ant-like stone beetles should become megadiverse Staphylinidae sensu latissimo (Coleoptera). *European journal of entomology*, 106: 275-301.

GUTIÉRREZ-CHACÓN, C.; ZÚÑIGA, M.C.; VAN BODEGOM, P.M.; CHARÁ, J.; GIRALDO, L.P. 2009. Rove beetles (Coleoptera: Staphylinidae) in Neotropical riverine landscapes: characterising their distribution.

Insect. Conserv. Divers. 2:106-115. JANZEN, D.H. 1997. Wildland biodiversity management in the tropics. In *Biodiversity II, Understanding and Protecting our Biological Resources* (eds M.L. Reaka-Kudla, D.E. Wilson & E.O. Wilson), Joseph Henry Press, Washington, DC. 411-431.

KATTAN, G. H.; FRANCO, P.; ROJAS V.; MORALES, G. 2004. Biological diversification in a complex region: a spatial analysis of faunistic diversity and biogeography of the Andes of Colombia. *Journal of Biogeography* 31: 1829-1839.

KLIMASZEWSKI, J. 2000. Diversity of the rove beetles in Canada and Alaska (Coleoptera, Staphylinidae). *Mem Soc roy belge Entomol* 39: 3-126.

LARSEN, T. H.; ESCOBAR, F.; ARMBRECHT, I. 2011. Climate Change and Biodiversity in the Tropical Andes Edited by: Sebastian K. Herzog, Rodney Martínez, Peter M. Jørgensen, Holm Tiessen. Inter-American Institute for Global Change Research (IAI) and Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE), 348 pp.

LAWRENCE, J. F.; BRITTON, E. B. 1994. *Australian Beetles*. Melbourne University Press, Carlton, Victoria. 192 pp.

MCKENNA, D. D.; FARRELL B. D. 2009. Beetles (Coleoptera). In *The Timetree of Life*, S. B. Hedges and S. Kumar, Eds. Oxford University Press. 278-289.

MCGEOCH M. 1998. The selection, testing and application of terrestrial insects as bioindicators. *Biol Rev.* 73, (2): 181-201.

- MEADE, B. J.; CONRAD, C. P. 2008. Andean growth and the deceleration of South American subduction: time evolution of a coupled orogen-subduction system. *Earth and Planetary Science Letters* 275: 93-101.
- MÉNDEZ, D. M.; LÓPEZ, M.; GARCÍA, R. 2009. Diversidad de escarabajos (Coleoptera: Staphylinidae) en dos localidades del departamento del Quindío. *Bol. Cient. Mus. Hist. Nat.* 13 (2): 148 - 156.
- MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; DA FONSECA, G.A.B.; KENT, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403:853-858.
- NAVARRETE-HEREDIA, J.L.; NEWTON, A.F.; THAYER, M.K.; ASHE, J.S.; CHANDLER, D.J. 2002. Illustrated guide to the Staphylinidae (Coleoptera) of México. Universidad de Guadalajara y CONABIO, México. 401 pp.
- NEWTON, A.F.; GUTIÉRREZ-CHACÓN, C.; CHANDLER, D.S. 2005. Checklist of the Staphylinidae (Coleoptera) of Colombia. *Biota Colomb* 6(1): 1-72.
- RICARDI, S. M.; GAVIRIA, J.; ESTRADA, J. 2001. Los Andes de Mérida, una nueva subprovincia fitogeográfica de la provincia de los Andes del Norte. *PLANTULA*, 3: 41-46.
- SANABRIA, M.C.; ARMBRECHT, I.; GUTIÉRREZ, C. 2008. Diversidad de estafilínidos (Coleoptera: Staphylinidae) en cinco sistemas productivos de los Andes. *Rev Colomb Entomol* 34(2): 217-223.
- SPEIGHT, M.R.; HUNTER, M.D.; WATT, A.D. 2008. *Ecology of Insects - Concepts and Applications*. 2nd Edition. Wiley-Blackwell (John Wiley & Sons, Ltd), Chichester, U.K. 640 pp.
- VÁSQUEZ-VÉLEZ, L.M.; BERMÚDEZ, C.; CHACÓN, P.; LOZANO-ZAMBRANO, F.H. 2010. Analysis of the richness of Staphylinidae (Coleoptera) on different scales of a sub-Andean rural landscape in Colombia. *Biodivers Conserv* 19: 1917-1931.
- WINCHESTER, N.N. 1997. Arthropods of coastal old-growth Sitka spruce forests: conservation of biodiversity with special reference to the Staphylinidae. In *Forests and Insects* (eds A.D. Watt, N.E. Stork & M.D. Hunter), Chapman & Hall, London. 365-379.

Estado Actual del conocimiento de Staphylinidae en el Departamento del Quindío: Avances y Perspectivas

Margarita López García¹, Diana Méndez Rojas¹,
Rocío García Cárdenas²

¹Jóvenes Investigadores CIBUQ, Universidad del Quindío,
margaralopezg@gmail.com, dianamendez04@gmail.com.

²Docente, Universidad del Quindío
rociogarcia06@yahoo.es3

246

38º Congreso Socolen

Memorias

Resumen

Se presenta un primer acercamiento al conocimiento de la diversidad de estafilínidos en el Quindío. Se revisaron publicaciones, documentos de investigaciones realizadas con la familia en el departamento y las colecciones entomológicas locales. De los siete trabajos realizados, solo uno de ellos es de tipo taxonómico, mientras que los demás son estudios ecológicos que evalúan la estructura de comunidades en diferentes localidades, incluyendo paisajes alto andinos y cafeteros; además de dos trabajos relacionados con la interacción de estos escarabajos y las plantas. A partir de estos estudios se encontraron 85 géneros y 14 subfamilias para el departamento. Hasta el momento el número de especies es desconocido debido a la escasa resolución taxonómica de los trabajos y a falta de colecciones de referencia en la región. Sin embargo, el departamento aporta el 37.4% de los géneros y el 83.3% de las subfamilias encontradas en Colombia. Se reportan además por primera vez para el país, dos subfamilias y varios géneros.

Introducción

La familia Staphylinidae, con 32 subfamilias y 55.440 especies descritas (Grebennikov y Newton, 2009), es la familia zoológica más diversa alrededor del mundo. Sin embargo, se estima

que cerca de 200 especies nuevas se describen cada año (Newton, 1990), y por lo tanto la verdadera diversidad de este grupo es probablemente mucho más alta con las miles de especies que aún están sin describir en todo el mundo y especialmente en los trópicos (Klimaszewski, 2008). Para Colombia, se han registrado aproximadamente 796 especies y 230 géneros (Newton *et al.*, 2005), aunque los escasos inventarios o caracterizaciones en las diferentes regiones del país, y la carencia de investigadores o taxónomos en el área, ha creado un sesgo en la cuantificación de su diversidad.

El estudio de estos insectos en el departamento del Quindío es relativamente reciente, iniciándose concretamente en el año 2007. Por lo tanto, los trabajos realizados hasta el momento constituyen una contribución inicial al conocimiento de la diversidad de la familia, la cual es fundamental como línea base para el desarrollo de investigaciones posteriores. No obstante, en la actualidad dicha información es poca y se encuentra bastante fraccionada siendo imposible obtener datos aproximados de la diversidad y distribución de los estafilínidos en el Quindío. Este trabajo representa un primer acercamiento al conocimiento de estos insectos en esta región del país, contribuyendo a identificar fortalezas y falencias en el estudio de este grupo.

Resultados

A partir de los estudios revisados, se registran 85 géneros y 14 subfamilias para el Quindío. Teniendo en cuenta las cifras registradas para todo Colombia, el departamento aporta el 37.4% de los géneros y el 83.3% de las subfamilias encontradas en el país. Dichos porcentajes se consideran una cifra alta dado que el área del departamento corresponde a menos del 0.2% del territorio nacional, lo cual refleja la diversidad de hábitats y pisos térmicos del Quindío, donde es posible encontrar un amplio rango de zonas de vida y altitudes que van desde 1.000 hasta 5.000 m. A pesar de la alta diversidad de estafilínidos encontrada hasta ahora en el departamento, las cifras presentadas en este trabajo son aún sesgadas y pueden estar subestimando

la diversidad de estos coleópteros en la región, debido a que el número de estudios es relativamente escaso y estos se han concentrado hacia ciertas áreas del departamento.

Es importante resaltar el porcentaje de géneros, por subfamilia, que presenta el departamento respecto a los géneros reportados para todo el país. En la Tabla 1 se observa la representatividad genérica de Staphylinidae. Paederinae, Pselaphinae, Staphylininae y Tachyporinae, son las subfamilias más representativas para el departamento. Además se destacan las dos nuevas subfamilias registradas para el país. En cuanto a los géneros con mayor frecuencia de colecta, se encuentran *Belonuchus*, *Philonthus*, *Paederomimus*, *Stenus*, *Coproporus*, *Echiaster*, *Anotylus* y *Arthmius*.

Tabla 1. Listado de géneros

Subfamilia	Tribu
Staphylininae	<i>Misantlius</i> <i>Oligotergus</i> <i>Platydracus</i> <i>Belonuchus</i> <i>Gabrius</i> <i>Bisnius</i> <i>Heterothops</i> <i>Plochionocerus</i> <i>Bolitogyrus</i> <i>Philonthus</i> <i>Agerodes</i> <i>Xanthopygus</i>
Paederinae	<i>Palaminus</i> <i>Ronetus</i> <i>Dibelonetes</i> <i>Paederus</i>

Subfamilia	Tribu
Osoriinae	<i>Aneucamptus</i> <i>Thoracophorus</i>
Pselaphinae	<i>Arthmius</i> <i>Sebaga</i> <i>Jubus</i>
Tachyporinae	<i>Sepedophilus</i>
Steninae	<i>Stenus</i>
Megalopsidiinae	<i>Megalopinus</i>
Aleocharinae	<i>Hoplandria</i> <i>Falagria</i> <i>Aleochara</i> <i>Tinotus</i>
Oxytelinae	<i>Anotylus</i>
Scydmaeninae	<i>Scydmaeninae</i> spp.

De las 15 subfamilias reportadas en este trabajo para el Quindío, dos de ellas no han sido registradas en ningún otro departamento del país y solamente han sido citadas como probables para Colombia (Newton *et al.*, 2005). Proteininae fue colectada por primera vez por López y Méndez (2010) en un bosque altoandino (3.011 m.s.n.m.) del municipio de Calarcá. Los seis individuos del género *Megarthus* fueron descritos como *M. andinus* sp.nov. (López *et al.*, en prensa), y debido al alto grado de endemismo de las especies neotropicales del género (Cuccodoro, 2011), esta especie nueva es probablemente endémica de la región. Del mismo modo, dos individuos de Leptotyphlinae, subfamilia no reportada en ningún estudio colombiano, fueron encontrados por Méndez *et al.* (2011) en un bosque secundario del municipio de Filandia, pero su determinación a género no ha sido posible hasta el momento.

Se encontraron siete trabajos de tipo ecológico que corresponden a análisis de la diversidad de estafilínidos a escala del paisaje. Cardona (2009) caracterizó la comunidad de la familia en los elementos

de vegetación que componen los corredores biológicos entre los bosques de Bremen y el Cañón del río Barbas en el municipio de Filandia. Este último bosque, junto con el bosque secundario suburbano del Sendero Cedro Rosado (Armenia) fue caracterizado por Méndez-Rojas *et al.* (2009), evaluando además la efectividad de los métodos de colecta empleados. Asimismo, análisis de diversidad alfa y beta han sido realizados en elementos de un paisaje altoandino en el municipio de Calarcá (López y Méndez, 2010), así como entre elementos de vegetación de agroecosistemas cafeteros, incluyendo café con sombrero, a libre exposición, bosques y cañadas (Méndez-Rojas *et al.*, 2011). En estos trabajos se resalta la importancia de los elementos de vegetación natural para la conservación de esta familia, como resultado de la alta diversidad local y el alto recambio de especies entre elementos del paisaje.

Otros trabajos ecológicos reportan la asociación de estafilínidos a microhábitats específicos como son las estructuras florales de algunas plantas. López-García *et al.* (en prensa) citan géneros de

estafilínidos asociados a inflorescencias de *Etilingera elatior* (Zingiberaceae) siendo *Coproporus* el más abundante, y encontrándose además algunos como *Megalopinus* (Megalopsidiinae) y *Phloeonomus* (Omaliinae), que son difícilmente colectados en otros tipos de hábitat. Así mismo, dentro de su trabajo de caracterización de coleópteros asociados a Heliconiaceae y Marantaceae, García-Hernández (2010), encontró varios estafilínidos en las flores de diferentes especies de plantas, dentro de los que se destaca *Hypotelus* (Piestinae) y *Lispinus* (Osoriinae), no registrado en el departamento en los trabajos anteriores. Estos dos estudios demuestran la importancia de realizar muestreos en diferentes tipos de hábitats para lograr un inventario más completo de la estafilínido fauna de un área.

Conclusiones

La baja resolución taxonómica de los trabajos realizados, sumada a la dificultad de unificar las morfoespecies que se reportan en cada estudio; impide obtener una cifra, al menos aproximada, del número de especies que habitan la región. Lo anterior refleja varios de los principales problemas y limitantes para los investigadores dedicados al estudio de este grupo. Uno de ellos es la falta de herramientas para la determinación taxonómica ya que no existen claves dicotómicas para Colombia; y en el caso del Quindío, tampoco existen colecciones de referencia de Staphylinidae que sirvan como base para la identificación de especies. De igual modo, en el país existen muy pocas personas dedicadas a la taxonomía de la familia, lo cual refleja no sólo los intereses particulares de los entomólogos sino también, y muchas veces totalmente, los intereses de las entidades que financian los trabajos de investigación en el departamento.

Teniendo en cuenta los aspectos poco estudiados o que representan un total desconocimiento de la familia en el Quindío. Se plantean como recomendaciones la realización de estudios poblacionales que incluyan etología, uso de hábitat y monitoreos a largo plazo de diferentes especies. Además es necesario incrementar los tipos de ecosistemas muestreados ya que es poco lo que se conoce sobre estafilínidos asociados a cuerpos de agua, cultivos, bosques riparios, paisajes ganaderos, plantaciones forestales o áreas urbanas. Además no se han realizado caracterizaciones entre 2.000 a 3.000 m.s.n.m. ni por encima de los 3.500 m de altitud. Sumado a esto, es recomendable realizar estudios de estafilínidos en microhábitats específicos como frutos, flores, hongos, e incluso nidos de otros insectos y mamíferos. Estos tipos de estudios, junto con un incremento en el estudio taxonómico de Staphylinidae, permitirán un mejor conocimiento de la familia tanto en el Quindío como en todo el país.

Agradecimientos

Agradecemos a los especialistas Dr. José Luis Navarrete Heredia (Universidad de Guadalajara, México), Dr. Alfred Newton (Field Museum of Natural History, Chicago) y al Dr. Giulio Cuccodoro (Muséum d'histoire naturelle, Suiza), por su colaboración en la determinación de los especímenes y en la donación de material bibliográfico; a la Colección de Insectos (CIUQ) y al Museo de Artrópodos (MAUQ) de la Universidad del Quindío, por permitir el acceso a sus instalaciones.

Referencias Bibliográficas

CARDONA, A. 2009. Caracterización de la comunidad de estafilínidos (Coleoptera: Staphylinidae) epigeos

en los corredores de conexión entre los bosques del Cañón del Río Barbas y la Reserva Forestal de Bremen (Filandia, Quindío). Trabajo de Grado. Universidad del Quindío, programa de Biología. Armenia, Colombia.

CUCCODORO, G. 2011. Revision of the Neotropical types of *Megarthus* Curtis, 1829 and description of two new species from Costa Rica and Peru (Coleoptera: Staphylinidae: Proteininae). *Revue suisse de Zoologie* 118 (1): 107-147.

GARCÍA-HERNÁNDEZ, A. L. 2010. Coleoptero-fauna asociada a inflorescencias de *Heliconia stricta* Huber, *H. latispatha* Benth, *Calathea lutea* Schult y *C. inocephala* (Kuntze) H. Kenn. & Nicolson en la zona baja del departamento del Quindío. En preparación.

LÓPEZ-GARCÍA, M.; MÉNDEZ-ROJAS, D. 2010. Diversidad de escarabajos (Coleoptera, Staphylinidae) asociados a diferentes elementos de un paisaje de alta montaña en el departamento del Quindío. Trabajo de Grado. Universidad del Quindío, programa de Biología. Armenia, Colombia.

LÓPEZ-GARCÍA, M.; MÉNDEZ-ROJAS, D.; GARCÍA-CÁRDENAS, R. Staphylinidae y Nitidulidae (Coleoptera) asociados a inflorescencias de *Etilingera elatior* (Zingiberaceae). En prensa.

LÓPEZ GARCÍA, M.; MÉNDEZ-ROJAS, D.; NAVARRETE-HEREDIA, J. L. First record and a new species of *Megarthus* (Staphylinidae: Proteininae) for the Colombian Central Andes. En prensa.

MÉNDEZ-ROJAS, D.; LÓPEZ-GARCÍA, M.; GARCÍA-CÁRDENAS, R. 2009. Diversidad de escarabajos (Coleoptera: Staphylinidae) en dos localidades del

departamento del Quindío. *Boletín Científico Museo de Historia Natural* 13 (2): 148-156.

MÉNDEZ-ROJAS, D.; LÓPEZ-GARCÍA, M.; GARCÍA-CÁRDENAS, R. Diversity of Rove beetles (Coleoptera: Staphylinidae) in a Colombian high-Andean landscape. Sometido.

MÉNDEZ-ROJAS, D.; LÓPEZ-GARCÍA, M.; GARCÍA-CÁRDENAS, R. 2011. Escarabajos estafilínidos asociados a ecosistemas cafeteros del departamento del Quindío. En preparación.

Estudio preliminar de los STAPHYLINIDAE de la Sabana de Bogotá

Julie Andrea Avendaño¹, Yuly Andrea Rodríguez Caro¹,
Lina Rodríguez Calderón¹, Alexander García García²

¹Licenciatura en Biología. Grupo de investigación en Artrópodos "Kumanguí", Universidad Distrital Francisco José de Caldas, andrea8394@gmail.com, antares61086@gmail.com, linis.liniss@gmail.com

²M. Sc. Docente. Grupo de investigación en Artrópodos "Kumanguí", Universidad Distrital Francisco José de Caldas, alexgarcia45@hotmail.com

Resumen

La familia Staphylinidae es un grupo de coleópteros megadiverso, ocupa el segundo lugar después de la familia Curculionidae en cuanto a abundancia y diversidad. Cumple funciones importantes dentro de los ecosistemas, como descomponedores de materia orgánica, algunos son de importancia agrícola, médica y forense. El presente estudio se planteó como objetivo reconocer preliminarmente la fauna de Staphylinidae en la sabana de Bogotá. Se realizaron muestreos cada 15 días, durante cinco meses en tres estaciones, en la reserva Lourdes y en la ciudad de Bogotá se muestreo 9 días durante 3 meses. Se utilizaron trampas de intersección de vuelo, de caída con cebo y sin cebo, Malaise, sacos Winkler, adicionalmente, se realizó agitación de maleza. Los especímenes fueron preservados en alcohol al 70% y transportados a los laboratorios de la UDFJC (Universidad Distrital Francisco José de Caldas), se identificaron hasta género con el estudio de Navarrete 2002. Adicionalmente, se separaron por morfoespecie y con los datos se aplicó análisis de diversidad. Para la reserva Lourdes en Bojacá se colectaron 563 individuos distribuidos en 12 subfamilias, 35 géneros y 55 morfoespecie y para la Bogotá se colectaron 885 individuos, divididos en 6 subfamilias, 19 géneros y 36 morfoespecies. Se encontró, que

en la Reserva de Lourdes la diversidad fue alta y la dominancia baja (Shannon: 3.14 y Simpson: 0.91) mientras que en Bogotá fue media y baja (Shannon: 0.75 y Simpson: 0.76), respectivamente. Según Beger-Parker, la morfoespecie más dominante fue *Paederomimus* sp2 con un 25% para la reserva Lourdes y para Bogotá *Anotylus* sp. con un 87.5%. Estos estudios aportan información valiosa para el conocimiento de la fauna Staphylinidae en Colombia.

Key words: Staphylinidae, Reserva Lourdes, Bogotá, morfoespecie, *Anotylus*.

Abstract

The family Staphylinidae is a group of coleopterous megadiversely, occupies the second place after the family Curculionidae as for abundance and diversity. Fulfills important functions within ecosystems as decomposers of organic matter, some are important in agriculture, medical and forensic. The present study is to preliminary recognize target Staphylinidae wildlife in the Saban of Bogotá. Samplings were conducted every 15 days, for five months at three stations in the reserve Lourdes and the city of Bogotá was sampled 9 days for months. We used flight intercept traps, bait and fall with no bait, Malaise, Winkler sacks, in addition, there was agitation brush. The

specimens were preserved in 70% alcohol and transported to laboratories UDFJC were identified to genus with the study of Navarrete 2002. Additionally, separated by morphospecies and data diversity analysis was applied. For Reserved Lourdes in Bojaca 563 individuals were collected in 112 subfamilies, 35 genera and 55 morphospecies and Bogotá were collected for 885 individual, divided into 6 subfamilies, 19 genera and 36 morphospecies. In the reserve Lourdes was found a diversity was high and low dominance (Shannon: 3.14 and Simpson:0.91) while in Bogotá was medium and low (Shannon: 0.75 and Simpson: 0.76), respectively. According to Berger-Parker the most dominant morphospecies was *Paederomimus* sp2 with 25% for Reserve Lourdes and Bogotá *Anotylus* sp. with a 85%. These study provide valuable information to the knowledge of Staphylinidae wildlife in Colombia.

Key words: Staphylinidae, Reserva Lourdes, Bogotá, morphospecie, *Anotylus*.

Materiales y Métodos

La fase de campo en la reserva de Lourdes (Figura 1) se realizó durante Octubre de 2008 a Marzo de 2009, cada 15 días, muestreándose tres coberturas vegetales como el Chuscal 4°44'02.1N / 74°21'46.2W a 2.601 m.s.n.m., Bosque Húmedo Montano Bajo 4°43'57.4 N / 74°21'40.8 W 2.597 m.s.n.m. y Bosque de Niebla Secundario 4°44'38.8N / 74°21'41.2 W. 2.627 m.s.n.m.

Para Bogotá (Figura 1) el muestreo se realizó en los meses correspondientes a las temporadas de transición (Septiembre), húmeda (Octubre) y sequía (Enero) de 2009-2010. La duración del muestreo fue de 9 días por temporada, donde cada

trampa permaneció en la zona de muestreo 7 días, con cambio de cebo cada 72 horas. Se tuvo en cuenta la caracterización climática de Bogotá y cuenca alta del río Tunjuelo (IDEAM, 2008). Donde se ubicaron los siguientes puntos de estudio. Humedal Tibanica (C1) (4°36.247 N 74°12.186 W) a 2.541 m.s.n.m., Engativá (C2) (4°43.544N 74°06.460 W) a 2.650 m.s.n.m., Torca/Guaymaral (B1) (4°48.448 N 74°02.433 W) a 2.568 m.s.n.m., Parque Metropolitano Simón Bolívar (B2) (4°39.246 N 74°05.488 W) a 2.578 m.s.n.m., Candelaria: UDFJC vivero (B3) (4°35.962 N 74°03.913 W) a 2.750 m.s.n.m., Parque Ecológico Distrital Entrenubes Cerro Juan Rey (B4) (4°31.191 N 74°05.697 W) a 3.132 m.s.n.m.

En la Reserva Lourdes se utilizaron trampa de interceptación de vuelo, Malaise, sacos Winkler, una por cada estación y 8 trampas pitfall sin cebo separadas 20 m. aproximadamente, en un transecto de 160 m. Para las zonas de Bogotá se efectuó como métodos directos, la captura manual (CM) (Martínez, 2005; Neita *et al.*, 2006; Villarreal *et al.*, 2006). Agitación de follaje o golpeo (AG) (Martínez, 2005). Trampa de interceptación de vuelo (TIV), trampa de caída o pitfall sin cebo (PF), Trampas de caída o pitfall con cebo excremento humano (PFE), pescado en putrefacción (PFP) y fruta en descomposición (PFF). (Villarreal *et al.*, 2006; Sackmann, 2006). Dentro de cada zona de muestreo se ubicó (1) un transecto de 136 m. aproximadamente. Se colocaron 4 tipos de trampas con 4 réplicas para un total de 16 trampas de caída (pitfall) separadas entre sí por 8 m. aproximadamente. La duración del muestreo fue de 9 días por temporada, donde cada trampa permaneció en la zona de muestreo 7 días, con cambio de cebo cada 72 horas.

En los estudios de la ciudad de Bogotá

como para la Reserva Lourdes, las muestras obtenidas se transportaron en viales de vidrio, a las instalaciones de los Laboratorios de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, para su posterior separación, montaje e identificación, utilizando las claves taxonómicas para los géneros de la Familia Staphylinidae de Navarrete *et al.*, 2002. Después de la identificación se llevó a cabo la corroboración por el especialista Dr. José Luis Navarrete Heredia.

Se realizó una base de datos con los resultados obtenidos por medio del programa Excel, luego se procesaron en el programa ESTIMATES (Versión 8.0.0), Copyright R. K. Colwell: <http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates> y el programa estadístico *Palentological Statitics-PAST* creado por Hammer & Harper (2005). Para el registro fotográfico se utilizó el programa Motic Imeges Plus 2.0 ML y Combine Z5 bajo un estereoscopio marca Motic.

Con los datos obtenidos se elaboró una curva de acumulación de especies, se calculó la riqueza (Margalef), diversidad (Shannon) y dominancia (Simpson, Fisher alpha y Berger Parker) para cada uno de los estudios.

Resultados y discusión

Abundancia de la fauna de Staphylinidae en el estudio de Reserva Lourdes, se colectaron 563 individuos distribuidos en 12 subfamilias, 35 géneros y 55 morfoespecies, siendo esta cifra el 7% de la fauna reportada para Colombia. Aunque estas cifras no se pueden comparar directamente con los datos obtenidos en otros estudios, debido a que existen diferencias en cuanto a técnicas de muestreo y tamaño muestral, se puede afirmar que el total de subfamilias, géneros y morfoespecies fue mayor en el estudio

de la Reserva Lourdes, en comparación con el realizado en Bogotá en las diferentes zonas climáticas, donde obtuvieron 885 individuos, divididos en 6 subfamilias, 19 géneros y 36 morfoespecies, correspondiendo al 4.5% de la fauna reportada para Colombia, esta diferencia en la abundancia, puede atribuirse a las características particulares del muestreo y de las áreas de estudio como, estado de conservación, características zonales, intervención antrópica, cobertura vegetal, entre otras variables para el desarrollo de la investigación.

De las 12 subfamilias colectadas las que presentaron mayor abundancia fueron Aleocharinae (29%), Staphylininae (26%) y Pselaphinae (16%), siendo el género *Paederomimus* el más abundante con un 22%, existiendo diferencias en el estudio en Bogotá, donde las subfamilias más abundantes fueron Oxytelinae con (86.4%), Aleocharinae (3.9%) y Staphylininae (2.4%), siendo el género *Anotylus* el que mayor abundancia presentó con (86%), estas subfamilias son las más abundantes en número de especies en la familia Staphylinidae, para estos estudios siguen manteniendo una proporción representativa de individuos, tanto en zonas conservadas como en zonas con intervención antrópica.

Existen algunas diferencias en cuanto a los géneros más abundantes, entre estos encontramos en la reserva de Lourdes a *Paederomimus* y en Bogotá (zonas climáticas) a *Anotylus* con una gran abundancia, como se puede observar en otros estudios como el de García y colaboradores (2005) y Sanabria (2008), en los cuales éste género, tiende a estar presente en zonas con alguna intervención antrópica, a diferencia de *Paederomimus*, un género que de hábito depredador (especializado en alimentarse de huevos y larvas de dípteros y en pocas ocasiones de insectos xilófagos) que es

común en bosques (Urbaneta *et al.*, 2005; Dajoz, 1999) y que presenta una alta abundancia en la Reserva Lourdes posiblemente este lugar posee gran disponibilidad alimenticia para este tipo de insectos.

Según la curva de acumulación de especies, para la fauna de Staphylinidae en la Reserva de Lourdes (Figura 2), se obtuvo que la eficiencia del muestreo fue de 88.99%, colectando 55 morfoespecies (sobs), de las 62 esperadas de acuerdo al promedio entre los estimadores utilizados (ICE, ACE, Chao1 Chao2, Jack1 Jack2) lo que evidencia que la eficiencia de los muestreos fue alta. Además, según los estimadores Chao 1 y Chao 2 la eficacia fue de 96.9% y 92,6% respectivamente, estos porcentajes son altos ya que en estudios realizados con la familia Staphylinidae en el país reportan una eficiencia de muestreo promedio del 62% según el estimativo Chao 2 (García *et al.*, 2005). En la curva de acumulación de especies se observa que las especies simples (singlentions) y las dobles (doublentions) se cruzan en la muestra 116, indicando que los muestreos fueron suficientes. Para las zonas climáticas de Bogotá, la curva de acumulación (Figura 3), muestra una eficiencia de muestreo de 62.35%, considerando 36 morfoespecies (sobs), de las 57 morfoespecies esperadas, indicando que para Bogotá el esfuerzo de muestreo debería ser mayor. Con un 64% y 63% para los estimadores Chao 1 y Chao 2 respectivamente. Según Moreno (2001), Villareal y colaboradores (2006), otro de los indicadores de la eficiencia de muestreo son los Singlentions (especies únicas) que al final de la curva tienden a descender y a cruzarse con los doublentions (especies dobles) que tienden a aumentar a medida que se acumulan las muestras (Moreno, 2001; Villareal *et al.*, 2006).

Las subfamilias que presentaron mayor

número de morfoespecies en la Reserva Lourdes (Figura 4), fueron Aleocharinae (13), Staphylininae (10), Pselaphinae (9) y Paederinae (6), en lo que respecta al el estudio en Bogotá las que presentaron mayor número de morfoespecies fueron Aleocharinae (20), Staphylininae (10) (Figura 5), siendo las dos primeras, las que más número de morfoespecies presentó y las que se esperaba obtener una mayor riqueza, esto concuerda con los trabajos de García y colaboradores (2005), Sanabria y colaboradores (2008), Méndez y colaboradores (2009), estos datos posiblemente pueden estar relacionados con la capacidad que pueden poseer estos individuos para explotar el recurso dentro de un ecosistema, o a su hábito de alimentación o a la capacidad de adaptación, sin embargo hay que considerar la variabilidad de los lugares muestreados, en los cuales la actividad humana paulatinamente modifica el paisaje, ya sea por remoción de masas, inclusión de materia orgánica producto de los desechos, lo que posiblemente origina microhábitats que pueden favorecer el establecimiento de grupos de especies, o la extinción de otras, lo que se puede ver posiblemente reflejado en las diferencias de riqueza de cada zona estudiada (Morón *et al.*, 1988).

Según la escala de Magurran (2004) la diversidad de Shannon para la fauna de estafilínidos en la Reserva de Lourdes fue alta (3,14) (Figura 6), en comparación con la diversidad de Bogotá que fue media (0.76) (Figura 5), probablemente esta diferencia se debe a que la Reserva de Lourdes es un zona conservada con un grado menor de intervención y una mayor presencia de cobertura vegetal, a diferencia de Bogotá que presenta procesos productivos de mayor escala que impactan el ecosistema (Melic, 1995a; 1997b). Adicionalmente, el alto número de especies de estafilínidos en la reserva de Lourdes, puede estar relacionado con

las características conservadas de la zona, lo que facilitaría la supervivencia o el establecimiento de individuos con diferentes hábitos alimenticios, a diferencia de Bogotá que el ambiente urbano no facilita el desarrollo de ciertas especies con hábitos alimenticios no generalistas, cuya fuente de alimento sería restringido en la ciudad.

Es importante considerar que la mayoría de las especies de la familia Staphylinidae han colonizado el suelo y la hojarasca, siendo importantes ecológicamente al constituir la fauna edáfica, influyendo en procesos como la descomposición de materia orgánica y el ciclado de nutrientes (Méndez *et al.*, 2009).

El valor de dominancia de Simpson de la fauna de Staphylinidae en la Reserva de Lourdes fue baja (0.08) (Figura 6) y respecto a Bogotá, fue alta (0,76) (Figura 7); indicando que en la ciudad dicha fauna es homogénea. Estos resultados evidencian que la perturbación antrópica afecta la población de Staphylinidos de manera negativa, posiblemente por la modificación de aspectos vegetacionales que afecta el mosaico de hábitats y microhábitats susceptibles de ser ocupados por los escarabajos (Morón *et al.*, 1998). En cuanto a la Reserva de Lourdes, con una densa y variada vegetación, al parecer favorece el establecimiento de un mayor número de especies.

Las morfoespecies más dominantes según el índice Fisher alpha, en la Reserva Lourdes fueron 15, de las cuales se destacan *Paederomimus*, *Conoplectus* y *Atheta* estos individuos se caracterizan por ser depredadores constituyendo uno de los grupos más importantes de enemigos naturales de los artrópodos plaga (Urbaneja *et al.*, 2005). La presencia de estos coleopteros depredadores es común en bosques (Dajoz, 1999) y en la reserva Lourdes es evidente su

dominancia, demostrando que es un lugar con alta disponibilidad alimenticia para este tipo de insectos. Respecto a Bogotá, el número de morfoespecies dominantes fueron 7, como son *Anotylus sp*, *Atheta* morfoespecie 1 3, 5 y 7, *Bisnius sp1* y *sp2*. La presencia de *Anotylus sp1*, concuerda con estudios anteriores donde esta especie de la familia Staphylinidae, se relaciona con procesos de antropización en sistemas agroforestales (Sanabria *et al.*, 2008; Méndez *et al.*, 2009), posiblemente al tener una amplia gama de hábitats como excremento, carroña y hongos en descomposición se ven favorecidos en ambientes urbanos gracias al exceso de este material (Navarrete *et al.*, 2002). En cuanto a *Bisnius* también se encuentra en materia orgánica en descomposición tales como composta y excremento, especialmente en situaciones sinantrópicas (Smetana, 1995), razón por la cual estos individuos se encuentran asociados a hábitats con cierto grado de intervención, como lo son los estudiados en las diferentes zonas climáticas de Bogotá.

El índice de Berger Parker muestra que para la Reserva Lourdes la morfoespecie más dominante fue *Paederomimus* (21%), y para Bogotá, fue *Anotylus sp* (87%). Como se había mencionado anteriormente *Paederomimus* se encuentra asociado a Bosques, mientras que *Anotylus* está relacionado con procesos urbanísticos que aumentan el material orgánico en descomposición, recurso que por sus hábitos saprófagos y coprófagos, es aprovechado (Navarrete, 2002).

Se realizó un Análisis de Correspondencias Múltiples (ACM), el cual muestra la distribución de acuerdo a la abundancia de las morfoespecies y las distribuye en el plano cartesiano, para las tres coberturas vegetales evaluadas (bosque de niebla secundario, bosque húmedo montano bajo secundario, Chuscal) en

la reserva Lourdes y en las seis zonas bioclimáticas de Bogotá. Los ejes 1 y 2 del ACM, reúnen un porcentaje del 100% de la distribución de las morfoespecies en dichas zonas estudiadas (Figura 8).

Se encontró que para la reserva de Lourdes la morfoespecie *Anotylus* sp1 está asociada a ecosistema con intervención antrópica; mientras que *Paederomimus* (depredador), *Hesperus* (en hojarasca) y *Cyparum* (micofago) están mejor representadas en el bosque de niebla, indicando que estos ecosistemas cumplen con los requerimientos ecológicos necesarios para el desarrollo de dichas especies (García y Chacón, 2005).

Para las zonas climáticas estudiadas en Bogotá, el eje 1 del ACM, mostró el 79.95% de la distribución de los estafilínidos y el 100% se reúne en el eje 2. Se formaron cuatro grupos señalando los individuos más representativos para la zona Torca-B1, la morfoespecie que mantiene mayor relación es *Anotylus* sp1, mostrando nuevamente la tendencia que tiene a presentarse en gran número en las zonas con intervención antropica. Adicionalmente, en la zona que presenta mayor preservación en el interior de la ciudad, al mantener especies nativas de vegetación y características más similares al bosque altoandino original de Bogotá, Entrenubes- B4 encontramos a la morfoespecie *Myllaena* sp. que puede estar siendo favorecida adicionalmente por el factor de humedad de la zona (Figura 9).

En síntesis, con los principales resultados obtenidos en estos estudios y a los respectivos análisis presentados, se pueden considerar los estafilínidos como posibles bioindicadores del estado del Bosque Alto Andino, así como, para establecer algún grado de intervención antrópica. Adicionalmente, se contribuye al estudio de dicha fauna en el país.

Conclusiones

Una vez realizado el inventario de la diversidad de la coleóptero fauna asociada a la reserva Lourdes y a la ciudad de Bogotá se concluye:

La comunidad de escarabajos en la reserva presentó una alta riqueza (24.73), y diversidad (4.051), mientras que la dominancia fue baja (0.041), indicando que los ambientes relativamente conservados favorecen la coleóptero fauna de los bosques de alta montaña en Colombia mientras que las zonas con alto disturbio causado por procesos de remoción en masa que son característicos de las ciudades como Bogotá, afectan negativamente la abundancia y diversidad de la familia Staphylinidae.

La riqueza y abundancia de las especies de Staphylinidae es representativa en la reserva Lourdes en Bojacá, por lo cual la conservación de esta zona contribuye en el mantenimiento de la fauna de la región de la sabana de Bogotá que en la ciudad es tan perjudicada por la disminución de la estructura y variedad de la vegetación.

La representatividad de especies encontrada para cada subfamilia, es proporcional al lugar que ocupan dentro de la familia Staphylinidae. De este modo, Aleocharinae, Staphylininae y Pselaphinae que en orden son las subfamilias con mayor número de especies descritas, siendo las más dominantes en la Reserva de Lourdes, compartiendo la dominancia de las dos primeras subfamilias con el estudio en Bogotá (zonas climáticas) a diferencia de la subfamilia Pselaphinae que fue ausente en el estudio, lo cual posiblemente evidencia la susceptibilidad de las especies de esta subfamilia a los procesos urbanísticos.

La familia Staphylinidae en la Reserva de Lourdes presenta una diversidad alta

(3,14) y bajos para la dominancia (0.08). En lo que respecta a Bogotá a la diversidad (0.76) fue media y la dominancia (0.76) presenta valores altos, lo que evidencia

que la Reserva Lourdes es un lugar que permite el desarrollo adecuado y permanencia de este tipo de fauna.

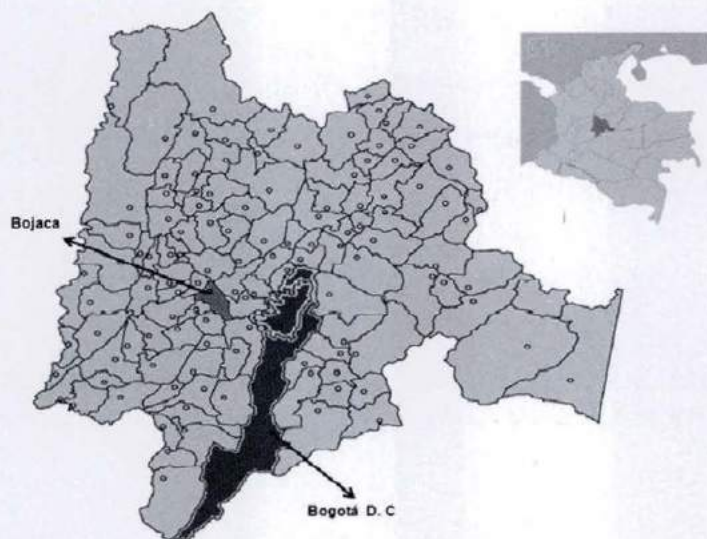


Figura 1. Zonas de estudio Reserva de Lourdes y Bogotá (zonas climáticas).

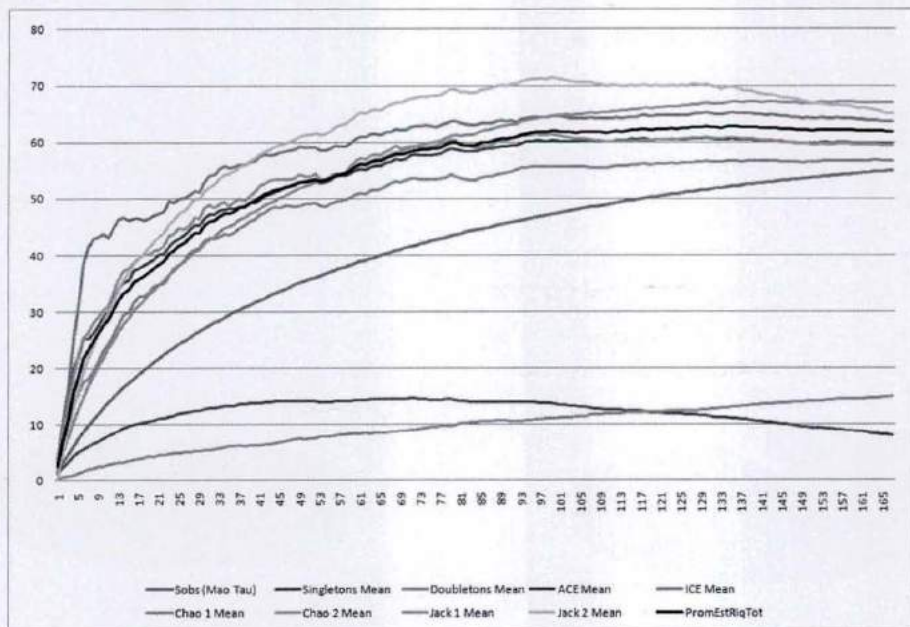


Figura 2. Curva de acumulación de especies Reserva de Lourdes.

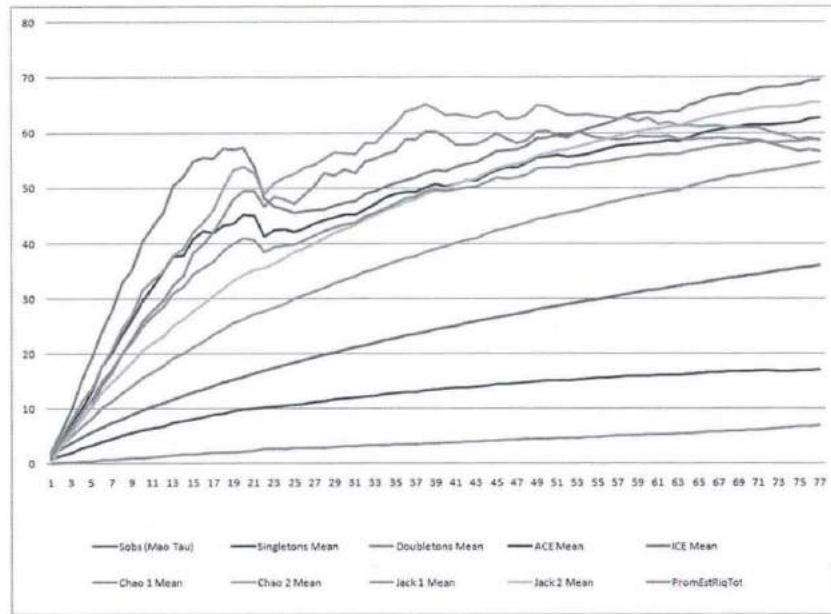


Figura 3. Curva de acumulación de especies Bogotá (zonas climáticas).

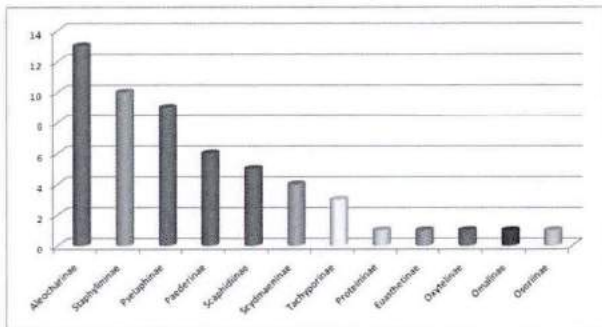


Figura 4. Riqueza subfamilias de Staphylinidae en la Reserva Lourdes.

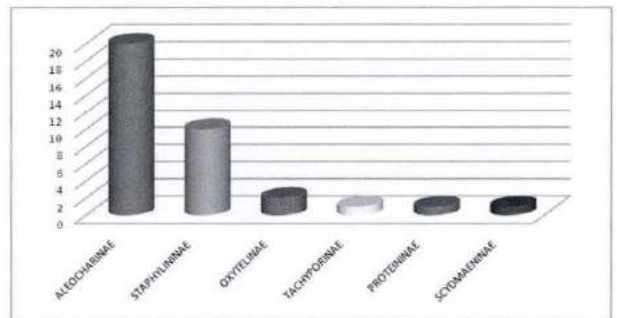


Figura 5. Riqueza subfamilias de Staphylinidae en Bogotá (zonas climáticas).

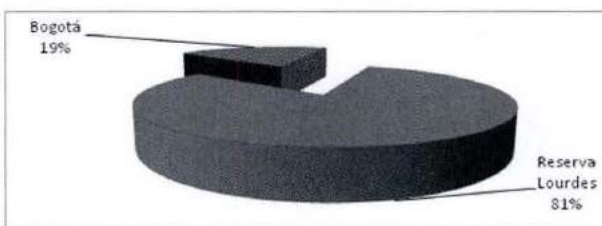


Figura 6. Diversidad de Shannon para la Reserva Lourdes y Bogotá.

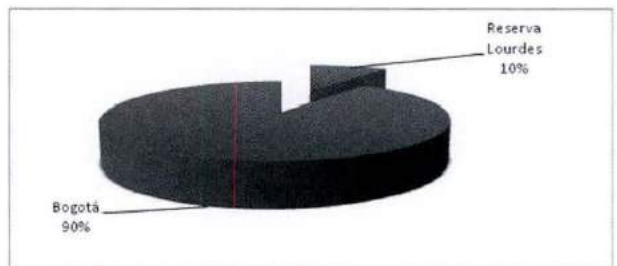


Figura 7. Dominancia de Simpson para la Reserva Lourdes y Bogotá (zonas climáticas).

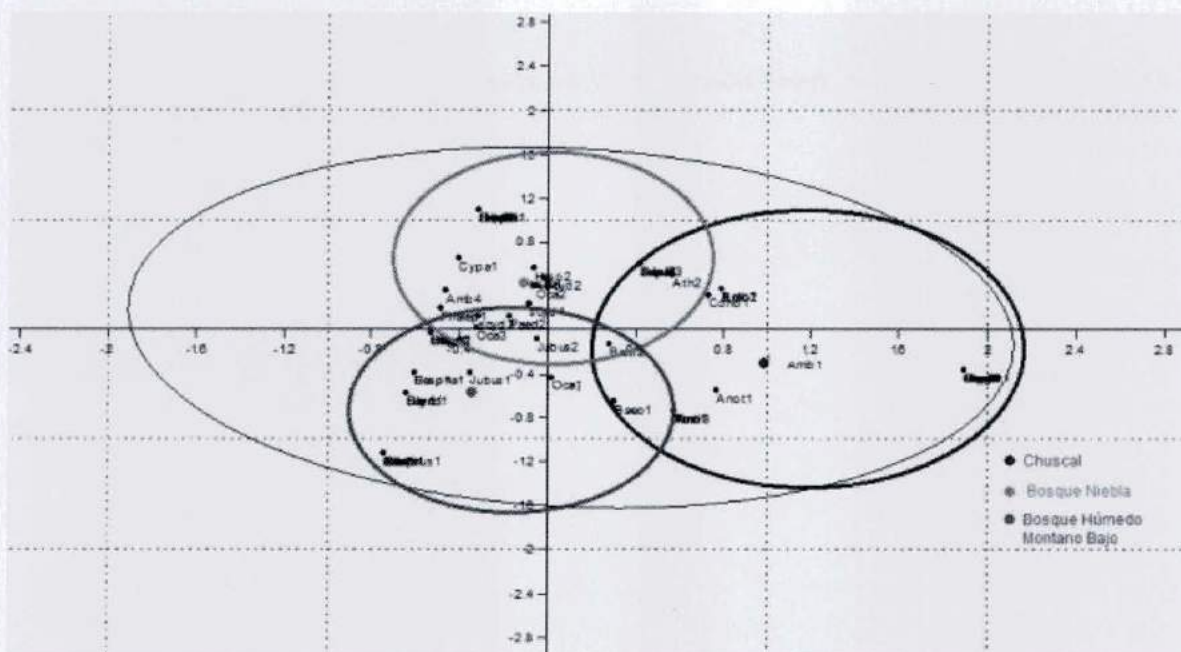


Figura 8. Análisis de Correspondencias Múltiples para la fauna de Staphylinidae de la Reserva Lourdes. En azul, Chuscal, en verde Bosque de Niebla y en rojo Bosque Húmedo Montano bajo.

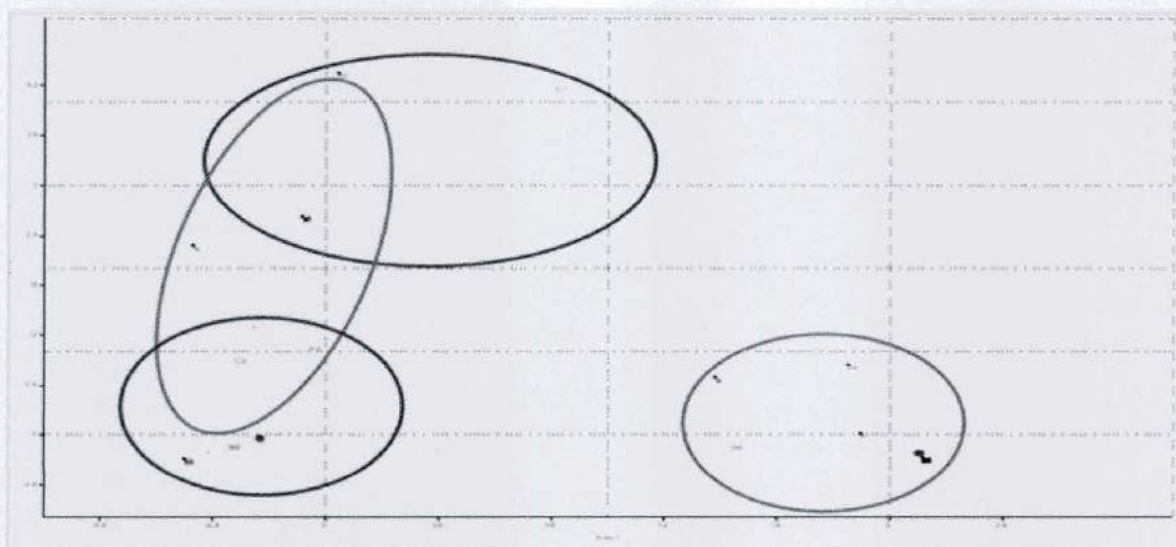


Figura 9. Análisis de Correspondencias Múltiples para la fauna de Staphylinidae de las zonas climáticas de Bogotá.

Referencias Bibliográficas

- ALDHAFER, H. 2003. A review of specialized behaviors within the Staphylinidae. p. 1-18. Disponible en: http://www.colostate.edu/Depts/Entomology/courses/en507/papers_2003/aldhafer.pdf.
- COLWELL R. 2000. EstimateS. Estimation of Species richness and shared species from Samples. Version 6.01b. University of Connecticut. Disponible en URL: www.viceroy.eeb.uconn.edu/estimates
- COSTA, N. E. RAMOS-ELORDUY, J.; PINO, J.N. 2006. Los Insectos Medicinales de Brasil: Primeros Resultados. Etnoentomología. Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa. 38: 395-414.
- DAJOZ, R. 1999. Entomología Forestal: los insectos y el bosque. Ed. Mundi-Prensa. 377-433.
- GARCÍA, R.; ULLOA-CHACÓN, P. 2005. Estafilínidos (Coleoptera: Staphylinidae) en fragmentos de bosque seco del valle geográfico del río Cauca. Revista Colombiana de Entomología. 31(1) 43-50.
- HAMMER & HARPER. 2005. Estadístico *Palentological Statitics*-PAST.
- HERMAN, H. L. 2001. Catalog of the Staphylinidae (Insecta: Coleoptera). 1758 to the end of Second Millennium. New York: American Museum of Natural History. 7 (265). 4218 p.
- IDEAM. 2008. Estudio de la caracterización climática de Bogotá y cuenca alta del río Tunjuelo.
- KLIMASZEWSKI, J.; NEWTON, A.F.; THAYER, M. K. 1996. A review of New Zealand rove beetles (Coleoptera: Staphylinidae). New Zealand Journal of Zoology. 23: 143-160.
- MARTÍNEZ C. 2005. Introducción a los escarabajos Carabidae (Coleoptera) de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Colombia. 546 p.
- MELIC A. 1995a. Entomología urbana. Diversidad biológica *versus* biocenosis urbana. Bol. SEA.12: 39-42.
- MELIC A. 1997b. Entomología urbana. Los artrópodos y el hombre. Bol. SEA. 20:293- 300.
- MÉNDEZ, D.; LÓPEZ, M.; GARCÍA, R. 2009. Diversidad de Escarabajos (Coleoptera: Staphylinidae) en dos Localidades del Departamento del Quindío. Bol.cient.mus.his.nat. 13(2):148 - 156.
- MISE, K.M., SOUZA, A.S.B., CAMPOS, C.M., KEPPLER, R.L.F. & ALMEIDA, L.M. 2010. Coleopter with pig carcass exposed in a forest reserve, Manaus, Amazonas, Brazil. Biota Neotrop. 10 (1) 321-324.
- MORENO C. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. Manuales y Tesis SEA.1: 1-84.
- MORÓN M. ARAGÓN G. 1998. Diversidad de coleópteros Scarabaeoidea del estado de Puebla (I) Informe final del Proyecto H125. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Instituto de Ciencias. Departamento de Investigación en Ciencias Agrícolas.
- MORÓN M. A. Y TERRÓN, R.A. (1988). Entomología práctica: Una guía para el estudio de los insectos con importancia agropecuaria, médica, forestal y ecológica de México. Instituto de ecología. México.

- NAVARRETE J. NEWTON A. THAYER M. ASHE J. CHANDLER D. 2002. Guía ilustrada para los géneros de Staphylinidae (Coleoptera) de México. Universidad de Guadalajara. México.
- NEITA M. OROZCO A. RATCLIFFE B. 2006. Escarabajos (Scarabaeidae: pleurosticti) de la selva baja del bosque pluvial tropical «bp-t», Chocó, Colombia. Acta Zoológica Mexicana n.s. 22(2): 1-32.
- NEWTON, A. F.; GUTIÉRREZ, C. CHANDLER S.D. 2005. Checklist of the Staphylinidae (Coleoptera) of Colombia. Biota Colombiana. 6 (1) 1-72.
- SACKMANN P. 2006. Efectos de la variación temporal y los métodos de captura en la eficiencia de un muestreo de coleópteros en la Reserva Natural Loma del Medio, El Bolsón, Río Negro. Rev. Soc. Entomol. Argent. 65 (3-4): 35-50.
- SANABRIA C. ARMBRECHT, I. y GUTIÉRREZ-CHACÓN, C. 2008. Diversidad de estafilínidos (Coleoptera: Staphylinidae) en cinco sistemas productivos de los Andes Colombianos. Revista Colombiana de Entomología. 34(2) 217-223.
- SMETANA A. 1995. Rove beetles of the subtribe Philonthina of America north of Mexico (Coleoptera, Staphylinidae): Classification, phylogeny and taxonomic revision. Associated Publishers (Gainesville, Fla). Vol 3.
- SOLÍS A. 1999. Escarabajos de Costa Rica: Familias más Representativas. Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio).
- URBANEJA, A.; J.L. RIPOLLÉS, R. ABAD, J. CALVO, P. VANACLOCHA, D. TORTOSA, J.A. JACAS Y P. CASTAÑEDA. 2005. Importancia de los artrópodos depredadores de insectos y ácaros en España. Bol. San. Veg. Plagas, Bol. San. Veg. Plagas, 31: 209-223, 2005.
- VILLARREAL H., ÁLVAREZ S., CÓRDOBA F., ESCOBAR G., FAGUA F., GAST H., MENDOZA M., OSPINA A., UMAÑA. 2006. Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Programade Inventarios de Biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 2da Edición. Bogotá, Colombia. 236p.

Avances en la investigación de los estafilínidos del bosque seco del valle del río Cauca

Christian Bermúdez Rivas¹,
Patricia Chacón de Ulloa², Ph.D.

¹Estudiante de maestría, Universidad del Valle. Grupo Biología, ecología y manejo de hormigas, christianax@gmail.com

²Profesora, Universidad del Valle. Grupo Biología, ecología y manejo de hormigas. patry.chacon@gmail.com

262

38º Congreso Socolen

Memorias

Resumen

La biodiversidad es una de las propiedades emergentes más importantes de las comunidades, y ha ocupado un papel preponderante en la investigación ecológica en los últimos 40 años; sin embargo, ha existido un sesgo hacia el estudio de los vertebrados, lo que ha ocasionado que en muchos grupos de invertebrados los patrones de diversidad y de abundancia no se conozcan. Esto no ha permitido tener claridad de cómo muchos grupos de invertebrados responden a las amenazas hacia la biodiversidad. En este trabajo, se revisa y complementa el conocimiento sobre los patrones de diversidad de los coleópteros estafilínidos, se evalúa si existe autocorrelación espacial en las características ecológicas del ensamble y se analiza la riqueza en diferentes escalas y elementos del paisaje, en una zona que presenta un gran deterioro y reducción de su cobertura vegetal nativa, como es el bosque seco tropical del valle del río Cauca. Para hacer este análisis, el paisaje del Bs-T, se dividió en cinco escalas: muestras, transectos, ecotopos, localidades y zonas y se analizaron cuatro características del ensamble: riqueza, abundancia, diversidad y similitud. Se encontró que el recambio de especies entre las escalas superiores (ecotopos, localidades y zonas) es la característica que más aporta a la riqueza total del ensamble y que hay diferencias

significativas en la composición dentro de cada escala que potencian este recambio. No se encontró autocorrelación espacial entre las características del ensamble en ninguna de las escalas, salvo en la riqueza a nivel de las localidades. Comparado con estudios anteriores, este estudio logra aumentar el número de registros de especies de estafilínidos para el bosque seco, y permite reconocer la importancia de los ecotopos aledaños a los fragmentos de bosque, como lugares importantes para el mantenimiento de la riqueza y diversidad de este grupo.

Key words: Staphylinidae. Partición aditiva de la diversidad. Autocorrelación espacial.

Introducción

Conocer la diversidad y la distribución de las especies en los paisajes fragmentados, es uno de los objetivos más importantes de cumplir dentro de la biología de la conservación, debido a la rápida transformación de estas zonas y a la poca capacidad de recopilación de información. Un ejemplo de esta rápida y amplia transformación es el bosque seco tropical del valle del río Cauca. En los últimos 100 años, el bosque seco original del valle del río Cauca pasó de cubrir un área de 608.992 ha, a solo 10.706 Ha (1.76%), pero el conocimiento de la diversidad de muchos grupos no

creció de igual manera. Grupos como las aves, los mamíferos y las plantas están relativamente bien conocidos en esta área, pero grupos más inconspicuos como los invertebrados, no poseen una amplia información de su diversidad. Por lo tanto es importante recabar información sobre estos organismos, ya que muchos de ellos están comprometidos en el reciclado de nutrientes y en la fertilización del suelo.

Dentro de este escenario, el grupo de biología, ecología y manejo de hormigas, de la Universidad del Valle, ha emprendido una fuerte labor de levantar inventarios y estudiar los patrones de diversidad de las hormigas y los artrópodos asociados a ellas. Los artrópodos que se han estudiado junto con las hormigas han sido, los arácnidos, algunos micro-himenópteros y algunos coleópteros, especialmente la familia Staphylinidae.

Para el bosque seco del valle del río Cauca, García *et al.* (2001) estudiaron nueve remanentes de bosque y registraron ocho subfamilias, 35 géneros y 50 morfoespecies. Solo el 8% fue identificado hasta el nivel de especie. Las subfamilias más abundantes en este estudio resultaron ser: Tachyporinae, Osoriinae y Staphylininae; y las más ricas fueron: Paederinae, Staphylinidae y Aleocharinae. El esfuerzo de muestreo fue de 254 estaciones, que consistieron en: captura manual, recolección de hojarasca y montaje de trampas de caída. Con este esfuerzo de muestreo se obtuvo un total de 237 ejemplares y un nivel de eficiencia del 44%. Estos autores, encontraron que existe una relación positiva y significativa entre la riqueza y la humedad de la hojarasca; y además encontraron que, una especie de staphylinidae, puede estar asociado a los nidos de varias especies de hormigas.

En el 2005, García y Chacón aumentaron el esfuerzo de muestreo a 10 fragmentos de

bosques y a 694 estaciones de muestreo, y obtuvieron una eficiencia de muestreo del 91%. El número de subfamilias capturadas no varió del anterior trabajo y se capturaron 43 géneros, 78 morfoespecies y 1470 capturas.

Los géneros más abundantes fueron: *Coproporus*, *Aneocamptus* y *Anotylus*. Las subfamilias más ricas fueron Paederinae y Staphylininae. Además de lo anterior, estos autores encontraron una correlación positiva entre el área de los fragmentos y la riqueza de estafilínidos.

Con el objetivo de completar y ampliar el conocimiento de la diversidad de la familia *staphylinidae* en el paisaje fragmentado del bosque seco del río Cauca, el siguiente trabajo explora los espacios dentro del paisaje que rodean a los fragmentos de bosque, donde hay una fauna que hasta ahora no se ha muestreado, pero que resulta muy importante para entender el mantenimiento de la diversidad en esta área. Estos espacios son elementos aledaños que han servido como espacios agrícolas productivos como los cultivos de caña y los potreros, o espacios de hábitat nativo como los guaduales o los bosques de galería. Además de lo anterior, este trabajo pretende explorar si existe autocorrelación espacial entre las características del ensamblaje de los estafilínidos como: riqueza, abundancia, diversidad y similitud; y los elementos del paisaje en distintas escalas.

Materiales y métodos

Área de estudio. Corresponde a la cuenca alta del río Cauca que cubre desde el norte del departamento del Cauca hasta el centro de Risaralda (Figura 1), formando un valle cuya extensión es de 230 km de largo por 10-20 km de ancho y altitud de 900-1.100 m. La temperatura promedio es de 24°C y la precipitación

anual fluctúa entre 1.000-2.000 mm, el 70% de las lluvias se concentran en dos temporadas al año, abril-mayo y octubre-noviembre, separadas por períodos secos (CVC 1990). La zona de vida corresponde a Bosque Seco Tropical *sensu* Holdridge (bs-T; CVC 1990) con una extensión de aproximadamente 608.992 Ha.

Sitios de estudio y diseño de muestreo. Dentro del valle geográfico del río Cauca, se escogieron cuatro zonas de muestreo nominadas como: Norte, Norte-centro, Sur-centro y Sur; con una extensión de 1.700 m² cada una (Figura 1A). Dentro de estas zonas se escogieron 10 localidades basadas en la presencia de un parche de bosque seco: Aguas Claras, Alejandría y Miralindo (Zona Norte), Las Pilas y El Medio (Zona Norte-centro), El Hatico, El Vínculo y Las Chatas (Zona Sur-centro) y San Julián y Colindres (Zona Sur). En cada localidad se designó una zona circular de radio 1.5 km., siendo el centro el parche de bosque seco, donde se contaron y clasificaron los ecotopos de cada localidad. Un ecotopo se definió, de acuerdo a Forman (1995), como la unidad de tierra mapeable más pequeña y generalmente homogénea en sus condiciones como: sustrato, vegetación natural potencial y función potencial del ecosistema. Un conjunto de ecotopos del mismo tipo de cobertura vegetal forman lo que se conoce como un biotopo.

En las diez localidades se encontraron en total 39 ecotopos clasificados en cinco biotopos, que fueron: Fragmento de Bosque, Bosque de Galería, Guadual, Potrero y Cultivos de Caña de azúcar (Figura 1B).

El trabajo de campo se llevó a cabo entre los meses de octubre-diciembre del 2005 y febrero-mayo del 2006, abarcando las temporadas secas y lluviosas. Se aplicó el protocolo de muestreo usado para caracterizar la diversidad de hormigas

en los paisajes rurales de la región de los Andes (Jiménez *et al.*, 2008; Arcila *et al.*, 2008; Abadía *et al.*, 2010; Vásquez-Vélez *et al.*, 2010).

Este método consistió en dos transectos lineales de 50 metros cada uno, separados por una distancia mayor a 50 metros. Ambos transectos incluyeron 6 unidades muestrales cada una de las cuales se compuso de dos métodos de muestreo: Hojarasca procesada y trampas de caída, ubicadas perpendicularmente con respecto al transecto y separadas entre sí por 10 metros. Para la hojarasca se tomó una muestra de 1 m² en un cernidor y se tamizó en el sitio de muestreo, luego se llevó al laboratorio y se depositó en un saco Mini-Winkler por 48 horas al cabo de las cuales se retiró el frasco colector y se procedió a identificar los especímenes de hormigas, estafilínidos y queliceriformes. La trampa de caída consistió en un vaso de 12 onzas enterrado en el suelo a ras de piso, con agua jabón y alcohol, el cual se dejó expuesto durante 24 horas para identificar todo lo que cayó durante ese periodo de tiempo. En total el esfuerzo de muestreo comprendió 468 trampas de caída y 468 m² de hojarasca.

Análisis de datos. *Patrones generales de riqueza y abundancia.* Para estimar la riqueza total de los cuatro ensamblajes y la eficiencia del muestreo, se utilizaron cuatro estimadores no-paramétricos ICE, Chao 2, Jackknife 1 y Jackknife 2, a partir de los cuales se calculó un valor promedio. Este análisis se realizó con el programa ESTIMATES 8.2 (Colwell, 2011), el cual también se aprovechó para observar el comportamiento del índice de diversidad de Shannon en función de la intensidad de muestreo. Con los datos de abundancia se construyeron gráficos de Whittaker-Plot para cada ensamblaje, y se escogió el mejor ajuste a alguno de los tres modelos de abundancia relativa (Log-normal, Serie logarítmica, Serie geométrica).

Autocorrelación espacial. La estructura espacial puede ser representada por una matriz de distancia entre los sitios de muestreo dentro de cualquier escala geográfica. De los métodos que Legendre (1993) sugiere para evaluar la autocorrelación espacial, la construcción de matrices de distancias entre las variables es una de las más fáciles de usar. Se pueden calcular distancias euclidianas entre los sitios de muestreo, utilizando sus coordenadas geográficas. Si las variables biológicas de los ensamblajes y las variables ambientales se pueden representar en forma de matrices de distancia, estas matrices se pueden comparar con algún tipo de correlación (Legendre, 1993).

Las variables biológicas de los ensamblajes que fueron evaluadas en este trabajo son cuatro: riqueza, abundancia, diversidad y similitud. Para construir las matrices en la forma correcta sugerida por Legendre (1993), se tomó cada variable en cada sitio de muestreo, bien sea en el nivel de ecotopos, localidades o zonas, y se hizo una resta entre las variables entre cada par de sitios; por ejemplo, en el nivel de ecotopos para la riqueza, se tomó la riqueza del sitio A y la riqueza del sitio B, y se restaron entre sí, obteniendo un ΔS .

El resultado de esta resta se puso en una matriz de diferencia de riqueza, para ser correlacionada con la matriz de distancia. Para las variables de diversidad y abundancia se realizó el mismo procedimiento y se obtuvo un $\Delta H'$ y ΔAb respectivamente. Para la variable de similitud no fue necesario utilizar este procedimiento, ya que el cálculo de la similitud resulta de hacer comparaciones pareadas y la matriz resultante es similar a la matriz de distancias. Para realizar las evaluaciones entre las variables y las distancias geográficas, se realizaron pruebas de Mantel con el método de

aleatorización, a partir de 10.000 aleatorizaciones. Se utilizó el índice de correlación de Spearman para evaluar la relación entre las variables, con un alfa de 0.05.

Análisis por zonas geográficas.

Para estimar la riqueza y diversidad de cada ensamblaje en las cuatro zonas geográficas escogidas (norte, norte-centro, sur-centro y sur), se usó también el programa Estimates 8.2 (Colwell, 2011), y se aplicó un análisis de Kruskal-Wallis detectar diferencias significativas entre la riqueza promedio de las zonas.

Composición de especies.

Se examinó la similitud de los ensamblajes a nivel de las zonas geográficas y las localidades, mediante el índice de Bray-Curtis y se construyeron *clusters* con el método de ligamiento completo. Para probar diferencias significativas en la composición específica entre estos dos niveles, se utilizó el análisis ANOSIM realizado con el programa PAST v2.0 (Hammer *et al.*, 2010).

Partición de la riqueza y la diversidad.

Para determinar los patrones de riqueza dentro del paisaje se aplicó el modelo jerárquico de partición aditiva de los componentes de diversidad ($\gamma = \alpha + \beta$) (Lande, 1996), donde alfa es el promedio de la riqueza dentro de los hábitat, beta es el recambio de especies entre dichos hábitat y gamma es la riqueza regional (Gering *et al.*, 2003; Crist y Veech, 2006). Dentro de este estudio, los componentes están anidados y representados por cinco niveles en la escala del paisaje (Figura 2): 1. Unidades Muestreales (compuestas por un m² de muestra de hojarasca y una trampa de caída), 2. Transectos (formados por seis unidades muestrales), 3. Ecotopos (unidad física que representa un tipo de cobertura vegetal) formados por dos transectos, 4. Localidades (La suma de los ecotopos de cada una de las

10 localidades escogidas), 5. Zonas (la suma de las localidades).

Por ejemplo, el componente α_1 representa la riqueza que hay dentro de cada unidad muestral y β_1 es el recambio entre unidades muestrales. El α del nivel siguiente es la suma de los componentes del nivel anterior más bajo. Mediante el programa PARTITION v.3.0 (Veech & Crist, 2009), se hizo un proceso de aleatorización de 1.000 veces, para generar valores nulos de cada uno de los componentes de la diversidad en cada escala del paisaje y así comparar estadísticamente si los valores observados de riqueza fueron o no debidos al azar. Las probabilidades obtenidas a partir del proceso de aleatorización fueron interpretadas como los *P*-valores para la prueba de significancia estadística. Esta prueba es una prueba a dos colas, donde valores por encima o por debajo del rango esperado (<0.05 ó >0.95) se toman como diferentes al esperado por el azar.

Resultados

Riqueza y abundancia. Se obtuvo un total de 10 subfamilias, 144 morfoespecies y 1.302 capturas. El porcentaje de singletons fue de 34% y de doubletons fue del 17%. La estimación promedio de la riqueza para el paisaje fue de 207 especies y la eficiencia promedio del muestreo fue de 69%. Las curvas de acumulación no muestran evidencia de alcanzar una asíntota (Figura 3A), sugiriendo que no se muestreó el total de la riqueza de especies en ninguno de los ensambles, a pesar de la extensión espacial del diseño de muestreo.

La diversidad obtenida para el ensamble es alta, $H = 3.88$, y los valores estimados indican que la eficiencia es de 99% (Boostrapping: IC 95% (3.75, 3.89)). La

curva de acumulación de la diversidad muestra una tendencia asíntota clara (Figura 3B), lo que indica que se alcanzó a obtener una buena porción de la diversidad del ensamble total.

El modelo de abundancia relativa al que mejor se ajustó el ensamblaje es la serie Log-Normal, aunque el ajuste fue muy bajo (Media= 0.23, $\sigma^2 = 0.526$, $\chi^2 = 6.7$, $P=0.15$) (Figura 4).

Al analizar la distribución de la abundancia, se encontró que *Aneucamptus exicicollis* representa el 10% de la abundancia total del ensamble. El 50% de la abundancia total lo aportan 9 especies, que representan solo el 6% del total de la riqueza. Cerca del 34% de las especies tienen una frecuencia de muestreo inferior al 0.1%, esto significa que la mayoría del ensamble está compuesto por especies raras (Figura 4).

Riqueza y abundancia entre zonas. Al comparar las cuatro zonas de muestreo, se obtuvo la mayor riqueza en la zona Sur-centro, seguida de la zona Norte, Sur y la zona Norte-centro (Tabla 1). La rarefacción mostró que la mayor riqueza esta en la zona sur-centro (Figura 5A) y la mayor estimación de la riqueza se obtuvo en la misma zona.

Al comparar la diversidad entre las zonas, se encontró que las zonas Norte (3.7) y Sur-centro (3.7) son las zonas más diversas, seguidas por la zona Norte-centro (3.2) y Sur (2.9). Al interpolar los valores de diversidad se encontró que esta no depende del esfuerzo de muestreo, debido a que los valores no varían (Figura 5B).

Composición. Cuando se comparó la composición de las especies entre las diferentes zonas de muestreo y las localidades; se encontraron diferencias significativas entre todos (ANOSIM:

$R = 0.32$, $P > 0.05$; $R = 0.16$, $P > 0.05$). Al clasificar los diferentes las unidades de cada nivel con el análisis de conglomerados, se observa que para las zonas, la agrupación no concordó con el gradiente espacial (Figura 6).

Autocorrelación espacial. Al evaluar si existe correlación entre las distancias geográficas, calculadas a escala de zonas, localidades y ecotopos, con las cuatro variables ecológicas del ensamblaje, solo se encontró una correlación significativa negativa de 12 posibles, entre la riqueza y la distancia geográfica a nivel de las localidades (Mantel test: $R = -0.21$ $P = 0.02$).

Patrones de riqueza y diversidad. Analizando el aporte de cada nivel a la riqueza total mediante el modelo de partición aditiva, se observa que el recambio entre zonas geográficas (β_5) fue el que más contribuyó a la riqueza regional del ensamblaje (Figura 7). Ocuparon el segundo y tercer lugar los niveles de localidades (β_4) y ecotopos (β_3). Considerando ahora el aporte de cada nivel de muestreo a la diversidad regional, el resultado es totalmente diferente destacándose la contribución de los niveles más bajos de la escala (α_1 y β_1) a la diversidad del paisaje (Figura 7).

En la Tabla 2 se discriminan los datos de riqueza y diversidad observados y esperados por el azar y siguiendo los diferentes niveles del modelo aditivo. La riqueza observada fue significativamente diferente de la riqueza esperada en todos los niveles de alfa y beta; con excepción de las localidades (β_4) que no fue diferente de la obtenida por el azar. Respecto a la diversidad, los valores observados también fueron significativamente diferentes a los obtenidos por el azar en todos en todos los niveles (Tabla 2).

Discusión

Patrones generales. A pesar que en este trabajo se utilizó un menor esfuerzo de muestreo y menos clases de trampas que en trabajos anteriores (e.g. García y Chacón, 2005; García *et al.*, 2001), la riqueza y la abundancia obtenidas fueron más altas. Sin embargo esto puede deberse a que se tuvieron en cuenta dos subfamilias que en el momento de la realización de los trabajos de García *et al.* (2001) y García y Chacón (2005), no hacían parte de la familia *staphylinidae* y estas eran *Pselaphinae* (9 spp) y *Scydmeninae* (5 spp). Si no se tuvieran en cuenta estas dos subfamilias, la riqueza observada sería de 130 especies, y aún así sería más alta que la riqueza conocida para este paisaje. La principal subfamilia que incide en esta diferencia es *Aleocharinae*, y esta a su vez es la subfamilia que más dificultad taxonómica presenta. En trabajos que se han hecho en las zonas aledañas al bosque seco (e.g. Vásquez-Vélez *et al.*, 2010), en hojarasca y con el mismo método de muestreo, se han encontrado otras subfamilias que hasta ahora no se han registrado en bosque seco, y estas son: *Euasthetinae*, *Megalopsidiinae*, *Omalinae* y *Scaphidiinae*, y esto puede deberse a que la riqueza máxima tanto de subfamilias como de especies, en el gradiente altitudinal, no se encuentre a la altura del bosque seco.

Con respecto a la abundancia, el bosque seco se encuentra dominado por unas pocas especies, destacando la más dominante *A. excisicollis*. Esto coincide con los trabajos anteriores donde esta es una de las especies más dominantes (García, 2005).

Con respecto a la diversidad, solo se tenían registros individuales de algunos fragmentos de bosque, la cual es baja comparada con la diversidad regional

registrada en este estudio. Cabe destacar que el valor de diversidad es alto y que ese nivel de diversidad se alcanza con poco esfuerzo de muestreo. Las zonas en las que se dividió el paisaje del bosque seco, muestran una distribución heterogénea de la riqueza y la composición, pero no muestran variación significativa de la diversidad, esto puede deberse a que los factores que regulan la aparición de estas variables, actúan a diferentes escalas.

Autocorrelación espacial. La no presencia de autocorrelación espacial en las diferentes escalas con las diferentes variables del ensamblaje, exceptuando la riqueza a nivel de localidades, confirma que la distancia no es un factor determinante para estructurar los patrones de riqueza, composición, diversidad y abundancia de los estafilínidos en el bosque seco.

Los valores que toman cada una de estas variables en el paisaje, son independientes las unas de las otras. La única excepción encontrada, muestra que la variación de riqueza puede ser explicada por la distancia entre las localidades. En este caso concreto, existe una relación negativa entre la distancia de las localidades y la riqueza, esto quiere decir que a mayor distancia entre dos puntos, la riqueza entre esos puntos va a ser similar.

Al descartar la autocorrelación espacial como una explicación válida para los patrones encontrados, cabe sugerir que existen parámetros abióticos que pueden estar explicando los patrones dentro de las diferentes escalas (Legendre, 1993). Un ejemplo de un parámetro abiótico del que se tiene conocimiento que es importante para la riqueza es la humedad de la hojarasca (García y Chacón, 2005), las cuales tienen una relación directa positiva. Es necesario examinar otras características abióticas como tamaños de los fragmentos, conectividad, perímetros y formas de los ecotopos, para poder

tratar de explicar mejor estos patrones encontrados.

Partición de la riqueza y la diversidad.

El análisis de partición aditiva, muestra que más del 50% del total de la riqueza del paisaje, es explicado por el recambio que existe entre las zonas, y esto indica que a este nivel existen características que juegan un papel muy importante en configurar la distribución de esta riqueza. Este resultado es consistente con otros trabajos que se han hecho con otros artrópodos (Gering *et al.*, 2003) y con estafilínidos de otras zonas de vida (Vásquez-Vélez *et al.*, 2010).

Pero no solamente este nivel es importante para configurar los patrones de riqueza, también el recambio entre localidades y el recambio entre ecotopos aportan en gran medida (21 y 14% resp.) a la riqueza total del paisaje. Estos altos niveles de recambio en las escalas más altas, no indica que el ensamble de estafilínidos responde a la heterogeneidad que el paisaje presenta.

A nivel de los ecotopos, el recambio es uno de los más altos y esto puede deberse a la diferencia vegetal y de condiciones medioambientales que cada ecotopo presenta. Sin embargo, aquí se podría estar enmascarando la diferencia de manejo que hay entre los ecotopos productivos (potrero y caña) y los ecotopos nativos (Fragmentos de bosque, guaduales y bosque de galería), ya que la fauna que existe en estos últimos, depende más de la humedad (García *et al.*, 2001) y en los ecotopos productivos esta condición es muy desfavorable, debido a la exposición solar.

Conclusiones

Existe una gran porción de la diversidad que está fuera de los fragmentos de

bosque y esta heterogeneidad es muy importante para el mantenimiento de la biodiversidad de los estafilínidos en este paisaje. En contraste con lo que se conocía sobre la riqueza y la composición de los estafilínidos, este trabajo contribuye a llamar la atención sobre la necesidad de ampliar los inventarios en estos paisajes y enfocarse también en las zonas productivas, que guardan una fauna que no necesariamente está presente en los bosques, pero que también es muy importante.

Conocer los mecanismos que mantienen la diversidad en los ecotopos nos puede ayudar a enfocar el estudio sobre ciertas especies, y así tratar de recabar información acerca de las poblaciones e identificar cuales son las variaciones naturales y cuales son las variaciones que son una respuesta a la modificación antrópica, tema este que ha sido poco estudiado en la mayoría de grupos de artrópodos.

Tabla 1. Riqueza observada, estimada y calculada a partir de la rarefacción para las cuatro zonas del valle geográfico del río Cauca.

Zonas	Riqueza Obs.	Riqueza Est.	Eficiencia	Rarefacción
Norte	74	125	59	56
Norte-centro	46	103	45	42
Sur-centro	82	152	63	61
Sur	53	73	73	53

Tabla 2. Valores de la riqueza y la diversidad observados y estimados, obtenidos a partir de un modelo de partición aditiva de α y β del ensamble de estafilinidos de hojarasca del Bs-T del valle del río Cauca.

	Add. S	Est. Add. S	Shannon	Est. Shannon
α Muestras	2.61*	3.76	0.7*	1.0
β Muestras	4.81*	8.25	0.9*	1.1
β Transectos	4.16*	7.24	0.4*	0.5
β Ecotopos	21.52*	28.27	0.9**	0.8
β Localidades	30.65NS	31.5	0.5**	0.3
β Zonas	80.25**	64.98	0.5**	0.2

* Valores menores que lo esperado por el azar.

**Valores mayores que lo esperado por el azar, NS valores sin diferencia significativa con los esperados por el azar.

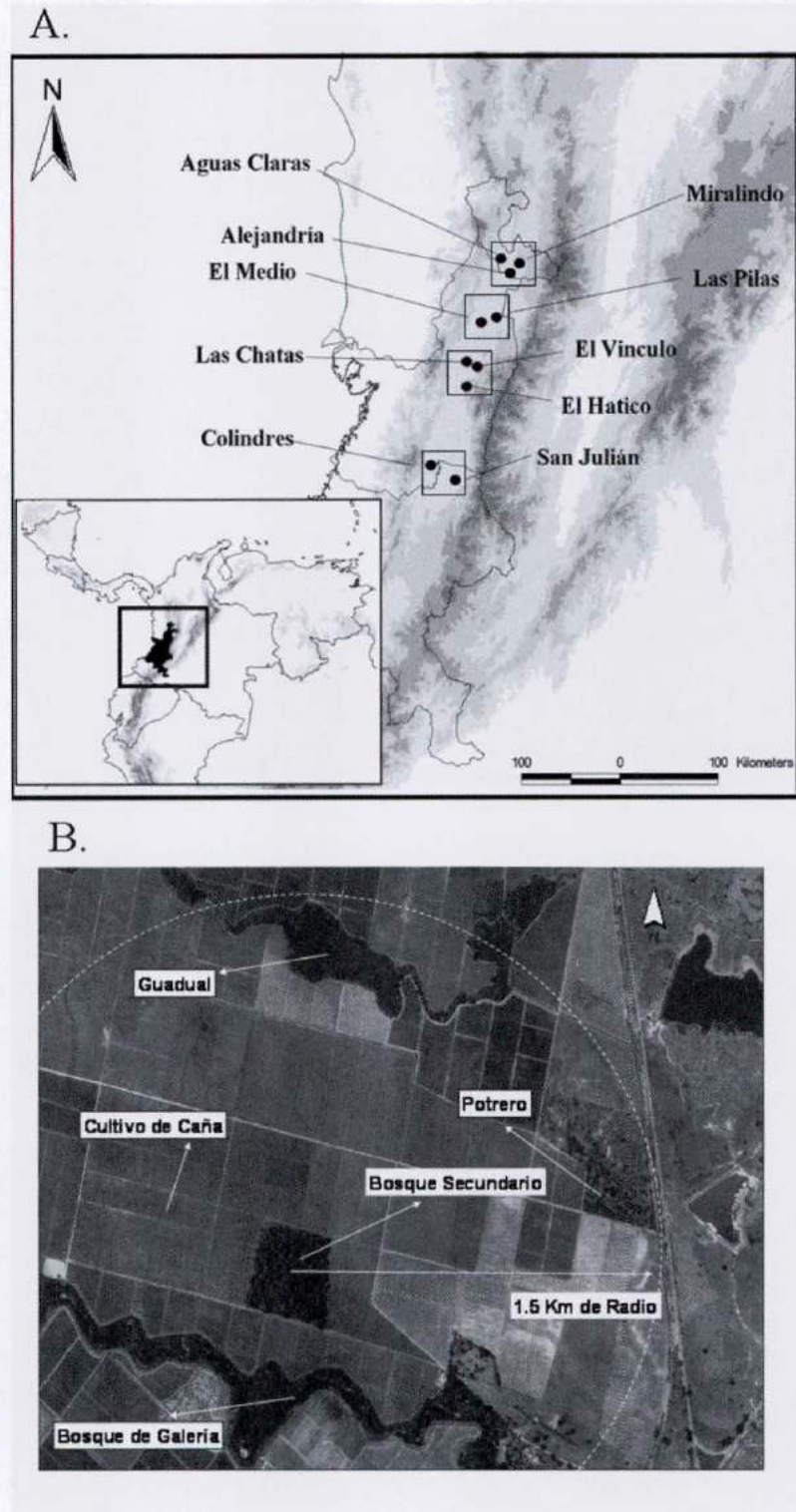


Figura 1. A. Ubicación de las zonas y localidades de muestreo en el valle geográfico de río Cauca. B. Distribución de los cinco ecotopos dentro de la localidad de El Medio: Fragmento de bosque secundario, Bosque de galería, Guadual, Cultivo de caña y Potrero.

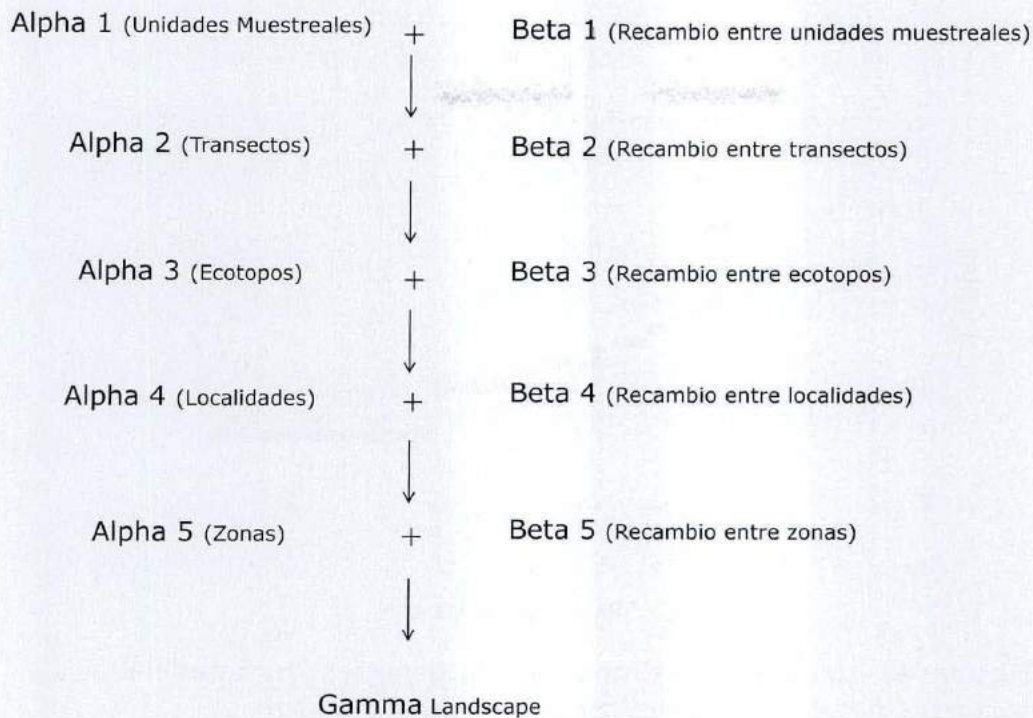


Figura 2. Niveles de anidamiento en la escala del paisaje del Bs-T, utilizados en este estudio.

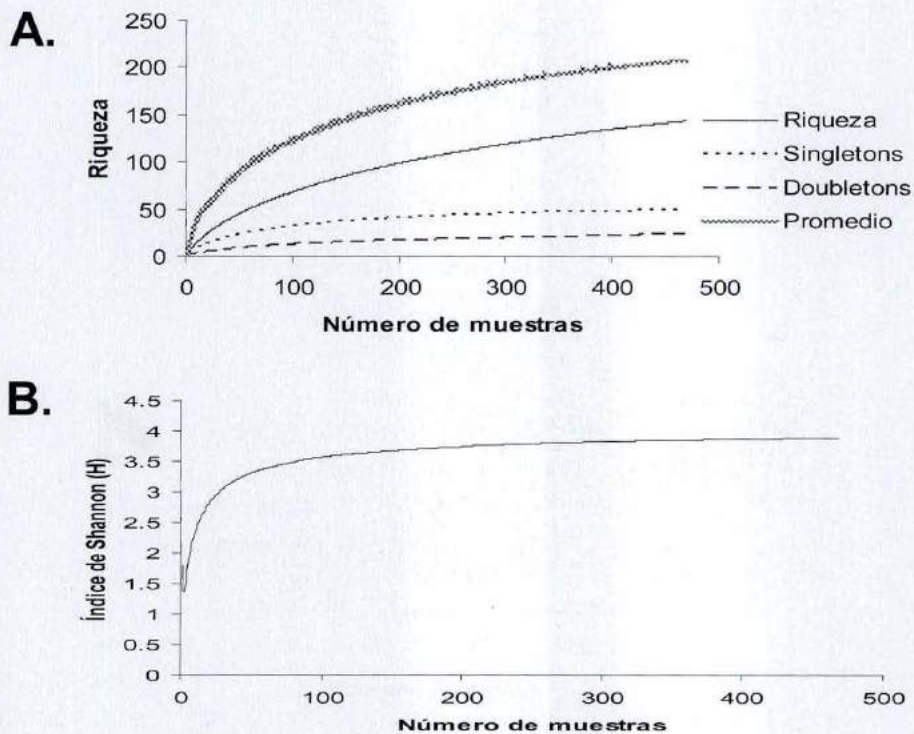


Figura 3. Curva de acumulación de la de la riqueza (A) y la diversidad (B) de los estafilínidos de hojarasca del Bs-T del valle geográfico del río Cauca.

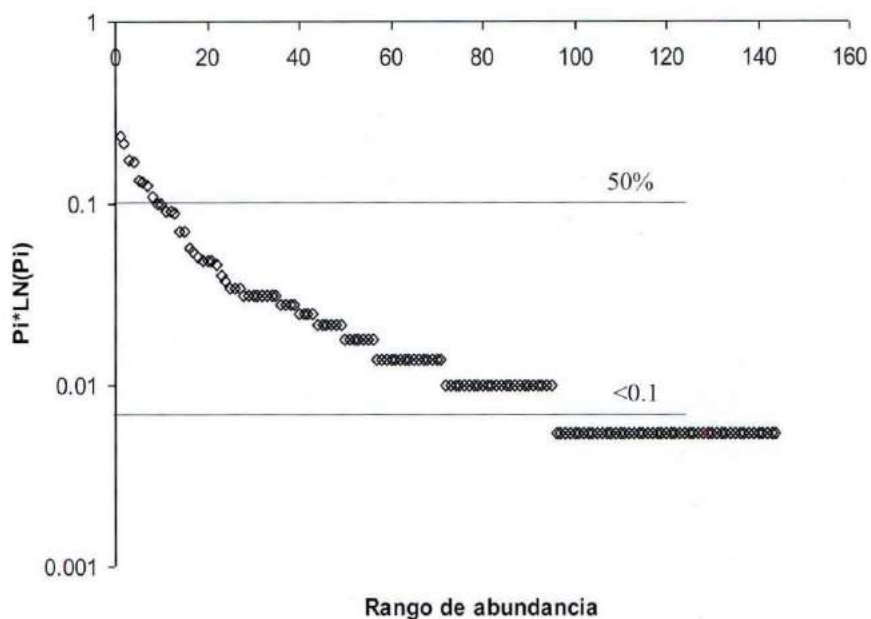


Figura 4. Abundancia relativa de las especies de Estafilínidos de hojarasca del Bs-T del valle geográfico del río Cauca.

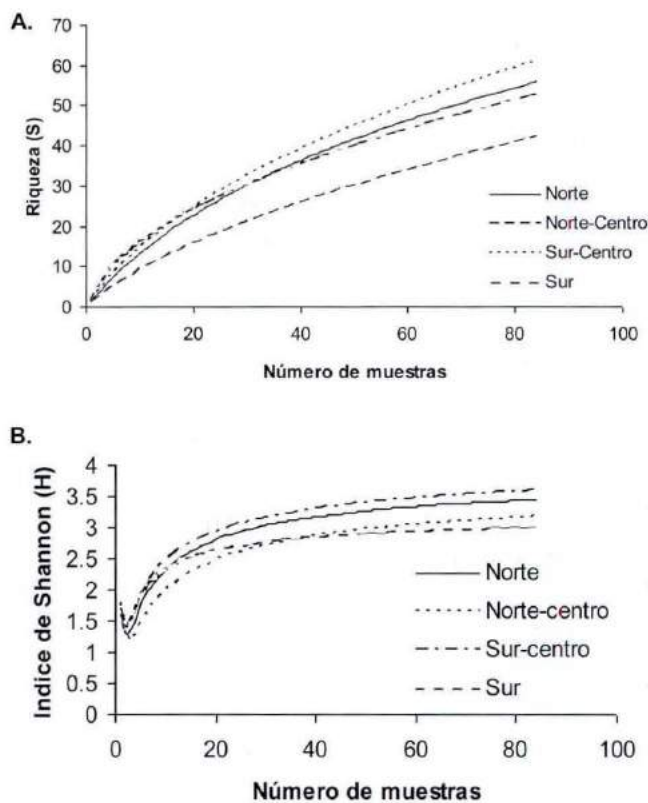


Figura 5. Rarefacción (A) y curvas de acumulación (B) de la diversidad de los Estafilínidos de hojarasca de las cuatro zonas de valle geográfico del río Cauca. Norte, Norte-centro, Sur-centro y Sur.

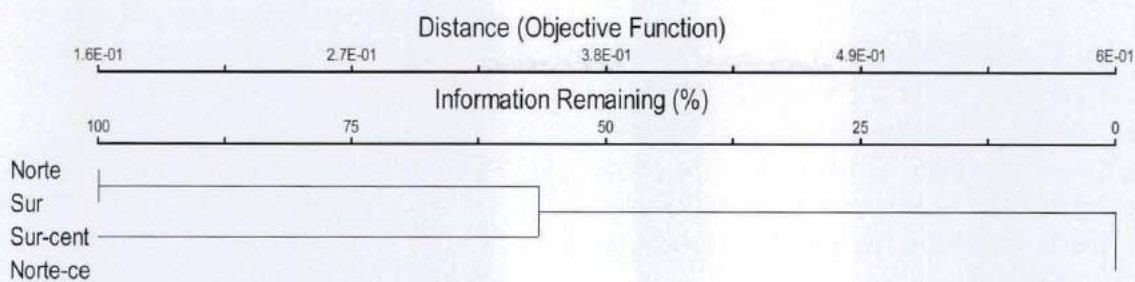


Figura 6. Análisis de conglomerados basados en la disimilitud para las cuatro zonas de estudio en el Bs-T del valle geográfico del río Cauca. Se utilizó el método de ligamiento completo y el índice de Bray-curtis.

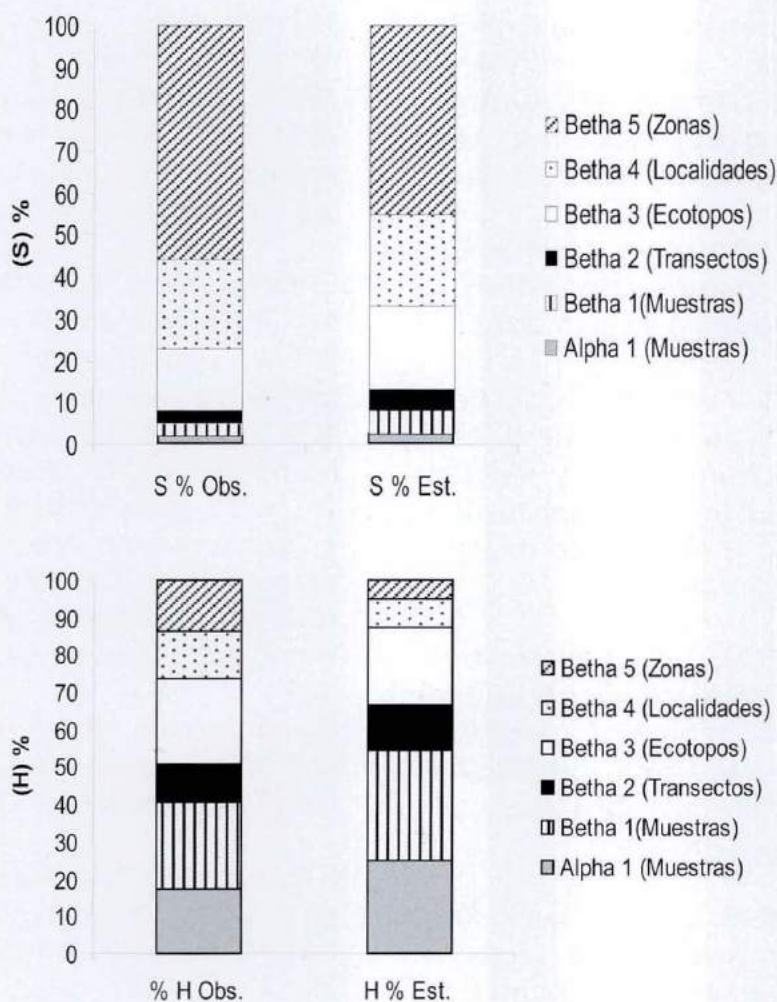


Figura 7. Porcentaje de aporte a la riqueza y diversidad total de los Estafilínidos de hojarasca, explicado por los componentes de Alfa y Beta, en cinco escalas espaciales. La contribución a la riqueza y diversidad total fueron calculados a partir de un modelo aditivo.

Referencias Bibliográficas

- ABADÍA, J. C.; BERMÚDEZ, C.; LOZANO-ZAMBRANO, F. H.; CHACÓN, P. 2010. Hormigas cazadoras en un paisaje subandino de Colombia: riqueza, composición y especies indicadoras. *Revista colombiana de entomología*. 36: 127-134.
- ARCILA, A. M.; OSORIO, A. M.; BERMÚDEZ, C.; CHACÓN DE ULLOA, P. 2008. Diversidad de hormigas cazadoras asociadas a los elementos del paisaje del bosque seco. p. 531-552. En: Lozano-Zambrano, F.; Fernández, F.; Jiménez, E.; Arias, T. (eds.) *Sistemática, biogeografía y conservación de las hormigas cazadoras de Colombia*. Instituto de recursos biológicos Alexandre von Humboldt. Bogotá D. C. Colombia. 617 p.
Disponible en: <http://www.humboldt.org.co/download/andes/IAVH-00958.pdf> [Fecha revisión: 13 Mayo 2011]
- COLWELL, R.K. 2011 EstimateS: statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 8.2 User's Guide and application published at: <http://viceroy.eeb.unconn.edu/estimates>.
- CRIST, T.O. & VEECH, J.A. 2006 Additive partitioning of rarefaction curves and species-area relationships: unifying α , β and γ diversity with sample size and habitat area. *Ecology Letters*, 9, 923-932.
- FORMAN, R.T.T. 1995. *Land mosaics: The ecology of landscapes and regions*. Cambridge university press, Cambridge UK.
- GARCÍA, R.; ARMBRECHT, I; ULLOA-CHACÓN, P. 2001. Staphylinidae (Coleoptera): composición y mirmecofilia en bosques secos delictuales de Colombia. *Staphylinidae (Coleoptera)*. *Folia entomología mexicana*.
- GARCÍA, R.; CHACÓN DE ULLOA, P. 2005. Estafilínidos (Coleoptera: Staphylinidae) en fragmentos de bosque seco del valle geográfico del río Cauca. *Revista Colombiana de entomología*. 31: 45-50.
- GERING, J.C.; CRIST, T.O.; VEECH, J.A. 2003. Additive partition of species diversity across multiple spatial scales: implications for regional conservation of biodiversity. *Conservation biology*. 17: 488-499.
- HAMMER, Ø., HARPER, D.A.T., RYAN, P.D. 2011 PAST: paleontological statistics. Version 2.06. published at: <http://folk.uio.no/ohammer/past>.
- JIMÉNEZ, E.; LOZANO-ZAMBRANO, F.; RODRÍGUEZ, J.; RAMÍREZ, D. 2008. Conservación de hormigas cazadoras: rareza y endemismo, pp. 407 - 421. En: Lozano-Zambrano, F.; Fernández, F.; Jiménez, E.; Arias, T. (eds.) *Sistemática, biogeografía y conservación de las hormigas cazadoras de Colombia*. Instituto de recursos biológicos Alexandre von Humboldt. Bogotá D. C. Colombia. 617 p.
Disponible en: <http://www.humboldt.org.co/download/andes/IAVH-00958.pdf> [Fecha revisión: 13 Mayo 2011]
- LANDE, R. 1996. Statistics and partitioning of species diversity, and similarity among multiple communities. *Oikos*. 76: 5 - 13.
- LEGENDRE, P. 1993. Spatial Autocorrelation: Trouble or New Paradigm? *Ecology*. 74:6 1659-1673.

VÁSQUEZ-VÉLEZ, L.; BERMÚDEZ, C.;
CHACÓN, P.; LOZANO-ZAMBRANO,
F. 2010. Analysis of the richness
of Staphylinidae (Coleoptera) on
different scales of a sub-Andean rural
landscape in Colombia. *Biodiversity
and Conservation*. 19: 1917-1931.

VEECH, J.A. & CRIST, T.O. (2009)
PARTITION: software for hierarchical
partitioning of species diversity,
version 3.0. published at [http://www.
users.muohio.edu/cristto/partition.
htm](http://www.users.muohio.edu/cristto/partition.htm).

Staphylinidae (Coleoptera) reportados en estudios forenses del Neotrópico: aspectos taxonómicos, ecológicos y forenses.

William David Rodríguez¹ y
Ginna Paola Camacho Cortés²

¹Estudiante de Licenciatura en Biología, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá. Grupo de Investigación en Artrópodos Kumangui, Bogotá, Colombia. davidvencedor7@yahoo.es

²Esp. Cand. Doctorado en Ciencias Forenses. Laboratorio de Entomología Forense del Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses. Bogotá, Colombia. Red Latinoamericana de Entomología Forense. ginnacamacho@gmail.com

276

38º Congreso Socolen

Memorias

Resumen

El presente documento es una revisión de los estafilínidos de interés forense registrados para el Neotrópico directa o indirectamente, pues a pesar de su valor como evidencia médico-legal, no existe suficiente claridad sobre los aspectos taxonómicos y ecológicos que permitan establecer cuáles son las especies que aportan información útil para el análisis de casos forenses en Colombia y en los demás países neotropicales. Por lo anterior, se revisaron 24 estudios (trabajos de tesis y artículos científicos) en los que se revisaron los registros de géneros y especies de Staphylinidae recolectados sobre biomodelos animales y tejidos humanos, a partir de los cuales se elaboró un listado preliminar de Staphylinidae de interés forense en el Neotrópico. Así mismo se hizo una tabla comparativa de los estafilínidos reportados hasta el taxón de familia en estudios entomológicos forenses que se han realizado en diferentes países del Neotrópico, lo cual muestra el desconocimiento taxonómico que se tiene sobre estos insectos. Finalmente, se mencionan los aspectos ecológicos y forenses de Staphylinidae reportados para Colombia, evidenciando la necesidad de estudios taxonómicos.

Key words: Staphylinidae, Entomología Forense, Neotrópico.

Abstract

This document is a revision of forensic interest staphylinids registered for Neotropics directly or indirectly, for despite its value as forensic evidence, there is insufficient clarity about the taxonomic and ecological aspects to establish which species are contributing useful information for the analysis of forensic cases Colombia and other Neotropical countries. As above, we reviewed 24 studies (thesis work and scientific articles) that were listed records of genera and species of Staphylinidae biomodels collected on animal and human tissues from which it drew up a preliminary list Staphylinidae of forensic interest in the Neotropics. Also made a comparative table of the Staphylinidae taxon reported through family studies forensic entomology have been made in different Neotropical countries, which shows the lack taxonomic data on these insects. Finally, referred to the ecological and forensic Staphylinidae reported for Colombia, showing the need for taxonomic studies.

Key words: Staphylinidae, Forensic Entomology, Neotropics.

Introducción

Cuando el descubrimiento de un cuerpo

ocurre poco antes de la muerte los parámetros médico-legales pueden usarse para determinar el PMI (Intervalo *postmortem*). Sin embargo, después de 72 horas, la entomología forense es usualmente el método más exacto y a veces el único en el cálculo de este intervalo (Anderson y Vanlaerhoven, 1996; Magaña, 2001).

Desde el punto de vista de la entomología forense, existen dos aproximaciones para determinar el tiempo transcurrido desde la muerte usando la evidencia entomológica. La primera se basa en la estimación de la edad de las larvas y la tasa de desarrollo. La segunda utiliza la sucesión de insectos en la descomposición de un cadáver. Ambas aproximaciones se pueden utilizar por separado o conjuntamente, dependiendo del tipo de restos encontrados. En general, en las primeras fases de la descomposición, las estimaciones se basan en el estudio del crecimiento de una o dos especies de insectos, particularmente dípteros, mientras que en las fases más avanzadas de la descomposición, se utiliza la composición y grado de crecimiento de la comunidad de artrópodos encontrada en el cadáver y se compara con patrones conocidos de sucesión de fauna para el hábitat y las condiciones más próximas (Magaña, 2001).

Para que la Entomología Forense pueda ser validada y aceptada en los Tribunales de Justicia como disciplina que permita establecer la data de la muerte con fiabilidad, es obligatorio disponer de un profundo conocimiento de la taxonomía, fisiología y ecología de los artrópodos de interés forense (García, 2004), en este caso es importante conocer las especies de Staphylinidae que colonizan un cadáver.

Lo anterior cobra aún mayor importancia cuando se considera que el 80% de los

artrópodos que visitan los cadáveres son insectos, de los cuales dos órdenes tienen especial utilidad forense: dípteros y coleópteros (Magaña, 2001). De este último orden se han encontrado familias de interés forense como: Staphylinidae, Scarabaeidae, Carabidae, Histeridae, Silphidae, Dermestidae (Almeida y Mise 2009; Goff 1991), en el proceso de sucesión de fauna, "pudiéndose utilizar sus rasgos biológicos para estimar el intervalo *postmortem*" (Almeida y Mise, 2009).

De las familias de coleópteros antes mencionadas, los estafilínidos (Coleoptera: Staphylinidae) han demostrado ser una evidencia entomológica significativa en el campo de la medicina legal, sobre todo cuando se refiere a los últimas fases de la descomposición de los cuerpos humanos, siendo el grupo depredador más común en cadáveres, donde parece que tienden a alimentarse preferentemente de larvas (Almeida y Mise, 2009; Gill, 2005). Algunos autores indican que los estafilínidos pueden llegar a las pocas horas de ocurrida la muerte y permanecer activos hasta las etapas finales de la descomposición. Estos escarabajos están activos durante el día y la noche alimentándose preferiblemente de larvas y huevos de moscas; se dice que atrapan a las moscas que tratan de oviponer sobre el cuerpo (Gill, 2005).

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 (Buenaventura y Cifuentes, 2010), como Staphylinidae.

Por lo anterior se propuso establecer, de acuerdo con la literatura disponible, cuáles son los géneros y las especies de Staphylinidae recolectadas en estudios de entomología forense en el Neotrópico, discutir su rol dentro de la descomposición cadavérica y a partir de esta información determinar las necesidades de estudios taxonómicos.

Materiales y Métodos

Se revisaron los siguientes 24 trabajos de tesis y artículos de interés forense publicados, extrayendo los registros de los géneros y las especies de los estafilínidos identificados para el Neotrópico (Tabla 1). Los trabajos revisados son los siguientes: (1) Wolff *et al.* 2001, (2) Martínez *et al.* 2007, (3) Pérez *et al.* 2005, (4) Aballay *et al.* 2008, (5) Luederwaldt 1911, (6) Centeno *et al.* 2002, (7) Mise *et al.* 2010, (8) Mise *et al.* 2007, (9) Souza y Linhares 1997, (10) Goff 1991, (11) Goff 2002, (12) Guarín 2005, (13) Oliva 1997, (14) Naranjo *et al.* 2009, (15) Garcés *et al.* 2004, (16) Gomes y VonZuben 2006, (17) Matuszewsk *et al.* 2009, (18) Tabor *et al.* 2005, (19) Sharanowski *et al.* 2008, (20) Prado *et al.* 2010, (21) Ozdemir y Sert 2009, (22) Turchetto *et al.* 2001, (23) Wang, *et al.* 2008, (24) Voss *et al.* 2009.

Las investigaciones consultadas, fueron realizadas principalmente sobre biomodelos de cerdo (*Sus scrofa* Linnaeus, 1758), dada la similitud en los procesos de descomposición con seres humanos.

De la misma manera se revisaron 16 documentos en los cuales los autores determinaron los estafilínidos hasta el taxón de familia. (Tabla 2): (25) Salazar-Ortega 2008, (26) Segura *et al.* 2009, (27) Mendoza 2006, (28) Jiménez y Latorre 2003, (29) Camacho 2005, (30) Aguirre *et al.* 2010, (31) Uribe 2000, (32)

Olaya 2001, (33) Cifuentes *et al.* 2009, (34) Martínez *et al.* 2009, (35) Carvalho *et al.* 2004, (36) Mise *et al.* 2008, (37) Moura *et al.* 1997, (38) Carvalho *et al.* 2000, (39) Velásquez 2008, (40) Liria 2006.

Resultados y Discusión

En Colombia, no se ha realizado ningún trabajo taxonómico que se ocupe específicamente de los estafilínidos de interés forense, debido a que la mayoría de las investigaciones giran principalmente entorno al orden Diptera. Hay publicaciones en las que los que los estafilínidos se incluyen en las listas de resultados hasta el taxón de familia (Tabla 2), lo cual indica la importancia de identificarlos hasta un nivel más específico, no solo por su presencia durante la sucesión entomológica, sino por la diversidad y rol ecológico que cumplen en el cadáver.

En Colombia, tres investigaciones forenses (Wolff *et al.*, 2001; Martínez *et al.*, 2007; Pérez *et al.*, 2005) reportaron 14 géneros de estafilínidos, de los cuales 7 no están incluidos en el *Checklist* de Staphylinidae (Coleoptera) de Colombia (Newton *et al.*, 2005) (Tabla 1) ni en las claves propuestas por Navarrete-Heredia *et al.* (2002) en las que se registran géneros y especies para gran parte del Neotrópico. Esto puede deberse a la utilización de claves inespecíficas para el Neotrópico, por lo cual es necesario realizar un estudio taxonómico más profundo, con claves específicas, para verificar si se trata de nuevos registros para el país.

A continuación se relacionan los géneros que se han incluidos en los trabajos forenses citados previamente:

Hipotelus sp., *Spedophilus* sp., *Dianous*

sp., *Anocyptus* sp., *Copris* sp., *Didnous* sp. y *Ontholestes* sp.; de estos 7 géneros se puede inferir que fueron determinadas con la claves de Moore y Legner (1975), porque son géneros que se identificaban para el Neártico. Estas claves estuvieron orientadas a describir la fauna norteamericana, sin embargo en el 2000 fueron publicadas unas nuevas claves por Newton y colaboradores (2000) para esta parte del continente, que abarca de manera más amplia la familia Staphylinidae.

Solamente el género *Ontholestes* sp. está reportado por Navarrete-Heredia, *et al.* (2002) y Asenjo (2009) como parte de la fauna del Neotrópico específicamente para Brasil, más no para Colombia.

Estos problemas taxonómicos que por lo general comparten los países latinoamericanos hacen que por ejemplo *Dianous* sp., actualmente un género de la subfamilia Steninae (Staphylinidae) que está integrado por 200 especies distribuidas en el Neártico, Paleártico y la región oriental (Herman, 2001), listado en trabajos sucesionales de Colombia, por el uso de claves inespecíficas para el Neotrópico, generen confusión y posibles errores en la identificación taxonómica y por ende en la distribución geográfica.

Otro caso es el del género *Staphylinus* sp. un registro para Colombia no reportado por Asenjo (2009), ya que es una nueva combinación en el género *Platydracus* sp., basadas en la revisión genérica que hace Smetana y Davies (2000). Así mismo, este género es reconocido en el trabajo de Newton *et al.* (2005) como combinación genérica.

Lo anterior permite reconocer la importancia de tener referentes taxonómicos claros para la identificación de la "estafilínido-fauna" colombiana. Uno de los trabajos actuales que trata

específicamente de la entomofauna Coleoptera del Neotrópico (México) es el de Navarrete-Heredia *et al.* (2002), en el cual 236 de los 364 géneros que lo integran, están registrados para Colombia, y de los cuales 166 se pueden identificar a través claves taxonómicas incluidas en el estudio, un 70% aproximadamente de lo que hasta ahora se ha reportado para Colombia.

A partir de la información publicada hasta la fecha, se puede decir que 34 de los 66 géneros de estafilínidos identificados en estudios de interés forense, se encuentran reportados para Colombia (Newton *et al.*, 2005), más 6 que probablemente podrían encontrarse en el territorio nacional. En la Tabla 1 se presenta un listado de los géneros y especies de Staphylinidae reportados en estudios forenses para el Neotrópico.

Aspectos ecológicos e importancia forense

La mayoría de los estafilínidos se conocen como depredadores no específicos, se alimentan de diversos artrópodos del suelo, tales como: nematodos, ácaros, colémbolos, imagos de insectos, y larvas, entre otros. Los estafilínidos depredadores normalmente no viven bajo las piedras, sino que simplemente se refugian allí, sobre todo especies nocturnas (Bohac, 1999).

A continuación, se presentan aspectos ecológicos de algunos de los géneros de Staphylinidae reportados para el neotrópico.

Los miembros del género *Aleochara* sp. son parásitos de puparios de Diptera (Peschke y Fuldner, 1977; Klimaszewski, 1984) y hacen parte de los coleópteros más pequeños que constituyen Staphylinidae, siendo el de mayor dificultad taxonómica.

Philonthus longicornis, reportado para Colombia es considerado una especie cosmopolita (Herman, 2001) que llegó al Nuevo Mundo desde el Paleártico durante el siglo XIX (Smetana, 1995) de acuerdo a lo reportado por Chani-Posse (2004). *P. longicornis* está presente en Centro y Suramérica, conocido desde Argentina, Bolivia, Uruguay, Brasil, Colombia, Panamá, Costa Rica y Cuba. Es cosmopolita y se cree que es adventicia. Smetana (1995) cita esta especie como un estafilínido que se encuentra dentro de residuos orgánicos, tales como: plantas en descomposición, excremento animal, cadáveres, entre otros.

Philonthus flavolimbatus, se asocia frecuentemente con el excremento de vaca y caballo y a su pronta llegada a este recurso en hábitats abiertos. Según Chani-Posse (2004) se encuentra en cactus y hongos en descomposición. Esta especie ha demostrado ser un importante depredador de moscas inmaduras, y su capacidad para reducir las poblaciones de Díptera ha sido bien documentada en Norteamérica. Es cosmopolita (Chani-Posse, 2004).

Por otro lado, es reconocido que un cadáver puede ser colonizado por un número variable de artrópodos pertenecientes a diferentes taxa que cumplen diversos roles durante la descomposición, algunos son necrófagos (se alimentan directamente del cadáver y constituyen la categoría más importante en el establecimiento del tiempo de muerte), otros depredadores y parásitos (constituyen la segunda categoría forense más importante), omnívoros (se alimentan del cadáver y de los artrópodos presentes) e incidentales (usan el cadáver como una extensión de su ambiente natural) (Smith, 1986). En el caso de los estafilínidos, estos cumplen un rol ecológico específico en el cadáver, presentándose en diversas etapas de la descomposición (Tabla 1), principalmente

en los períodos más avanzados (activa, avanzada, restos secos), cumpliendo principalmente un rol depredador.

Necesidades de estudios taxonómicos

Para el año 2007 la familia Staphylinidae contaba con 55.440 especies descritas mundialmente (existentes + extintas) (Grebennikov y Newton, 2009) dividida en 31 subfamilias y más de 3.400 géneros (Newton *et al.*, 2005). La subfamilia con más especies es Aleocharinae con aproximadamente el 27% de las especies totales. Las subfamilias más pequeñas corresponden a Empelinae, Neophoninae y Solieriinae, cada una con una especie. Tan solo los estafilínidos conforman el 14% del orden Coleoptera y cerca del 5% de los animales (Herman, 2001) siendo la más diversa del reino animal (Grebennikov y Newton, 2009).

Actualmente hay aproximadamente 60 sistemáticos alrededor del mundo, especializados en parte en la familia Staphylinidae, quienes describen más de 600 nuevas especies cada año, sin embargo es poca la actividad taxonómica concerniente a la región neotropical (Newton *et al.*, 2005).

La historia de la taxonomía de los estafilínidos en Colombia, está muy relacionada con los estudios que se han hecho en Latinoamérica sobre biodiversidad, lo que ha contribuido a conocer la fauna nacional. Uno de estos trabajos es el de Wilhelm Ferdinand Erichson (1809-1849): *Genera et species staphylinorum ruminsectorum coleopterorum familiae* (Erichson, 1840), el cual es una compilación detallada de los estafilínidos conocidos a nivel mundial en la cual describió 46 géneros y 908 nuevas especies, de las cuales el 83% aún se reconocen (Herman, 2001), y en las

cuales se incluyen más de 160 nuevas especies provenientes de Colombia (Newton *et al.*, 2005).

Otras publicaciones como las de Blackwelder (1944) y Blackwelder (1973) son consideradas como puntos de referencia para varios grupos trabajan Coleoptera en Latinoamérica. Sharp (1882-1887) recopila la información de México, Centroamérica y el valle del Amazonas en Brasil (Sharp, 1876), en las cuales aparecen un gran número de géneros y especies descritos para Colombia. En los últimos años, científicos colombianos y extranjeros han realizado estudios sobre estafilínidos en biodiversidad (Gutiérrez, 2003; Ashe, 2006; Bermúdez, 2005; García y Ulloa-Chacón, 2005; Sanabria

et al., 2008; Gutiérrez-Chacón y Ulloa-Chacón, 2006; Méndez *et al.*, 2009; Rodríguez y Rodríguez, 2010; Avendaño y García, 2010; Silva y Navarrete-Heredia, 2010) y ecología (Bernal y Ervik, 1996; García *et al.*, 2001; Gutiérrez-Chacón, *et al.*, 2006; Vásquez-Vélez *et al.*, 2010). Sin embargo el estado actual del conocimiento taxonómico de la diversidad de Staphylinidae en Colombia sigue siendo muy escaso, debido a la falta de especialistas y a los pocos estudios efectuados en el país que traten específicamente este grupo. De cualquier forma el trabajo de Navarrete-Heredia, *et al.* (2002) es el que más abarca la biodiversidad de estafilínidos colombianos.

Tabla 1. Listado preliminar de géneros y especies de Staphylinidae (Coleóptera) reportados en estudios forenses para el Neotrópico.

Taxón	Reporte en el Neotrópico		Sustrato	Categoría ecológica	Estado de descomposición asociado (Autor/es, para estudios del Neotrópico)	Otros registros en el mundo	
	País	Autor/es				País	Autor/es
<i>Hipotelus</i> sp.	Colombia	Wolff <i>et al.</i> (2001)	<i>Sus scrofa</i>	Depredador - parásito	Avanzado (13-51 días) (Wolff <i>et al.</i> , 2001).	-	-
<i>Lispinus</i> sp.	Colombia	Wolff <i>et al.</i> (2001), Newton <i>et al.</i> (2005)	<i>Sus scrofa</i>	Depredador - parásito	Avanzado (13-51 días) (Wolff <i>et al.</i> , 2001).	-	-
<i>Megalopinus</i> sp.	Colombia	Wolff <i>et al.</i> (2001), Newton <i>et al.</i> (2005)	<i>Sus scrofa</i>	Depredador - parásito	Avanzado (13-51 días) y restos secos (52-207 días) (Wolff <i>et al.</i> , 2001).	-	-
<i>Pseudopsis</i> sp.	Colombia	Wolff <i>et al.</i> (2001), Newton <i>et al.</i> (2005)	<i>Sus scrofa</i>	Depredador - parásito	Avanzado (13-51 días) y restos secos (52-207 días) (Wolff <i>et al.</i> , 2001).	-	-
<i>Spadophilus</i> sp.	Colombia	Wolff <i>et al.</i> (2001)	<i>Sus scrofa</i>	Depredador - parásito	Avanzado (13-51 días) (Wolff <i>et al.</i> , 2001).	-	-
<i>Stenus</i> sp.	Colombia	Wolff <i>et al.</i> (2001), Newton <i>et al.</i> (2005), Martínez <i>et al.</i> (2007)	<i>Sus scrofa</i>	Depredador - parásito	Avanzado (13-51 días) (Wolff <i>et al.</i> , 2001) - Activo (17-30 días) (Martínez <i>et al.</i> , 2007).	-	-
<i>Lathropinus</i> sp.	Colombia	Martínez <i>et al.</i> (2007), Newton <i>et al.</i> (2005)	<i>Sus scrofa</i>	Depredador	Hinchado (4-16 días), activo (17-30 días), avanzado (31-51 días) y restos secos (53-83 días) (Martínez <i>et al.</i> , 2007).	-	-
<i>Dianous</i> sp.	Colombia	Martínez <i>et al.</i> (2007)	<i>Sus scrofa</i>	Depredador	Fresco (0-3 días), hinchado (4-16 días), activo (17-30 días), avanzado (31-51 días) y restos secos (52-83 días) (Martínez <i>et al.</i> , 2007).	-	-
<i>Anocypus</i> sp.	Colombia	Martínez <i>et al.</i> (2007)	<i>Sus scrofa</i>	Depredador	Hinchado (4-16 días) (Martínez <i>et al.</i> , 2007).	-	-
<i>Copris</i> sp.	Colombia	Pérez <i>et al.</i> (2005)	<i>Sus scrofa</i>	Sin información	Activo (7-12 días) (Pérez <i>et al.</i> , 2005).	-	-
<i>Didnous</i> sp.	Colombia	Pérez <i>et al.</i> (2005)	<i>Sus scrofa</i>	Sin información	Activo (7-12 días), avanzado (13-22) (Pérez <i>et al.</i> , 2005).	-	-
<i>Edaphus</i> sp.	Colombia	Pérez <i>et al.</i> (2005), Newton <i>et al.</i> (2005)	<i>Sus scrofa</i>	Sin información	Hinchado (2-6 días), activo (7-12 días), avanzado (13-22 días) (Pérez <i>et al.</i> , 2005).	-	-
<i>Ontholestes</i> sp.	Colombia	Pérez <i>et al.</i> (2005), Navarrete-Heredia <i>et al.</i> (2002)	<i>Sus scrofa</i>	Sin información	Avanzado (13-22 días) (Pérez <i>et al.</i> , 2005).	-	-
<i>Staphylinus</i> sp.	Colombia	Pérez <i>et al.</i> (2005), Newton <i>et al.</i> (2005)	<i>Sus scrofa</i>	Sin información	Activo (7-12 días), avanzado (13-22) (Pérez <i>et al.</i> , 2005).	-	-
<i>Creophilus maxillosus</i>	Argentina, Cuba	Aballoy <i>et al.</i> (2008), Centeno <i>et al.</i> (2002), Oliva (1997), Naranjo <i>et al.</i> (2009)	<i>Sus scrofa</i> , <i>Homo sapiens</i>	Necrófilo	Aballoy <i>et al.</i> (2008). No se especifican estados de descomposición.	USA (Hawái), Polonia, Canadá, Portugal, Turquía, Italia, China, Australia	Goff (1991), Matuszewski <i>et al.</i> (2009), Tabor <i>et al.</i> (2005), Sharanowski <i>et al.</i> (2008), Prado <i>et al.</i> (2010), Ozdemir y Sert (2009), Turchetto <i>et al.</i> (2001), Wang <i>et al.</i> (2008), Voss <i>et al.</i> (2009)

Taxón	Reporte en el Neotrópico		Sustrato	Categoría ecológica	Estado de descomposición asociado (Autor/es, para estudios del Neotrópico)	Otros registros en el mundo	
	País	Autor/es				País	Autor/es
<i>Philonthus longicornis</i>	Colombia, Argentina, Bolivia, Uruguay, Brasil, Panamá, Costa Rica y Cuba.	Newton <i>et al.</i> (2005), Aballoy <i>et al.</i> (2008)	<i>Sus scrofa</i> , <i>Homo sapiens</i>	Necrófilo	Aballoy <i>et al.</i> (2008). No se especifican estados de descomposición.	USA (Hawaii), España	Goff (1991), Goff (2002)
<i>Paederus</i> sp.	Colombia, Argentina	Newton <i>et al.</i> (2005), Centeno <i>et al.</i> (2002)	<i>Sus scrofa</i>	Depredador	Fresco, hinchado, activo, avanzado y seco, sin especificar el tiempo de duración de cada estado (Centeno <i>et al.</i> , 2002).	-	-
<i>Creophilus variegatus</i>	Brasil	Luederwaldt (1911)	Tejido animal, <i>Homo sapiens</i>	Sin información	Luederwaldt (1911). No se especifican estados de descomposición.	-	-
<i>Philonthus brasiliensis</i>	Brasil	Luederwaldt (1911)	Tejido animal, <i>Homo sapiens</i>	Sin información	Luederwaldt (1911). No se especifican estados de descomposición.	-	-
<i>Philonthus feralis</i>	Colombia, Brasil	Newton <i>et al.</i> (2005), Luederwaldt (1911)	Tejido animal, <i>Homo sapiens</i>	Sin información	Luederwaldt (1911). No se especifican estados de descomposición.	-	-
<i>Philonthus flavolimbatus</i>	Colombia, Brasil	Newton <i>et al.</i> (2005), Luederwaldt (1911)	Excremento de vaca y caballo	Coprófago, depredador	Luederwaldt (1911). No se especifican estados de descomposición.	-	-
<i>Belonuchus xanthopus</i>	Brasil	Luederwaldt (1911)	Tejido animal, <i>Homo sapiens</i>	Sin información	Luederwaldt (1911). No se especifican estados de descomposición.	-	-
<i>Aleochara lateralis</i>	Colombia, Brasil	Newton <i>et al.</i> (2005), Luederwaldt (1911), Souza y Linhares (1997)	Tejido animal, <i>Homo sapiens</i>	Parásitos	Luederwaldt (1911). No se especifican estados de descomposición.	-	-
<i>Aleochara notula</i>	Colombia, Brasil	Newton <i>et al.</i> (2005), Luederwaldt (1911)	Tejido animal, <i>Homo sapiens</i>	Parásitos	Luederwaldt (1911). No se especifican estados de descomposición.	-	-
<i>Aleochara taeniata</i>	Colombia, Brasil	Newton <i>et al.</i> (2005), Luederwaldt (1911)	Tejido animal, <i>Homo sapiens</i>	Parásitos	Luederwaldt (1911). No se especifican estados de descomposición.	-	-
<i>Atheta lurida</i>	Brasil	Luederwaldt (1911)	Tejido animal, <i>Homo sapiens</i>	Sin información	Luederwaldt (1911). No se especifican estados de descomposición.	-	-
<i>Atheta brasiliensis</i>	Colombia, Brasil	Newton <i>et al.</i> (2005), Luederwaldt (1911)	Tejido animal, <i>Homo sapiens</i>	Sin información	Luederwaldt (1911). No se especifican estados de descomposición.	-	-
<i>Atheta mayalis</i>	Brasil	Luederwaldt (1911)	Tejido animal, <i>Homo sapiens</i>	Sin información	Luederwaldt (1911). No se especifican estados de descomposición.	-	-
<i>Atheta luederwaldti</i>	Brasil	Luederwaldt (1911)	Tejido animal, <i>Homo sapiens</i>	Sin información	Luederwaldt (1911). No se especifican estados de descomposición.	-	-
<i>Oxytelus subnitidus</i>	Brasil	Luederwaldt (1911)	Tejido animal, <i>Homo sapiens</i>	Sin información	Luederwaldt (1911). No se especifican estados de descomposición.	-	-
<i>Hoplandria aleocharoides</i>	Brasil	Luederwaldt (1911)	Tejido animal, <i>Homo sapiens</i>	Sin información	Luederwaldt (1911). No se especifican estados de descomposición.	-	-

Taxón	Reporte en el Neotrópico		Sustrato	Categoría ecológica	Estado de descomposición asociado (Autor/es, para estudios del Neotrópico)	Otros registros en el mundo	
	País	Autor/es				País	Autor/es
<i>Falagria fissula</i>	Brasil	Luederwaldt (1911)	Tejido animal, <i>Homo sapiens</i>	Sin información	Luederwaldt (1911). No se especifican estados de descomposición.	-	-
<i>Amblyopinus gahani</i>	Brasil	Luederwaldt (1911)	Tejido animal, <i>Homo sapiens</i>	Sin información	Luederwaldt (1911). No se especifican estados de descomposición.	-	-
<i>Aleochara</i> sp.	Colombia, Brasil (Amazonas), Panamá	Newton <i>et al.</i> (2005), Mise <i>et al.</i> (2007, 2010) y Gomes y VonZuben (2006) Garcés <i>et al.</i> (2004)	<i>Sus scrofa</i>	Depredador	Descomposición inicial (2 días), putrefacción (2 días), putrefacción avanzada (1 día), fermentación butírica (1 día), descomposición seca (2 días) (Mise <i>et al.</i> , 2010).	Australia	Voss <i>et al.</i> (2009)
<i>Hopaldria</i> sp.	Colombia, Brasil (Amazonas)	Newton <i>et al.</i> (2005), Mise <i>et al.</i> (2010)	<i>Sus scrofa</i>	Sin información	Putrefacción (2 días), fermentación butírica (1 día) (Mise <i>et al.</i> , 2010).	-	-
<i>Osoarius</i> sp.	Colombia, Brasil (Amazonas)	Newton <i>et al.</i> (2005), Mise <i>et al.</i> (2010)	<i>Sus scrofa</i>	Sin información	Descomposición seca (2 días) (Mise <i>et al.</i> , 2010).	-	-
<i>Anatylus</i> sp.	Colombia, Brasil (Amazonas)	Newton <i>et al.</i> (2005), Mise <i>et al.</i> (2007, 2010)	<i>Sus scrofa</i>	Sin información	Descomposición seca (2 días) (Mise <i>et al.</i> , 2010).	-	-
<i>Lithocharis</i> sp.	Colombia, Brasil (Amazonas)	Newton <i>et al.</i> (2005), Mise <i>et al.</i> (2010)	<i>Sus scrofa</i>	Sin información	Descomposición seca (2 días) (Mise <i>et al.</i> , 2010).	-	-
<i>Sitocharis</i> sp.	Brasil (Amazonas)	Mise <i>et al.</i> (2010)	<i>Sus scrofa</i>	Sin información	Descomposición seca (2 días) (Mise <i>et al.</i> , 2010).	-	-
<i>Neobisnius</i> sp.	Colombia, Brasil (Amazonas)	Newton <i>et al.</i> (2005), Mise <i>et al.</i> (2010)	<i>Sus scrofa</i>	Sin información	Descomposición seca (2 días) (Mise <i>et al.</i> , 2010).	-	-
<i>Neohypnus</i> sp.	Colombia, Brasil (Amazonas)	Newton <i>et al.</i> (2005), Mise <i>et al.</i> (2007, 2010)	<i>Sus scrofa</i>	Sin información	Putrefacción (2 días), descomposición seca (2 días) (Mise <i>et al.</i> , 2010).	-	-
<i>Oligotergus</i> sp.	Colombia, Brasil (Amazonas)	Newton <i>et al.</i> (2005), Mise <i>et al.</i> (2010)	<i>Sus scrofa</i>	Sin información	Descomposición seca (2 días) (Mise <i>et al.</i> , 2010).	-	-
<i>Platydracus ochropygus</i>	Colombia, Brasil (Amazonas)	Newton <i>et al.</i> (2005), Mise <i>et al.</i> (2010)	<i>Sus scrofa</i>	Sin información	Descomposición seca (2 días) (Mise <i>et al.</i> , 2010).	-	-
<i>Platydracus</i> sp.	Colombia, Brasil (Amazonas)	Newton <i>et al.</i> (2005), Mise <i>et al.</i> (2007, 2010)	<i>Sus scrofa</i>	Sin información	Descomposición seca (2 días) (Mise <i>et al.</i> , 2010).	-	-
<i>Plociopterus</i> sp.	Colombia, Brasil (Amazonas)	Newton <i>et al.</i> (2005), Mise <i>et al.</i> (2010)	<i>Sus scrofa</i>	Sin información	Descomposición seca (2 días) (Mise <i>et al.</i> , 2010).	-	-
<i>Xanthopygus bicolor</i>	Brasil (Amazonas)	Mise <i>et al.</i> (2010)	<i>Sus scrofa</i>	Sin información	Putrefacción (2 días), descomposición seca (2 días) (Mise <i>et al.</i> , 2010).	-	-
<i>Xanthopygus</i> sp.	Brasil (Amazonas)	Newton <i>et al.</i> (2005), Mise <i>et al.</i> (2010)	<i>Sus scrofa</i>	Sin información	Descomposición seca (2 días) (Mise <i>et al.</i> , 2010).	-	-
<i>Ocalea</i> sp.	Colombia, Brasil	Newton <i>et al.</i> (2005), Mise <i>et al.</i> (2007)	<i>Sus scrofa</i>	Sin información	Fresco, putrefacción, putrefacción avanzada y fermentación butírica (Mise <i>et al.</i> , 2007).	-	-

Taxón	Reporte en el Neotrópico		Sustrato	Categoría ecológica	Estado de descomposición asociado (Autor/es, para estudios del Neotrópico)	Otros registros en el mundo	
	País	Autor/es				País	Autor/es
<i>Philonthus</i> sp.	Colombia, Brasil	Newton <i>et al.</i> (2005), Mise <i>et al.</i> (2008), Mise <i>et al.</i> (2010)	<i>Sus scrofa</i>	Sin información	Fresco, putrefacción, putrefacción avanzada y fermentación butírica (Mise <i>et al.</i> , 2008). Putrefacción (2 días), putrefacción avanzada (1 día), descomposición seca (2 días) (Mise <i>et al.</i> , 2010).	Polonia	Matuszewsk <i>et al.</i> (2009)
<i>Balonuchus</i> sp.	Colombia, Brasil	Newton <i>et al.</i> (2005), Mise <i>et al.</i> (2007)	<i>Sus scrofa</i>	Sin información	Putrefacción (Mise <i>et al.</i> , 2007).	-	-
<i>Echiaster</i> sp.	Colombia, Brasil	Newton <i>et al.</i> (2005), Mise <i>et al.</i> (2007)	<i>Sus scrofa</i>	Sin información	Putrefacción (Mise <i>et al.</i> , 2007).	-	-
<i>Quadius</i> sp.	Colombia, Brasil	Newton <i>et al.</i> (2005), Mise <i>et al.</i> (2007)	<i>Sus scrofa</i>	Sin información	Putrefacción y putrefacción avanzada (Mise <i>et al.</i> , 2007).	-	-
<i>Lissohypnus</i> sp.	Colombia, Brasil	Newton <i>et al.</i> (2005), Mise <i>et al.</i> (2007)	<i>Sus scrofa</i>	Sin información	Fermentación butírica (Mise <i>et al.</i> , 2007).	-	-
<i>Lepitacnus</i> sp.	Brasil	Mise <i>et al.</i> (2007)	<i>Sus scrofa</i>	Sin información	Fermentación butírica (Mise <i>et al.</i> , 2007).	-	-
<i>Nacaeus</i> sp.	Brasil	Newton <i>et al.</i> (2005), Mise <i>et al.</i> (2007)	<i>Sus scrofa</i>	Sin información	Putrefacción y fermentación butírica (Mise <i>et al.</i> , 2007).	-	-
<i>Carpelinus</i> sp.	Brasil	Mise <i>et al.</i> (2007)	<i>Sus scrofa</i>	Sin información	No se especifica la fase de descomposición en que se recolectó (Mise <i>et al.</i> , 2007).	-	-
<i>Eulissus</i> sp.	Brasil	Newton <i>et al.</i> (2005), Mise <i>et al.</i> (2007)	<i>Sus scrofa</i>	Sin información	Fermentación butírica (Mise <i>et al.</i> , 2007).	-	-
<i>Clea</i> sp.	Brasil	Newton <i>et al.</i> (2005), Mise <i>et al.</i> (2007)	<i>Sus scrofa</i>	Sin información	Fermentación butírica (Mise <i>et al.</i> , 2007).	-	-
<i>Heterotops</i> sp.	Brasil	Mise <i>et al.</i> (2007)	<i>Sus scrofa</i>	Sin información	Putrefacción (Mise <i>et al.</i> , 2007).	-	-
<i>Thoracophorus</i> sp.	Brasil	Newton <i>et al.</i> (2005), Mise <i>et al.</i> (2007)	<i>Sus scrofa</i>	Sin información	No se especifica la fase de descomposición en que se recolectó (Mise <i>et al.</i> , 2007).	-	-
<i>Lithocaris</i> sp.	Puerto Rico	Guarín (2005)	<i>Sus scrofa</i>	Depredador	Esqueletización (Guarín, 2005).	-	-
<i>Xantholinus</i> sp.	Colombia, Puerto Rico	Newton <i>et al.</i> (2005), Guarín (2005)	<i>Sus scrofa</i>	Depredador	Activo avanzada, esqueletización (Guarín, 2005).	-	-
<i>Anotylus insignitus</i>	Colombia, Puerto Rico	Newton <i>et al.</i> (2005), Guarín (2005)	<i>Sus scrofa</i>	Depredador	Esqueletización (Guarín, 2005).	-	-
<i>Philonthus hepaticus</i>	Colombia, Puerto Rico, Cuba	Newton <i>et al.</i> (2005), Guarín (2005), Naranjo <i>et al.</i> (2009)	<i>Sus scrofa</i>	Depredador	Activo avanzado (Guarín, 2005).	-	-
<i>Eulissus chilibaëus</i>	Brasil	Souza y Linhares (1997)	<i>Sus scrofa</i>	Depredador	Compara diferencias entre las estaciones del año y sucesión entomológica (Souza y Linhares, 1997).	-	-

Tabla 2. Staphylinidae reportados hasta el taxón de familia en investigaciones de interés forense en el Neotrópico.

País	Ciudad	Sustrato	Investigación
Colombia	Nariño	<i>Sus scrofa</i>	Salazar-Ortega (2008)
	Bogotá	<i>Sus scrofa</i>	Segura <i>et al.</i> (2009)
	Cundinamarca	<i>Sus scrofa</i>	Mendoza (2006)
	Bogotá	<i>Sus scrofa</i>	Jiménez y Latorre (2003)
	Bogotá	<i>Sus scrofa</i>	Camacho (2005)
	Bogotá	<i>Sus scrofa</i>	Aguirre <i>et al.</i> (2010)
	Medellín	<i>Sus scrofa</i>	Uribe (2000)
	Cali	<i>Canis sp.</i>	Olaya (2001)
	Manizales	<i>Sus scrofa</i>	Cifuentes <i>et al.</i> (2009)
México		<i>Sus scrofa</i>	Martínez <i>et al.</i> (2009)
Brasil		<i>Sus scrofa</i>	Carvalho <i>et al.</i> (2004)
		<i>Sus scrofa</i>	Mise <i>et al.</i> (2008)
		<i>Sus scrofa</i>	Moura <i>et al.</i> (1997)
		<i>Sus scrofa</i>	Carvalho <i>et al.</i> (2000)
Venezuela		<i>Rattus norvegicus</i> ,	Velásquez (2008)
		<i>Sprague-Dowley</i>	Liria (2006)

Referencias Bibliográficas

- ABALLAY, F.; MURÚA, A.; ACOSTA, J.; CENTENO, N. 2008. Primer registro de artropodofauna cadavérica en sustratos humanos y animales en San Juan, Argentina. *Rev. Soc. Entomol. Argent* 67 (3-4): 157-163.
- AGUIRRE, P.; SABOGAL, A. y MENDOZA, J. 2010. Caracterización de la entomofauna cadavérica en cerdo desmembrado (*Sus scrofa*) provisto de prendas (Sibaté, Cundinamarca). Resúmenes XXXVII Congreso Sociedad Colombiana de Entomología. SOCOLEN. Sección Entomología Forense. 187-189 p.
- ALMEIDA, L.; MISE, K. 2009. Diagnosis and key of the main families and species of South American Coleoptera of forensic importance. En: *Revista brasileira de Entomología* 53 (2): 227.
- ANDERSON, J.; VANLAERHOVEN, S. 1996. Initial Studies on Insect Succession on Carrion in Southwestern British Columbia *Journal. Forensic Science* 41 (4): 617-625.
- ASENJO, A. 2009. Lista de los Géneros en América Latina presentes en la clave de Navarrete *et al.* 2002 Staphylinidae: Coleoptera http://museohn.unmsm.edu.pe/divisiones/zoologia/entomologia/web_staphy/staphy_latinoamerica.

html. Fecha último acceso: [16 mayo 2011].

- ASHE, J. 2006. Family Staphylinidae (Coleoptera). [base de datos en línea]. Sharkey, M. J. Colombian Species. <http://www.sharkeylab.org/biodiversity/db.php?app=colombia&function=taxa&mode=family&name=Staphylinidae>. Fecha último acceso: [16 mayo 2011].
- AVENDAÑO, J.; GARCÍA, A. 2010. Contribución al estudio de los Staphylinidae (Coleoptera) de la Reserva Lourdes, Bojacá (Cundinamarca, Colombia). Resúmenes XXXVII Congreso Sociedad Colombiana de Entomología. SOCOLEN. Sección Biodiversidad, Ecología y Conservación. 1 - 43 p
- BERMÚDEZ, C. 2005. Variación de la diversidad de hormigas cazadoras y coleópteros estafilínidos entre elementos del paisaje del Bosque Seco Tropical del Valle Geográfico del río Cauca, Colombia. Memorias. V Coloquio de Insectos Sociales IUSI. Sección Bolivariana 1.; 98p.
- BERNAL, R.; ERVIK, F. 1996 Floral Biology and pollination of the Dioecious Palm (*Phytelephassemannii*) in Colombia: An adaptation to Staphylinid Beetles. *Biotropica*. 28 (4): Part B. 682-696.
- BLACKWELDER, R. 1944. *Checklist of the Coleopterous insects of Mexico, Central America, the west Indies and South Arnerica*. Partel. En: *Bulletin of the United States National Museum*. No. 185, pl-Xli+ 1-88.
- BLACKWELDER, R. 1973. Checklist of Scaphidiidae of Canada, United States, México, Central América and the West Indies. North American Beetle Fauna Project, Family No. 24 (Red Version). Biological Research Institute of America, Inc., Latham, New York. 3 p.
- BOHAC, J. 1999. Staphylinidae beetles as bioindicators. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 74: 357 - 372.
- BUENAVENTURA, E.; CIFUENTES, E. 2010. Insectos (Diptera, Coleoptera, Hymenoptera) presentes en cadáveres en el Neotrópico: aspectos ecológicos y taxonómicos. *Revista de Sociedad Colombiana de Entomología: Memorias XXXVII CONGRESO. Simposio Entomología Forense*. 219-234 p.
- CAMACHO, G. 2005. Sucesión de la entomofauna cadavérica y ciclo vital de Calliphoravicina (Diptera: Calliphoridae) como primera especie colonizadora, utilizando cerdo blanco (*Sus scrofa*) en Bogotá. *Revista Colombiana de Entomología* 31 (2): 189-197.
- CARVALHO, L.; THYSSEN, P.; GOFF, M.; LINHARES, A. X. 2004. Observations on the Succession Patterns of Necrophagous Insects on a Pig Carcass in an Urban Area of Southeastern Brazil *Journal of Forensic Medicine and Toxicology* 5 (1): 33-39.
- CARVALHO, L.; THYSSEN, P.; LINHARES, A.; PALHARES, F. 2000. A checklist of arthropods associated with pig carrion and human corpses in southeastern Brazil. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*. 95 (1): 135-138.
- 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* 3297: 1-8.

- CHANI-POSSE, M. 2004. Eight Argentinean species of Dung-Inhabiting *Philonthus stephens* (Coleoptera: Staphylinidae). *Studies on Neotropical Fauna and Environment*. 39 (3): 217-232.
- 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.
- ERICHSON, W. F. 1840. *Genera et species Staphylinorum insectorum coleopterorum familiae*. 1: 401-954. Berlin: F. H. Morin.
- 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.
- GARCÍA, A. 2004. Estudio de la sucesión de insectos en cadáveres en Alcalá de Henares (Comunidad Autónoma de Madrid) utilizando cerdos domésticos como modelos animales. *Boln. S.E.A.* 34: 263 - 269.
- GARCÍA, R. y ULLOA-CHACÓN, P. 2005. Estafilínidos (Coleoptera: Staphylinidae) en fragmentos de bosque seco del valle geográfico del río Cauca. *Revista Colombiana de Entomología* 31(1): 43 - 50.
- GARCÍA, R.; ARMBRECHT, I. y ULLOA-CHACÓN, P. 2001. Staphylinidae (Coleoptera): Composición y Mirmecofilia en Bosques Secos Relictuales de Colombia. *Folia Entomológica Mexicana* 40 (1): 1 - 10.
- GILL, G. 2005. Decomposition and Arthropod Sucesión on Above Ground Pig Carrion in Rural Manizales. *Canadian Police Research Centre*.
- GOFF, M. 1991. Comparison of Insect Species Associated with Decomposing Remains Recovered Inside Dwellings and Outdoors on the Island of Oahu, Hawaii. *Journal of Forensic Sciences* 36: 748-753.
- GOFF, M. 2002. El testimonio de las moscas: cómo los insectos ayudan a resolver crímenes. Alba Editorial, España. 267 p.
- GOMES, L.; VON ZUBEN, C. J. 2006. Forensic Entomology and Main Challenges in Brazil. *Neotropical Entomology* 35 (1):1-011.
- GREBENNIKOV, V.; NEWTON, A. 2009 Good-bye Scydmaenidae, or why the ant-like stone beetles should become megadiverse Staphylinidae sensulattissimo (Coleoptera). En: *Eur. J. Entomol* 106: 275-301.
- GUARÍN, E. 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 sometida en cumplimiento parcial de los requisitos para el grado de Maestro en Ciencias en Biología, Universidad de Puerto Rico Recinto Universitario de Mayagüez. 136 p.
- GUTIÉRREZ CHACÓN, C. 2003. Composición de estafilínidos (Coleoptera: Staphylinidae) asociados a hojarasca en tres localidades de la Cordillera Oriental, Colombia. Cali. Tesis (Bióloga). Universidad del Valle. Departamento de Biología.

- GUTIÉRREZ-CHACÓN, C. y ULLOA-CHACÓN, P. 2006. Composición de Estafilínidos (Coleoptera: Staphylinidae) Asociados a Hojarasca en la Cordillera Oriental de Colombia. *Folia Entomológica México* 45 (2): 69-81.
- GUTIÉRREZ-CHACÓN, C.; ZÚÑIGA, M. y CHARÁ, J. 2006. Ecología de Staphylinidae (Insecta: Coleoptera) asociada con el microhábitat y la calidad ambiental en cuerpos de agua lóticos. En: ANDRADE-C., Gonzalo M.; AGUIRRE, Jaime y RODRÍGUEZ-MAHECHA, José Vicente. Segundo congreso colombiano de zoología. Libro de resúmenes. Bogotá: Panamericana Formas e Impresos, 2006. 572 p.
- HERMAN, L. 2001. Catalog of the Staphylinidae (Insecta: Coleoptera). 1758 to the end of Second Millennium. New York: American Museum of Natural History. 7v, 4218 p. (BULLETIN OF THE AMERICAN MUSEUM OF NATURAL HISTORY. no. 265).
- JIMÉNEZ, 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.
- KLIMASZEWSKI, J. 1984. A revision of the genus *Aleochara* Gravenhorst of America north of Mexico (Coleoptera: Staphylinidae: Aleocharinae. Mem. Entomol. Soc. Can. 129: 211
- LIRIA, J. 2006. Insectos de importancia forense en cadáveres de ratas, Carabobo - Venezuela. *Rev. Peru. Med. Exp. Salud Pública* 23: 33-38.
- LUEDERWALDT, G. 1911. Os insectos necrophagos paulistas. *Rev. Mus. Paulista* 8: 414-433.
- MAGAÑA, C. 2001 La entomología forense y su aplicación a la medicina legal, Data de la muerte. *Bol. S. E. A.* 28: 49-57.
- MARTÍNEZ R., H.; JARAMILLO J., F.; ESCOTO R., J.; RODRÍGUEZ V., M.; POSADAS R., F.; MEDINA R., I. 2009. Estudio comparativo preliminar de la sucesión de insectos necrófagos en *Sus scrofa* intoxicado con paratión metílico, en tres periodos estacionales. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas* 40 (3): 5-10.
- MARTÍNEZ, E; DUQUE P.; WOLFF, M. 2007. Succession pattern of carrion feeding insects in Paramo, Colombia. *Forensic Science International* 166: 182-189.
- MATUSZEWSKI, S.; BAJERLEIN, D.; KONWERSKI, S.; SZPILA, K. 2009. Insect succession and carrion decomposition in selected forests of Central Europe. Part 2: Composition and residency patterns of carrion fauna. *Foren SciInt* 195 (1-3): 42-51.
- MÉNDEZ, D.; LÓPEZ, M.; GARCÍA, R. 2009 Diversidad de escarabajos (Coleoptera, Staphylinidae) en dos localidades del departamento del Quindío. *Bol. Cient. Mus. His. Nat.* 13 (2): 148 - 156.
- 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.; DE ALMEIDA L.; MOURA M.O. 2007. Levantamento da fauna de Coleoptera que habita a carcaça de *Sus scrofa* L., em Curitiba, Paraná. *Revista Brasileira de Entomologia* 51(3): 358-368.
- MISE, K.; MARTINS, C.; KÖB, E.; ALMEIDA, L. 2008. Longer decomposition process and the influence on Coleoptera fauna associated with carcasses. *Braz. J. Biol.* 68 (4): 907-908.
- MISE, K.M.; SOUZA, A.S.B.; CAMPOS, C.M.; KEPPLER, R.L.F.; ALMEIDA, L.M. 2010. Coleoptera associated with pig carcass exposed in a forest reserve, Manaus, Amazonas, Brazil. *Biota Neotrop.* 10 (1): <http://www.biotaneotropica.org.br/v10n1/en/abstract?inventory+bn03110012010>. Fecha último acceso: [24 mayo 2011].
- MOORE, I.; LEGNER, E. F. 1975. A catalogue of the Staphylinidae of America north of México (Coleoptera). *Div. Agric. Sci., Univ. of Calif. Special Publ.* 3015: 514 pp.
- 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.
- NARANJO, C.; CRUZ, Y.; MAYEA, Y. 2009. Artrópodos presentes en la putrefacción de cadáveres de cerdos (*Sus scrofa*) en Santiago de Cuba, Cuba. *Boletín de la SEA* (44): 441-447.
- NAVARRETE-HEREDIA, J.L.; NEWTON, A.; THAYER, M.; ASHE, J.; CHANDLER, D. 2002. Guía ilustrada para los géneros de Staphylinidae (Coleoptera) de México. Illustrated guide to the genera of Staphylinidae (Coleoptera) of México. Guadalajara: Universidad de Guadalajara y CONABIO. 401 p.
- NEWTON, A.; THAYER, M.; ASHE, J.; CHANDLER, D. Staphylinidae. 2000. En: ARNETT, R.; THOMAS, M. 2000. *American Beetles: Archostemata, Myxophaga, Adepaga, Polyphaga: Staphyliniformia*. Washington, D.C. 1: 273 - 416.
- NEWTON, A.F.; GUTIÉRREZ-CHACÓN, C. y Chandler, D. 2005. Checklist of the Staphylinidae (Coleoptera) of Colombia. *Biota Colombiana* 6 (1): 1 - 172.
- OLAYA, L.A. 2001. Entomofauna sucesional en el cadáver de un cánido en condiciones de campo en la Universidad del Valle (Cali-Colombia). *Cuadernos de Medicina Forense* Nº 23. 14 p.
- 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 7 (2): 13-59.
- OZDEMIR, S.; SERT, O. 2009. Determination of Coleoptera fauna on carcasses in Ankara province, Turkey. *Forensic Science International* (183): 24-32.
- PÉREZ, S.; 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.
- PESCHKE, K.; D. FULDNER. 1977. Uebersicht und neue

- Untersuchungen zur Lebensweise der parasitoiden Aleocharinae (Coleoptera: Staphylinidae). Zool. Jb. Syst. 104: 242-262.
- PRADO, C.; DOLORES, M.; SERRANO, A.; GAMARRA, P.; OUTERELO, R. 2010. Staphylinid forensic communities from Lisbon with new records for Portugal (Coleoptera: Staphylinidae). Boln. Asoc. Esp. Ent. 34 (1-2): 87-98.
- RODRÍGUEZ, L.; RODRÍGUEZ, Y. 2010. Estudio preliminar de escarabajos Staphylinidae (Coleoptera) presentes en diferentes zonas climáticas de Bogotá (Colombia). Resúmenes XXXVII Congreso Sociedad Colombiana de Entomología. SOCOLEN. Sección Biodiversidad, Ecología y Conservación. 1 - 43 p.
- SALAZAR-ORTEGA, J. 2008. Estudio de entomofauna sucesional asociada a descomposición (*Sus scrofa*) en condiciones de campo. Universitas Scientiarum 13 (1): 21-32.
- SANABRIA, C; ARMBRECHT, I. y GUTIÉRREZ-CHACÓN, C. 2008. Diversidad de estafilínidos (Coleoptera: Staphylinidae) en cinco sistemas productivos de los Andes Colombianos. Revista Colombiana de Entomología 34 (2): 217 - 223.
- 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.
- SHARANOWSKI, B.; WALKER, E.; ANDERSON, G. 2008. Insect succession and decomposition patterns on shaded and sunlit carrion in Saskatchewan in three different seasons. Forensic Science International 179: 219-240.
- SHARP, D. 1876. Contributions to an insect fauna of the Amazon Valley. Coleoptera-Staphylinidae. Transactions of the Entomological Society of London. p. 27 - 424.
- SHARP, D. 1882-1887 Biología Centrali - Americana: Insecta. Coleoptera. vol. I. Part. 2. 886 p.
- SILVA, D.; NAVARRETE-HEREDIA, J. 2010. Diversidad de estafilínidos (Coleoptera: Staphylinidae) asociados a tres ambientes en el Santuario de Fauna y Flora Guanenta Alto Río Fonce, Andes Colombianos. Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas: Memorias XLV Congreso Nacional de Ciencias Biológicas. Sección Ecología y Ciencias Ambientales. 85 - 111 p.
- SMETANA, A. 1995. Rove beetles of the subtribe Philonthina of America north of Mexico (Coleoptera: Staphylinidae): Classification, phylogeny and taxonomic revision. *Mem Entomol Int* 3: 1-946.
- SMETANA, A.; DAVIES, A. 2000. Reclassification of the north temperate taxa associated with *Staphylinus sensu lato*, including comments on relevant subtribes of Staphylinini (Coleoptera: Staphylinidae). *American Museum Novitates* 3287:1-88.
- SMITH, K. 1986. A manual of Forensic Entomology. London: British Museum (Natural History). p 13.
- SOUZA, A.; LINHARES, A. 1997. Diptera and Coleoptera of potential forensic importance in southeastern Brazil: relative abundance and seasonality. *Medical and Veterinary Entomology* 11: 8-12.
- TABOR, K.; FELL, R.; BREWSTER, C. 2005. Insect fauna visiting carrion in

Southwest Virginia. Forensic Science International 150: 73-80.

TURCHETTO, M.; LAFISCA, S.; COSTANTINI, G. 2001. Postmortem interval (PMI) determined by study sarcophagousbiocenoses: thee cases from the province of Venice (Italy). Forensic Science International 120: 73-80.

URIBE, A. 2000. Sucesión de insectos carroñeros en cerdo blanco (*Sus scrofa*) en Medellín - Colombia. Tesis para optar el título de Biólogo, Universidad de Antioquia. 22 p.

VÁSQUEZ-VÉLEZ, L.; BERMÚDEZ, C.; CHACÓN, P. y LOZANO-ZAMBRANO, F. 2010 Analysis of the richness of Staphylinidae (Coleoptera) on different scales of a sub-Andean rural landscape in Colombia. En: Biodivers Conserv DOI 10.1007/s10531-010-9812-2. p. 1 - 15.

VELÁSQUEZ, Y. 2008. A checklist of arthropods associated with rat carrion in a montane locality of northern Venezuela. Forensic Science International 174: 67-69.

VOSS, S.; SPAFFORD, H.; DADOUR, I. 2009. Annual and seasonal patterns of insect succession on decomposing remains at two locations in Western Australia, Forensic Sci. Int. 193: 26-36.

WANG, J.; LI, Z.; CHEN, Y.; CHEN, Q., YIN, X. 2008. The succession and development of insects on pig carcasses and their significances in estimating PMI in south China. Forensic Science International 179: 11-18.

WOLFF, M.; URIBE, A.; ORTIZ, A.; DUQUE, P. 2001. A preliminary study of forensic entomology in Medellín, Colombia. Forensic Science International 3058: 1-7.



Simpósios

**Bioindicadores de calidad ambiental
y cambio climático**

BIOINDICADORES DE CALIDAD AMBIENTAL Y CAMBIO CLIMÁTICO

Coordinador: Dra. Lucimar Gomes Dias.
Universidad de Caldas.

Entomofauna na avaliação ambiental: potencialidade ou utopia?

Paulo Sérgio Fiuza Ferreira

Departamento de Biología Animal, Programa de pós-graduação em Entomologia, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil.
pfiuza@ufv.br

O estudo da entomofauna tem sido negligenciado pela maioria das organizações que lidam com planos de manejo e avaliações ambientais. Os insetos estão geralmente ausentes nos grupos temáticos faunísticos que dão ênfases aos vertebrados ameaçados de extinção. No entanto, os insetos trazem consigo os melhores atributos biológicos para uma avaliação ambiental: riqueza de espécies, elevada densidade populacional, adaptabilidade a imenso número de habitats, capacidade de dispersão, seleção de habitats, seleção de hospedeiros e resposta rápida as mudanças na composição ou alterações de um habitat (Boero, 2010; Dourojeanni, 2008, Grimaldi & Engel, 2005). Os insetos também assumem papéis importantes nos ciclos geoquímicos (Favero & Oliveira 2011), na variabilidade e seletividade genética da fauna e flora, controle biológico, fonte alimentar e forésia (Wheeler, 2008).

A rara participação dos insetos nos planos de manejo se deve principalmente a espantosa diversidade dos insetos em contraste com o número precário e em declínio de taxonomistas e o desapoio que recebem em seus trabalhos de

pesquisas (Boero, 2010, Wheeler, 2008, Walter & Winterton, 2007). Além do mais, os insuficientes recursos financeiros tem sido os maiores obstáculos para projetos de avaliação ambiental que promovem informações e tecnologia a serviços da taxonomia. Sendo a ameaça de extinção de espécies um atributo primordial para o estabelecimento de planos de proteção ambiental, o fator principal que leva os insetos à extinção é a destruição dos ecossistemas e habitats (Dourojeanni, 2008). Assim são extintos insetos especialistas de micro habitats, de plantas hospedeiras, a co-extinção de insetos interdependentes (parasitos e parasitóides), a contaminação ambiental com agrotóxicos, as mudanças climáticas, entre outros (Dourojeanni, 2008). Os dados da UICN (União Internacional para a Conservação da Natureza) registram dezenas de extinções de insetos com algumas centenas de espécies ameaçadas, numa lista de centenas de extinções e milhares de espécies ameaçadas de outros taxa e com muito menos diversidade (IUCN, 2010). Estes fatos confirmam a falta e a necessidade urgente de se formar mais taxonomistas de insetos em todo mundo (Samways, 2005).

A avaliação ecológica rápida (AER) utilizada nos planos de manejo ambiental tem sido conceituada como uma ferramenta de apoio à tomada de decisão para a conservação de grandes áreas, resultando na caracterização mapeada e documentada de unidades classificadas da paisagem e na descrição da biodiversidade destas unidades em nível de espécie. Na realidade a AER tem sido uma alternativa criada pelos insuficientes recursos financeiros fornecidos aos projetos de avaliação ambiental. Assim a AER se torna uma visão "fotográfica" da entomofauna num determinado tempo e espaço. A entomofauna vem sendo avaliada através de grupos-alvo, ou seja, aqueles grupos taxonômicos melhor estudados por considerações práticas e financeiras (Braga *et al.*, 2010, Morato *et al.*, 2008). No entanto, o lado positivo da AER pode fornecer dados, tais como: produção de uma lista incompleta de espécies dos grupos-alvo; a presença de espécies raras e ameaçadas de extinção; novos registros de distribuição geográfica; descoberta de novas espécies, descoberta de novas plantas hospedeiras, presas e parasitóides; riqueza de espécies num

determinado tipo vegetacional; aparentes similaridades e dissimilaridades entre ecossistemas (Favero & Oliveira 2011, Morato *et al.*, 2008, Viana & Pinheiro, 1998).

Este "retrato" entomofaunístico pode fornecer subsídios para propostas de classificação de áreas numa reserva natural. Propor projetos sobre processos ecológicos para alarme e monitoramento, por exemplo: avaliar impactos ambientais, efeitos de fragmentação florestal (Viana & Pinheiro 1998), invasões de espécies exóticas, ameaças de extinção de espécies, expansão de insetos vetores e pragas em potencial, degradação da qualidade de recursos hídricos, qualidade e oferta de insetos como fonte alimentar. A entomofauna tem sua importância vital contribuindo com outros grupos temáticos para tomadas de decisões em plano de manejo ambiental. No entanto, precisa de mais taxonomistas para um conhecimento maior e mais rápido sobre a biodiversidade do planeta e como os insetos agem na dinâmica e sustentabilidade dos ecossistemas.

Referencias Bibliográficas

BOERO, F. 2010. The study of species in the era of biodiversity: a tale of stupidity. *Diversity* 2: 115-126.

BRAGA, D. L.; LOUZADA, J. N. C.; ZANETTI, R. & DELABIE, J. 2010. Avaliação rápida da diversidade de formigas em sistemas de uso do solo no sul da Bahia. *Neotropical entomology* 39 (4): 464-469.

DOUROJEANNI, M. 2008. Insetos e Meio Ambiente. *O Eco*. (<http://www.oeco.com.br/marc-dourojeanni/16433-oeco27156>)

FAVERO, S.; SOUZA, H. A. & OLIVEIRA, A.K.M. 2011. Coleoptera (Insecta) as forest fragmentation indicators in the Rio Negro sub-region of the Pantanal, Mato Grosso do Sul, Brazil: 291-295. In: ALHO, C. J. R. *et al.*, (Eds.). *The Pantanal. Brazilian Journal of Biology* 71 (1) (suppl.), 124p.

GRIMALDI, D. & ENGEL, M. S. 2005. *Evolution of the Insects*. New York, Cambridge University Press, USA. 770p.

IUCN 2010. *The IUCN Red List of Threatened Species* <http://www.iucnredlist.org/apps/redlist/search>

- MORATO, E. F.; AMARANTE, S. T.; SILVEIRA, O. T. 2008. Avaliação ecológica rápida da fauna de vespas (Hymenoptera: Aculeata) do Parque Nacional da Serra do Divisor, Acre, Brasil. *Acta Amazonica* 38(4): 789 – 798.
- SAMWAYS, M. J. 2005. *Insect Diversity Conservation*. New York, Cambridge University Press, USA. 357p.
- VIANA, V.M. & PINHEIRO, L. A. F. V. 1998. Conservação da biodiversidade em fragmentos florestais. *IPEF* 12(32): 25-42.
- WALTER, D. E. & WINTERTON, S. 2007. Keys and the Crisis in Taxonomy: Extinction or Reinvention? *Annual Review of Entomology* 52:193–208.
- WHEELER, Q. D. 2008. *The New Taxonomy*. The Systematics Association Special Volumes Series 76. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, USA. 237 p.

Una propuesta metodológica para el uso de las mariposas como indicadores de cambio climático

Giovanny Fagua¹

M.Sc. Laboratorio de Entomología, Pontificia Universidad Javeriana.
fagua@javeriana.edu.co

Resumen:

Con base en la experiencia obtenida en proyectos realizados sobre el flanco oriental de la Cordillera Oriental en los que se encontró una zonificación latitudinal y altitudinal de las mariposas de hábitats poco intervenidos, se propone un programa de monitoreo con el objeto de detectar variaciones en los patrones de distribución de las comunidades de mariposas asociables a cambio climático global. La propuesta incluye la toma de muestras al menos cuatro veces al año, por un periodo superior a los 5 años, en 13 gradientes altitudinales del país. De acuerdo a la experiencia obtenida, se propone delimitar en cada gradiente estaciones altitudinales de muestreo cada 200-250 m a partir de los 400 m de altitud hasta la máxima elevación posible. Lo ideal es que se incluya hábitats de páramo y en lo posible el gradiente bosque húmedo-submontano-montano-páramo. En cada estación se deben realizar muestreos en al menos 8 parcelas de longitud definida (10x100 m), cada una muestreada durante 30 minutos en un recorrido unidireccional. Los recorridos se deben realizar durante un mínimo de 20 h sin lluvia entre las 8 y las 16 h. El muestreo por estación debe ser complementado con un transecto adicional de 250 m con 6 trampas Van Someren-Rydon separadas 50 m entre sí. La propuesta requeriría de un esfuerzo interinstitucional dada la magnitud de la toma de datos y el análisis de la información. Esta información debe ser contrastada con lo que se encuentre depositado en colecciones.

Palabras clave: Bioindicadores, calentamiento global, Andes Colombianos, alta montaña tropical.

Abstract

From the experience gained from projects carried out on the eastern slope of the "Cordillera Oriental", where both latitudinal and altitudinal stratification of butterfly communities in habitats with little human intervention were observed, this paper proposes a monitoring program with the object of detecting variations in the distribution pattern of butterfly communities associated with global warming. The proposal includes monitoring four times a year for a period of at least 5 years, in 13 altitudinal gradients in Colombia. Based on previous experience, we propose defining altitudinal stations each 200-250 m on the gradient starting at 400 m of altitude and finishing at the highest elevation possible. Each gradient should include paramo habitats and, if possible, a gradient including humid forest-submontane-montane-paramo. In each station samplings will be taken from 8 or more defined longitude plots (10x100 m); each plot will be sampled for 30 minutes in one directional trip. These trips will take a minimum total time of 20 h (without rain) for 8 to 16 h a day. The sampling by station will be complemented with an additional transect of 250 m with 6 Van Someren-Rydon traps, set 50 m apart. The proposal will require inter-institutional collaboration because of the magnitude of sampling and the information analysis that follows to contrast the samples taken

with specimens previously deposited in various biological collections.

Key words: Bioindicators, global warming, Colombian Andes, tropical high land.

Introducción

A partir del surgimiento de la vida en la tierra, nuestro planeta ha sufrido grandes variaciones climáticas a lo largo de su historia. Algunas de estas fueron tan drásticas que incluso la posibilidad misma de la permanencia de la vida fue puesta a prueba. Estas variaciones han ido desde el extremo frío de la "bola de nieve" (snowball earth) en la que se convirtió el planeta durante el periodo criogénico, hace 750 millones de años (Kirschvink, 1992; Hoffman *et al.*, 1998), hasta una recreación de lo que pudo ser el infierno, hace 251 millones de años, en la transición del Pérmico al Triásico (Benton y Twitchett, 2003), el mayor evento de extinción masiva registrado.

En los dos casos la concentración de gases de invernadero en la atmosfera fue, en teoría, decisiva. Bien por la reducción en su concentración producto de la meteorización del suelo, que iniciaría la edad del congelamiento (Jacobsen, 2001; Hoffman, 2005), o bien por su incremento principalmente a partir de actividad volcánica, que subiría hasta 8°C. la temperatura media del planeta al final del Pérmico (McElwain y Punyasena, 2007).

Las fluctuaciones de la temperatura global asociadas a la variación en la concentración de los gases de invernadero han sido una constante en la historia geológica del planeta. A lo largo del terciario, que inició hace 65 millones de años, la concentración de CO₂ declinó desde las 2.000 ppm en su inicio hasta cerca de 300 ppm en el cuaternario

(hace algo más de un millón de años; Uriarte Cantolla, 2003). El efecto de este descenso de CO₂ sobre el clima de la tierra fue inmenso, esto significó pasar de un planeta sin casquetes polares y con palmeras y cocodrilos en las costas siberianas (durante el Paleoceno y Eoceno) a la biota de las glaciaciones, con mamuts y rinocerontes lanudos, que alcanzó su mínimo de frío hace unos dos millones de años (Uriarte Cantolla, 2003).

La aparición de los casquetes polares recientes se inició en el oligoceno (hace 35 millones de años) y su extensión se incrementó paulatinamente con la disminución del CO₂ y de la temperatura del planeta (Pearson y Palmer, 2000). Esta variación, no obstante, no ha seguido un comportamiento lineal, sino que ha tenido variaciones abruptas con picos y bajas severos. Estas variaciones en temperatura y superficie de los glaciares no solo modifican las capas de hielo, también afectan el nivel de los mares, ya que parte del agua que llena los océanos queda atrapada en los glaciares en las épocas de frío y es liberada en las épocas cálidas. El nivel del mar ha estado fluctuando desde más de 100 metros por debajo del nivel actual, en las fases de máxima expansión de los glaciares, hasta 30 m por encima del nivel actual, en las fases más cálidas de los últimos cuatro millones de años (Uriarte Cantolla, 2003).

¿Cómo nos afecta esto? En mucho. Simplemente al mirar un mapa de Colombia nos damos cuenta que el incremento en el nivel del mar en unos 20 metros transformaría el centro de la Costa Atlántica en un inmenso lago salado y perderíamos la mayoría de la Guajira. La costa entera sería un archipiélago de islas separadas por un mar somero que penetraría varios kilómetros. A esto debemos sumar el que el clima pasaría de ser realmente "benigno", como el actual, a un escenario

en donde se alternarían ciclos de lluvias torrenciales con ciclos de extrema sequía. El fenómeno del niño sería la norma, no la excepción, y las tormentas adquirirían dimensiones gigantescas y serían mucho más frecuentes. Algunos valles secos interandinos y paramos se transformarían en desiertos, otros páramos muy probablemente desaparecerían. Y a la zona tropical americana le irá bien, las consecuencias para las áreas cercanas a los 30° de latitud podrían ser mucho peores (Lu *et al.*, 2008).

Esta situación será una realidad cuando la temperatura media del planeta suba unos cuantos grados, quizás solo cinco, por encima de la actual. A la tasa de incremento de este siglo, esto sucederá en 100 años (NAS, 2008). El calentamiento global es real: aunque con un comportamiento errático, la temperatura promedio del planeta ha subido más de 0,6° C. desde 1980 (NAS, 2008), mientras que el océano habría subido su nivel unos 20 cm en los mismos 30 años (Douglas, 1997; Church y White, 2006; Domingues *et al.*, 2008; Grinsted *et al.*, 2009). Para el 2100 nuestros hijos estarán en terribles problemas.

La concentración de CO₂ atmosférico ha venido incrementando paulatinamente a partir del siglo XIX sin ninguna duda (NAS, 2008). La temperatura también y en este sentido, el escenario del cambio climático global ha pasado de ser una hipótesis de ficción a una realidad palpable e inquietante. Es algo que debemos prever y de ser posible corregir.

Independiente del trasfondo político y económico que ha querido manipular la información referente al grado de culpabilidad humana en el incremento de CO₂ y otros gases de efecto invernadero, tenemos una realidad y es que la temperatura del planeta ha subido, el nivel del mar también y el clima empieza

a ser distinto. Estamos enfrentados a este problema y las consecuencias que esto genere sobre la biota, nosotros incluidos, son desconocidas, pero con seguridad no serán benéficas para nuestro estilo de vida. Se hace necesario entonces definir sistemas de monitoreo eficientes que permitan medir como se está realizando este cambio y que tan rápido afecta la biota.

Una de las herramientas más adecuadas para este tipo de mediciones es el uso de organismos focales o grupos bioindicadores. Estos organismos son utilizados como una referencia descriptiva aplicable a la biota en general (Brown, 1991; Kremen *et al.*, 1993, Kremen, 1992; Fagua 1996; Villareal *et al.*, 2004). Dentro de los taxones definidos como grupos focales existen positivas experiencias con varios grupos de insectos, principalmente mariposas, hormigas y escarabajos (Brown, 1991, Kremen, 1992, 1992a; Kremen *et al.*, 1993, Villareal *et al.*, 2004; Pérez & Fagua, 2009). En el caso de las mariposas, existe además una solida base de estudios de biología, ciclos de desarrollo, distribución geográfica, además de tener una taxonomía comparativamente estable, ser de fácil identificación en campo y en laboratorio y de ser bastante fieles a los ecosistemas a los cuales están adaptadas (Brown, 1991; Kremen, 1994; Fagua, 1996; Fagua *et al.*, 1999).

Son además uno de los grupos de organismos con mayor número de registros y especímenes en colecciones biológicas y varios de sus taxones han sido producto precisamente de los procesos de variación climática ocurridos durante el terciario y su efecto sobre la distribución de ecosistemas (Adams, 1981; Peña & Wahlberg, 2008). Tienen en especial una muy bien definida distribución altitudinal (Adams y Bernard, 1977, 1979; Adams 1981, 1985, 1986; Fagua, 1999; Pyrcz

& Wojtusiak, 2002; Pérez, 2003; Camero *et al.*, 2007; Pyrcz *et al.*, 2009).

Los efectos de los cambios climáticos ya han sido registrados para diferentes especies de mariposas (McLaughlin *et al.*, 2002; Parmesan, 2003; 2007), así como el efecto los cambios en las poblaciones de insectos atribuidos al cambio climático tienen sobre los ecosistemas (Westwood & Blair, 2006). En este sentido, dos de las características principales de las mariposas: su "fidelidad" ecosistémica y su distribución particular en altitud y latitud, nos permite utilizarlas como instrumentos de aviso temprano de los cambios climáticos.

La propuesta que se presenta en este trabajo está basada en la información de distribución altitudinal obtenida a través de los proyectos

- Variación de la biodiversidad de mariposas y hormigas a lo largo de un gradiente altitudinal en la cuenca del Río Gazaunta (Cundinamarca). Fundación Nova Hylaea-FEN Colombia. 1995-1997.
- Caracterización de la biodiversidad en áreas prioritarias de la vertiente oriental de la Cordillera Oriental. Colciencias-IAvH. 1997-2000.
- Variación de las comunidades de mariposas, ortópteros, anuros y vegetación a lo largo de un gradiente altitudinal en el Santuario de Fauna y Flora Guanentá-Alto Río Fonce. Pontificia Universidad Javeriana. 2003-2005.
- Relaciones filogenéticas de especies colombianas del complejo *Pedaliodes* (Lepidoptera: Satyrinae, Pronophilini) con base en análisis morfológicos y moleculares. Colciencias-Pontificia Universidad Javeriana. 2004-2007.

Ante todo, la posibilidad de uso de las mariposas como indicadores de cambio

climático parte de la premisa de realizar muestreos comparables, en este sentido, el propósito de este trabajo es presentar una propuesta metodológica de colecta de la información en campo y su contraste con lo depositado en colecciones que permita la posterior comparación de datos independientemente del tipo de análisis numérico que se quiera hacer. La metodología acá propuesta está basada en la presentada en el "Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de Biodiversidad" de Villareal *et al.*, (2004).

Materiales y Métodos

Al utilizar las mariposas como indicadores de cambio climático la pregunta básica a contestar es ¿Cómo varían los patrones de distribución a medida que se incrementa o disminuye la temperatura?. En escala geológica, Adams (1985) introdujo un elegante modelo en el que propuso que la riqueza de Pronophilina andinos (Lepidoptera: Nymphalidae: Satyrinae) se debía a las sucesivas migraciones en altitud de los cinturones de vegetación montana de los ecosistemas andinos; estos ocasionados por los eventos de cambio climático global que produjeron las glaciaciones del pleistoceno, ocurridas cada 80 a 120 mil años (glaciaciones de Biber, Donau, Günz, Midel, Riss y Würn, esta última finalizada hace 12.000 años, Rial 1999). Esta explicación implica el aislamiento y posterior reunificación de las poblaciones de mariposas vinculadas a los cinturones de vegetación durante los picos de frío o calor de los periodos glaciales e interglaciares, resultando en procesos de especiación y radiación por aislamiento vertical (en altitud; Higuera, 2001; Galindo-Leva, 2006).

Justamente es esta estratificación altitudinal de las mariposas la que permite utilizarlas para medir el efecto del incremento de la temperatura global

sobre la biota. En principio, al calentarse el planeta, las franjas altitudinales de las comunidades de mariposas deben subir también. Si la temperatura disminuye las comunidades bajarán. Pero para poder medir esto se requiere de una metodología que tenga muestreos eficientes (en el sentido de incluir la mayor parte de las especies del sitio en los muestreos), frecuentes –cuatro por año- y, sobre todo, que tenga series de datos tomados en diferentes épocas, a lo largo de años, para poder tener certeza al atribuir los cambios en estratificación a eventos climáticos de cambio global y no a las migraciones altitudinales estacionales que se presentan en este tipo de organismos (Fagua, 1999; Erazo, 2008).

Para poder obtener esta información se requiere realizar los muestreos en elevaciones semejantes (estaciones altitudinales) en gradientes altitudinales que estén a latitudes también semejantes. Lo ideal es que los gradientes altitudinales estén sobre hábitats poco intervenidos de las tres cordilleras, esto con el fin de tener una mayor cantidad de especies endémicas y especialistas de ecosistemas, ya que la mayoría de las mariposas de áreas intervenidas son generalistas y tienen amplios rangos de distribución, algunos de estos continentales y que abarcan altitudes de los 0 a los 3.000 m.

La metodología que se propone al final del presente trabajo se basa en la utilizada para mariposas dentro de los proyectos "Variación de la biodiversidad de mariposas y hormigas a lo largo de un gradiente altitudinal en la cuenca del Río Gazaunta (Cundinamarca)" (Fagua, 1999) y "Caracterización de la biodiversidad en áreas prioritarias de la vertiente oriental de la Cordillera Oriental" (IAvH 2000, Fagua, 2000). El segundo proyecto contrastó la diversidad biológica en cotas altitudinales semejantes a

diferentes latitudes, esto para observar como variaba la distribución de la biota del flanco oriental de la Cordillera Oriental tanto altitudinal como latitudinalmente. Para esto se seleccionaron sitios distantes cada 2° de latitud empezando sobre el Ecuador (0° L.). El número de estaciones en cada sitio, así como su altitud, dependió básicamente de la presencia de bosques primarios o de sus fragmentos o remanentes (Tabla 1, Figura 1). Se realizó una salida a cada transecto, correspondiendo todas con períodos lluviosos de las 4 localidades (Medina: abril-1997, Picachos: noviembre-1997, Putumayo: Septiembre-1998 y Tamá: abril-1999; Tabla 1). Se definió como estación de muestreo a cada nivel altitudinal contemplado.

Para la captura de mariposas se realizaron observaciones y colectas durante dos días en cada estación de muestreo; para esto se recorrieron 8 transectos de longitud definida 100 m de longitud (parcela equivalente de 10 x 100 m) que fueron recorridos, cada transecto, durante 30 minutos en una sola dirección (Fagua 1999; Villareal *et al.*, 2004). Las observaciones se realizaron entre las 8:00 y las 16:00 h., en los que se realizaron capturas mediante jama e identificación mediante binoculares. En cada estación se completaron 16 horas de esfuerzo de captura en ausencia de lluvias, adicionando otras 4 horas para captura específica por fuera del transecto (en total 20 horas por estación). Se definió otro transecto de 250 m por estación en el que se colocaron seis trampas tipo Van Someren-Rydon, separadas cada 50 metros utilizando excremento humano como cebo. Las trampas permanecieron 48 h en cada sitio y fueron revisadas diariamente, anotando la especie y el número de los individuos capturados.

El material colectado está depositado en la colección del Museo Javeriano

de Historia Natural de la Pontificia Universidad Javeriana, Santafé de Bogotá, Colombia (MUJ). Se tabuló frecuencia de observación, abundancia y presencia-ausencia de especies por sitio de estudio. El grado de asociación entre el nivel altitudinal y el número de especies total, especies estimadas, especies por taxón e índices de diversidad y dominancia se estableció mediante coeficientes de correlación (Pearson). De las tablas de abundancia se obtuvieron los índices de Shannon-Weaver (heterogeneidad) y de Simpson (dominancia). Se comparó similaridad entre muestreos según coeficiente de Dice y se agruparon las matrices resultantes mediante UPGMA (NTSYS-PC Numerical Taxonomy and Multivariate Analysis System, Versión 1.7, 1992, Applied Biostatistics Inc.; ROHLF 1992) para obtener dendrogramas de similitud. A partir de la base de datos de abundancia se realizó un análisis mediante estimadores de riqueza (Chao 1, ICE y MMean), tratando cada recorrido de un transecto como unidad de muestra, e iterando cincuenta veces lo obtenido en los muestreos mediante el paquete EstimateS (versión, 1997). Esto con el fin de obtener una aproximación de la eficiencia y representatividad del muestreo.

Resultados y Discusión

La eficiencia de la colecta en transectos de longitud definida puede parecer en principio poco representativa. En especial cuando se acostumbra a hacer colectas Ad hoc., es decir, sin muestrear en un área definida, con tiempo regulado y colectando con el ánimo de capturar la mayor cantidad posible de especies confiando en la experiencia, poca o mucha, del colector. Sin embargo el trabajo en Flanco Oriental de la Cordillera Oriental es una buena muestra de la efectividad de la colecta en transectos de longitud definida, cuando esta se realiza

de manera sistemática y concienzuda. Para el caso, en los cuatro puntos de muestreo del Flanco Oriental de la Cordillera Oriental, se identificaron 615 especies de mariposas, distribuidas en 3.147 registros (no se presenta el listado por las limitaciones de espacio para el presente formato); Putumayo presentó la mayor riqueza (316 especies), seguido por Medina (183), Picachos (181) y Tamá (100), aunque Picachos y Tamá contemplaron franjas altitudinales más estrechas, altas y menos estaciones. La riqueza y número de individuos para cada gradiente y para los cuatro mostró una correlación inversa respecto del nivel altitudinal (Tabla 2, Figura 2). Picachos mostró la tendencia pero tuvo un coeficiente de correlación muy bajo (Tabla 2). Tamá solo tuvo dos estaciones de colecta, luego no fue posible establecer correlaciones. La riqueza fue mayor y relativamente más estable entre los 600 m y los 1.400 m; a partir de este nivel disminuye hasta alcanzar el mínimo por encima de los 2.000 m (Figura 2a). Vale la pena comentar la riqueza general y la de especies observadas una sola vez -únicas- se incrementa al acercarse al Ecuador.

Los resultados del análisis de agrupamiento indican una muy baja afinidad entre la estaciones de trabajo (Figura 3), lo que está de acuerdo con el gran número de especies únicas observadas, evento que influyó negativamente en los valores de similaridad. Ante todo cada gradiente agregó sus estaciones altitudinales, aun así entre estas fuesen muestras independientes (similitud inferior al 70%). Para Putumayo y Medina se observó una separación entre las estaciones de muestreo inferiores o iguales a los 1400 m y las estaciones de altitud superior o igual a los 1.750 m. Resultado que coincide con lo encontrado en un muestreo más intensivo realizado previamente en Medina (Fagua, 1999). Probablemente lo

corto del gradiente de Picachos y Tamá, y la pequeña diferencia entre sus estaciones de muestreo fomentó el patrón de segregación gradual que presentaron sus estaciones. Se manifiesta una relación más estrecha entre Medina y Picachos; esto es consecuente con el número de especies únicas y con el aumento de la riqueza al acercarse al ecuador, factores que contribuyeron a la segregación del gradiente Putumayo.

Queda claro que existe una segregación dependiente de la latitud como factor inicial de separación, al que sigue una segregación altitudinal. Estos resultados concuerdan con lo encontrado en el análisis biogeográfico de las mariposas del flanco oriental depositadas en colecciones de Pérez (2003).

En resumen, hubo enorme influencia de la altitud en los gradientes, lo que se evidencia en la baja similitud entre todas las estaciones exceptuando Tamá. Sin embargo la agregación de estaciones independiente por gradientes indica que las comunidades de mariposas del flanco oriental, pese a encontrarse completamente dentro la zona tropical, se ven fuertemente afectadas por la latitud, que tiene un efecto negativo sobre la riqueza (al reducirse la latitud se incrementa la riqueza). En adición, se observó que este aumento en la riqueza al acercarse a los 0° puede asociarse con que muchos elementos netamente amazónicos alcanzan niveles altitudinales muy superiores a los que pueden obtener en Picachos o Medina, al tiempo que los satirinos de altura "bajaron" su límite altitudinal inferior.

Conclusiones

La propuesta:

Teniendo en cuenta los anteriores resultados, se propone el monitoreo de mariposas como indicadores de cambio

climático mediante la realización de muestreos en gradientes altitudinales de los sistemas orográficos independientes del norte del país y de las tres cordilleras a intervalos de dos a tres grados en latitud, esto con el fin de incluir las dos variables modificadoras de los descriptores de comunidades de mariposas: Latitud y Altitud. Para esto se propone estructurar un programa de monitoreo continuo, es decir que incluya la toma de muestras al menos cuatro veces al año, durante más de 5 años, de los 13 sitios propuestos (Figura 1), lo que permitiría abarcar la mayor parte del rango latitudinal del país y donde la mayoría tiene gradientes que van de los 400 a más de los 4.000 m de altitud.

De acuerdo a la experiencia obtenida en los proyectos antes mencionados, lo deseable es que las estaciones sean definidas cada 200 a 250 m en altitud empezando en lo posible a los 400-500 m y tratando de incluir la máxima altura posible. Lo ideal es que se incluya hábitats de páramo y en lo posible el gradiente bosque húmedo-submontano-montano-páramo. Los sitios propuestos son los siguientes (Figura 1):

- Para los 10°- 11° de Latitud Norte: Parque Nacional Natural Sierra Nevada de Santa Marta (Magdalena, Cesar) y la Serranía del Perijá (Guajira-Cesar).
- Para los 7°- 6°LN: Parque Nacional Natural Paramillo (Córdoba, Antioquia), Serranía de Santo Domingo (Bolívar) y el Parque Nacional Natural Sierra Nevada del Cocuy (Boyacá-Arauca).
- Para los 5° LN. Parque Nacional Natural Tatamá (Risaralda-Chocó), Parque Nacional Natural Los Nevados (Caldas, Risaralda, Quindío, Tolima), Parque Nacional Natural Chingaza-Farallones de Medina (Cundinamarca, Meta).

- Para los 3° LN. Parque Nacional Natural Farallones de Cali (Valle-Cauca), Parque Nacional Natural Nevado del Huila (Huila-Tolima, Cauca), Parque Nacional Natural Los Picachos (Meta, Huila, Caquetá).
- Para los 0° - 1° LN. Nevado El Cumbal (Nariño), Páramo el Palacio, Transecto del oleoducto Transandino (Nariño).

Los sitios propuestos en su mayoría cuentan con inventarios preliminares o al menos con algún trabajo de reconocimiento de la fauna de mariposas local (Adams y Bernard, 1977, 1979; Adams, 1985, 1986, Vélez y Salazar, Fagua, 1999, 2000, 1991, Pyrcz y Wojtusiak, 1999, Prieto, 2003, Ortega & Fernández, 2005, Pulido & Andrade-C., 2007, 2009). Estos trabajos han sido desarrollados por diferentes investigadores y metodologías, pero constituyen una base importante al contar listados de especies y con colecciones de referencia. Lo obtenido en el programa de muestreo debe contrastarse necesariamente con lo depositado en colecciones, que reúne información colectada por años (Pérez, 2003).

Sin embargo, es necesario comentar que el estado del conocimiento de nuestra fauna de mariposas es simplemente vergonzante. Nuestro país no cuenta siquiera con un listado de especies fiable, que presente las especies para su análisis y discusión, no que se limite a proponer números sin especímenes de respaldo. La mayoría del esfuerzo está por realizarse y como es natural la propuesta que se presenta en este trabajo no es algo que un solo laboratorio o investigador pueda realizar. Pero si es algo para lo cual se pueden obtener fondos. Se requiere de un esfuerzo mancomunado y una entidad académica que lidere el esfuerzo y que goce de prestigio y reconocimiento,

quizás una entidad como la Sociedad Colombiana de Entomología.

Agradecimientos

A los estudiantes, ahora Biólogos, del Laboratorio de Entomología de la Pontificia Universidad Javeriana. A Mónica Higuera, Luz Ángela Galindo, Diana Montañez, Martha Erazo, Sandra Tavera, Andrés Felipe Sandoval, Gustavo Pérez y Sussy Guevara. A la comunidad de las veredas Toquiza y Miralindo de Medina, Cundinamarca, en especial a doña Inés Reyes. Al Fondo "José Celestino Mutis" FEN, Colombia. A Fundaciones del Banco de la República, proyecto 00010049628. A Colciencias, proyecto 1203-05-13582. A Vicerrectoría Académica de la Pontificia Universidad Javeriana, proyectos 00010049628 y 00010049628. A Fernando Gast y Federico Escobar, en ese tiempo del Instituto Alexander von Humboldt. A Carmenza Góngora y Lucimar Gomes Dias.

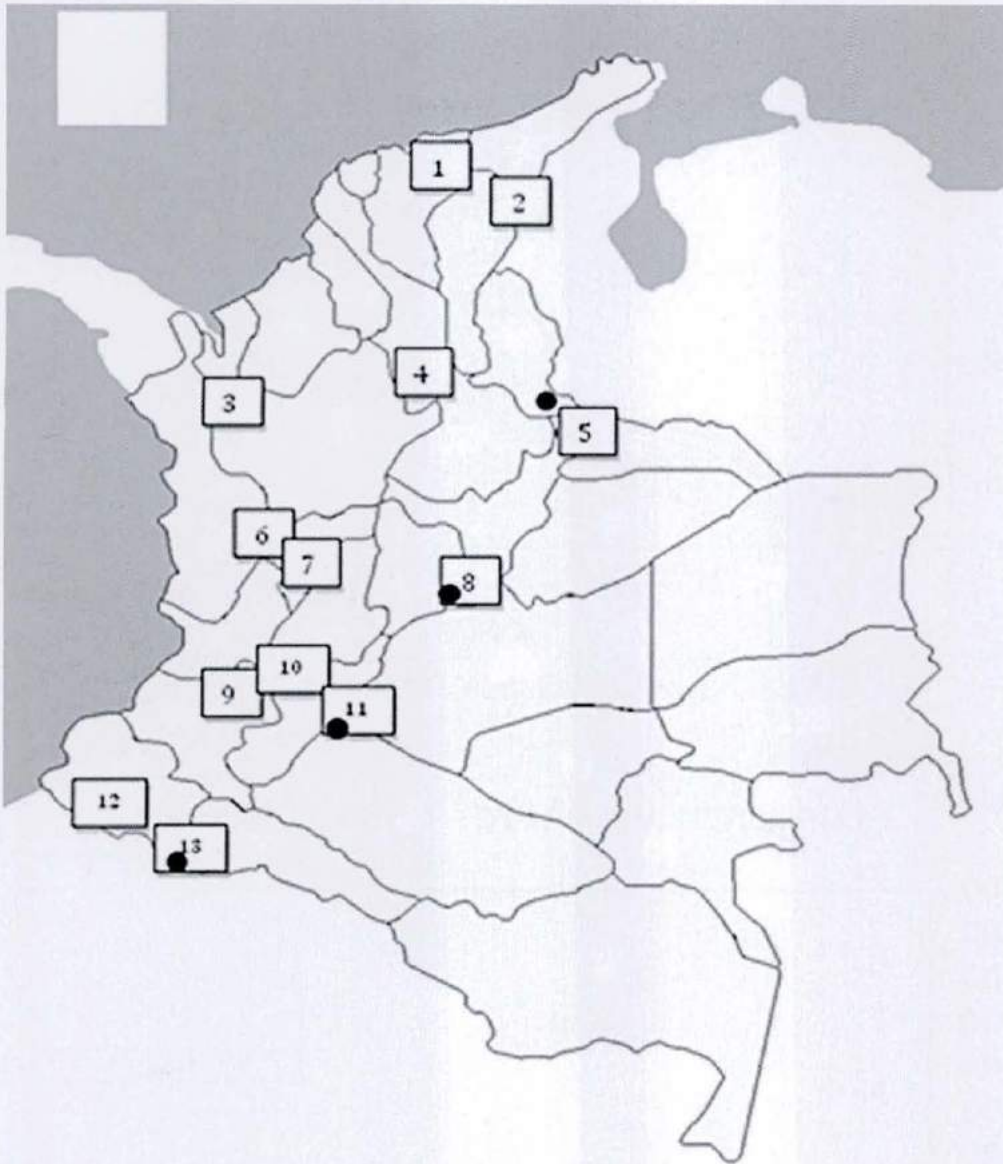


Figura 1. Sitios propuestos para realizar monitoreos continuos de la distribución de mariposas en gradientes altitudinales. 1. Sierra Nevada de Santa Marta. 2. Serranía del Perijá. 3. Parque Nacional Paramillo. 4. Serranía de Santo Domingo. 5. Sierra Nevada del Cocuy. 6. Cerro Tatamá. 7. Parque Los Nevados. 8. Parque Nacional Chingaza - Farallones de Medina. 9. Parque Farallones de Cali. 10. Parque Nevado del Huila. 11. Parque Nacional Los Picachos. 12. Nevado El Cumbal. 13. Páramo el Palacio. Los puntos negros indica los gradientes de muestreo levantados dentro del proyecto "Caracterización de la biodiversidad en áreas prioritarias del flanco oriental de la Cordillera Oriental de los Andes colombianos".

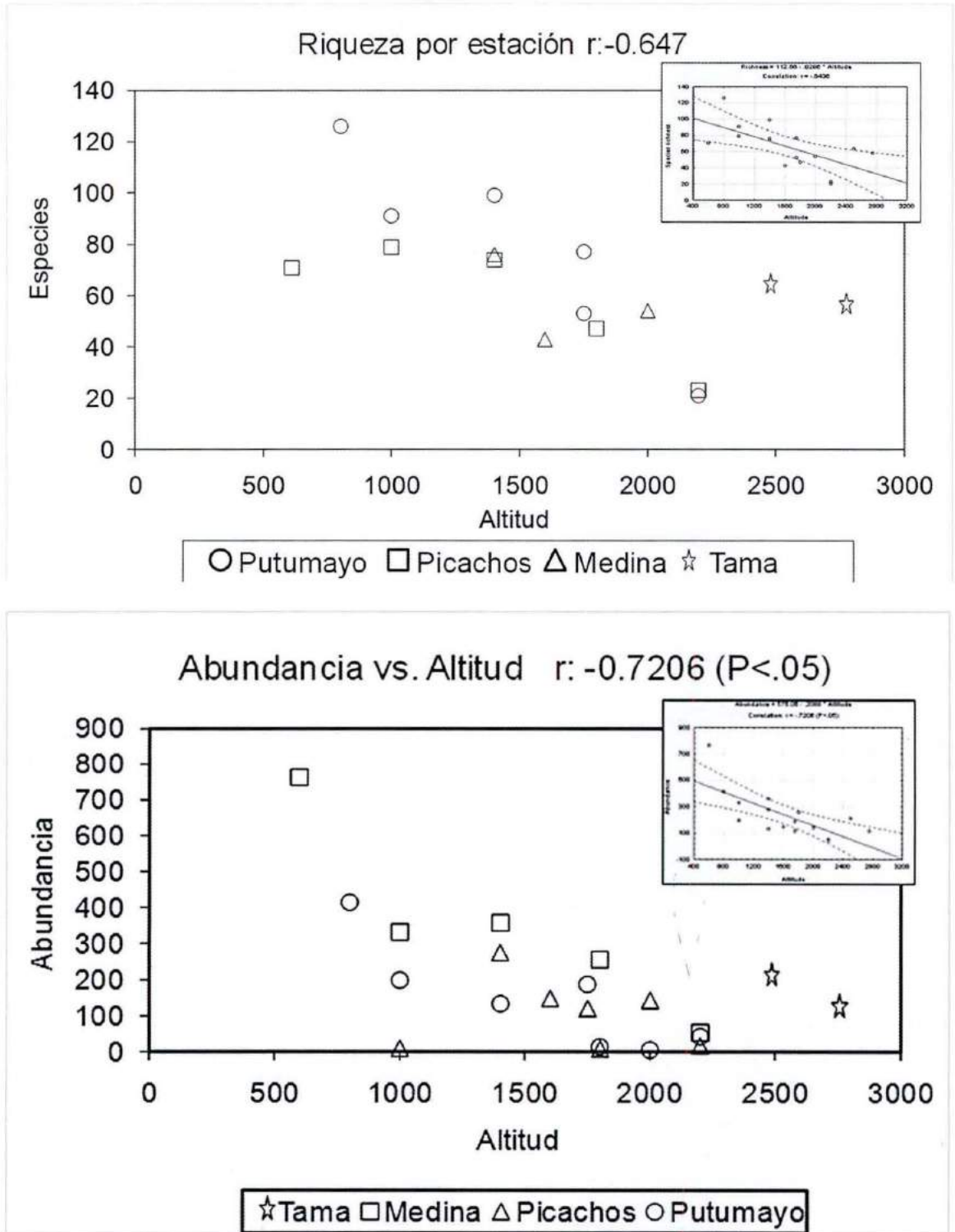


Figura 2. a. Riqueza. Número de especies colectadas por estación altitudinal por gradiente. b. Abundancia. En el recuadro se presenta gráfica del análisis de regresión.

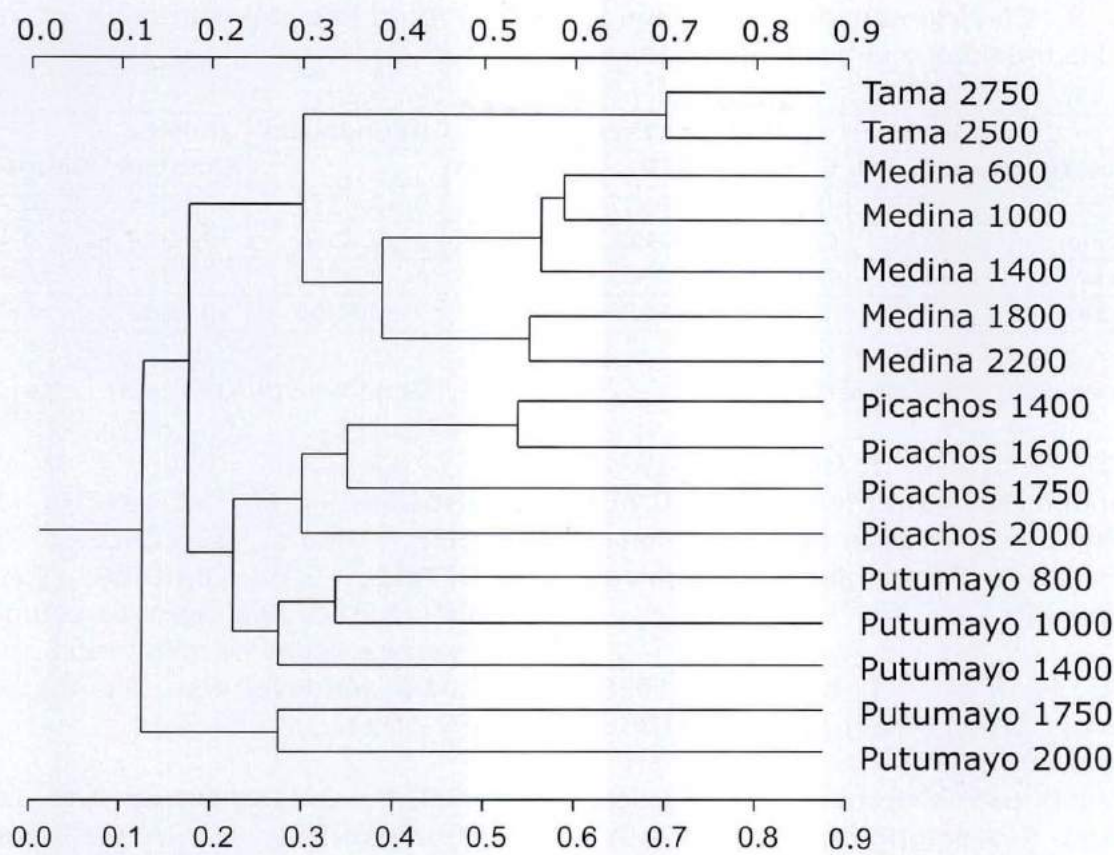


Figura 3. Análisis de agrupamiento mediante índice de Dice y ligamiento promedio. Se integran en el dendrograma las estaciones altitudinales de cada gradiente. En los ejes se presenta la similitud.

Tabla 1. Sitios correspondientes a las estaciones de estudio con los nombres, altitudes, pendientes, coordenadas y tipos de vegetación respectivos.

Gradiente	Altitud	Pendiente	Coordenadas geográficas		Tipos de vegetación, según Holdrige (1963)
Tamá	2500 m	40 %	72° 24' W	7° 18' N	(bh-M). Poco intervenido.
	2750 m	40%			(bh-M). Poco intervenido.
Medina	600 m	40 %	73° 17' W	4° 28' N	(bmh-T). Fuertemente intervenido.
	1000 m	80 %			(bp-ST). Fuertemente intervenido.
	1400 m	60 %			(bp-MB). Intervenido.
	1800 m	80 %			(bmh-M). No intervenido.
	2200 m	60 %			(bmh-M). No intervenido.
Picachos	1400 m	40 - 20 %	74° 49' W	2° 35' N	(bmh-MB). Remanente intervenido.
	1600 m	20 %			(bmh-MB). Rastrojo dentro de bosque.
	1750 m	60 %			(bmh-M). No intervenido
	2000 m	80 %			(bmh-M). No intervenido
Putumayo	800 m	20 %	77° 06' W	0° 23' N	(bmh-T). Intervenido
	1000 m	20 %			(bp-ST). No intervenido
	1400 m	60 %			(bp-MB). No intervenido
	1750 m	80 %	76° 48' W	0° 57' N	(bp-M). No intervenido
	2200 m	60 %			(bp-M). No intervenido

* (bmh-T): Bosque muy húmedo tropical. (bp-ST): Bosque pluvial subtropical. (bp-M): Bosque pluvial montano. (bp-MB): Bosque pluvial montano bajo. (bmh-MB): Bosque muy húmedo montano bajo. (bmh-M): Bosque muy húmedo montano. (bp-T): Bosque pluvial Tropical.

Tabla 2. Coeficientes de correlación (Pearson) producto del contraste entre la variables medidas y el nivel altitudinal.

Gradiente	Especies	Especies Esperadas			Abundancia	Índices	
	Observadas	Chao1	ICE	MMmean		Shannon	Simpson
TOTAL	-0,7763	-0,6091	-0,36997	-0,0515	-0,8133	-0,6096	0,6279
Medina	-0,8274	-0,4849	-0,4996	-0,2205	-0,8576	-0,8204	0,9549
Picachos	-0,6347	-0,4798	-0,37802	-0,6053	-0,6785	-0,8917	0,9137
Putumayo	-0,8888	-0,7277	-0,09873	0,6035	-0,8206	-0,8082	0,4501

Referencias Bibliográficas

- ADAMS, M. J. & G. I. BERNARD. 1977. Pronophiline butterflies (SATYRIDAE) of the Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *Systematic Entomology* 2:263-281.
- ADAMS, M. J. & G. I. BERNARD. 1979. Pronophiline butterflies (SATYRIDAE) of the Serranía de Valledupar, Colombia - Venezuela border. *Systematic Entomology* 4:95-118.
- ADAMS, M. J. 1985. Speciation in the Pronophiline butterflies (Satyridae) of the Northern Andes. *Journal of Reseach in Lepidoptera. Second Symposium on Neotropical Lepidoptera* 33-49 p.
- ADAMS, M. J., 1986. Pronophiline butterflies (Satyridae) of the three Andean Cordilleras of Colombia. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 87: 235-320.
- BENTON, M.J.; TWITCHETT, R.J. 2003. How to kill (almost) all life: the end-Permian extinction event. *Trends in Ecology & Evolution* 18 (7): 358-365.
- BRUCE C., D. 1997. Global Sea Rise: A Redetermination. *Surveys in Geophysics* 18: 279-292.
- CHURCH, J.; WHITE, N. 2006. A 20th century acceleration in global sea-level rise. *Geophysical Research Letters* 33 (1602): 1-4.
- DOMINGUES, C.M.; CHURCH, J.A.; WHITE, N.J.; GLECKLER, P.J.; WIJFFELS, S.E.; BARKER, P.M. ; DUNN, J.R. 2008. Improved estimates of upper-ocean warming and multi-decadal sea-level rise. *Nature*, 453, 1090-1094.
- CAMERO, E.; CALDERÓN C., A.M. 2007. Comunidad de mariposas diurnas (Lepidoptera: Rhopalocera) en un gradiente altitudinal del cañon del río Combeima-Tolima, Colombia. *Acta biol. Colomb.*, Vol. 12 No. 2, 2007 95 - 110
- ERAZO, M. C. 2009. Estructura y composición de las comunidades de mariposas en un gradiente altitudinal en un bosque andino (Santander, Colombia). Trabajo de grado, Carrera de Biología, Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, 94 pp.
- FAGUA, G. 1996. Comunidad de mariposas y artropofauna asociada con el suelo de tres tipos de vegetación de la Serranía de Taraira (Vaupés, Colombia). Una prueba del uso de mariposas como bioindicadores. *Revista Colombiana de Entomología* 22 (3): 143-152.
- FAGUA, G. 1999. Capítulo XI. Variación de las mariposas y hormigas de un gradiente altitudinal de la Cordillera

- Oriental (Colombia). págs.: 317 - 362. en: G. Amat , M. G. Andrade-C. & F. Fernández (eds). "Insectos de Colombia. Vol. 2". Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Colección Jorge Alvarez Lleraz No. 13-Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia. 433 pp.
- FAGUA, G. 2000. Latitudinal and altitudinal variation of the richness, diversity and composition of the butterfly communities in the "Cordillera Oriental" (Colombia). Abstracts book XXI International Congress Of Entomology. Foz Do Iguaçu. P.
- FAGUA, G., A. AMARILLO & G. ANDRADE-C. 1999. Capítulo X. Las mariposas (Lepidoptera: Rhopalocera) como indicadores del grado de intervención en la cuenca del Río Pato (Caquetá, Colombia). págs.: 285 - 315, en: "Insectos de Colombia. Vol. 2". Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Colección Jorge Alvarez Lleraz No. 13-Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia. 433 pp.
- GALINDO LEVA, L.A. 2006. Relaciones filogenéticas de especies colombianas del complejo *Pedaliodes* (Lepidoptera: Satyrinae, Pronophilini) con base en análisis morfológicos. Trabajo de grado, Biología. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá. 102 pp.
- GRINSTED, A.; MOORE, J.C.; JEVREJEVA S. 2009. Reconstructing sea level from paleo and projected temperatures 200 to 2100AD. *Clim. Dyn.* 10 (2): 113 / 108. 4.557.
- HIGUERA, M.P. 2001. Procesos de aislamiento y diversificación en la variabilidad morfológica de especies del grupo *Pedaliodes* Butler, 1867 (Lepidoptera: Nymphalidae) de la Sabana de Bogotá. Trabajo de grado, Biología. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá. 120 pp.
- HOFFMAN, P.F. 2005. On Cryogenian (Neoproterozoic) ice-sheet dynamics and the limitations of the glacial sedimentary record. *South African Journal of Geology* 108: 557-77.
- HOFFMAN, P.F., KAUFMAN, A.J., HALVERSON, G.P. & SCHRAG, D.P., 1998. A Neoproterozoic snowball Earth. *Science* 281, 1342-46.
- INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE RECURSOS BIOLÓGICOS ALEXANDER VON HUMBOLDT (IAvH). 2000. Caracterización de la biodiversidad en áreas prioritarias de la vertiente oriental de la cordillera oriental. Programa de Inventarios de Biodiversidad. <http://www.humboldt.org.co/download/inventarios/bst/Doc7.pdf>
- JACOBSEN, S.B. 2001. Earth science. Gas hydrates and deglaciations. *Nature* 412 (6848): 691-3.
- KIRSCHVINK, J.L. 1992. Late Proterozoic low-latitude glaciation: the snowball Earth. In *The Proterozoic Biosphere*, Schopf, J.W. & Klein, C., eds., pp. 51-52, Cambridge University Press, Cambridge.
- KREMEN, C. 1992. Assessing the indicator properties of species assemblages for natural areas monitoring. *Ecological Applications*. 2(2): 203-217.
- KREMEN, C. 1992a. Butterflies as ecological and biodiversity indicators. Presentation outline for the WCI african rain forest symposium. 8 pp.

- KREMEN, C. 1994. Biological inventory using target taxa: a case study of the butterflies of Madagascar. *Ecological applications* 4(3): 407-422.
- KREMEN, C.; COLWELL, R.K.; ERWIN, T.L.; MURPHY, D.D.; NOSS, R.F.; SANJAYAN, M.A. 1993. Terrestrial arthropod assemblages: Their use in conservation planning. *Conservation Biology* 7 (4): 796-808.
- LU, J.; CHEN, G., FRIERSON, D.M.W. 2008. Response of the Zonal Mean Atmospheric Circulation to El Niño versus Global Warming. *Journal of Climate* 21: 5835-5851.
- MCELWAIN, J.C.; PUNYASENA, S.W. 2007. Mass extinction events and the plant fossil record. *Trends in Ecology & Evolution* 22 (10): 548-557.
- MCLAUGHLIN, J.F.; HELLMAN, J.J.; BOGGS, C.L.; EHRLICH, P.R. 2002. Climate change hastens population extinctions. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 99: 6070-6074.
- NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES (NAS). 2008. Understanding and Responding to Climate Change. Highlights of the National Academies Report. 2008 Edition. 24 pp.
- ORTEGA MARTÍNEZ, D.; FERNÁNDEZ HERRERA, C. 2006. Mariposas diurnas (Lepidoptera: Rhopalocera) asociadas a zonas boscosas de la zona amortiguadora, Parque Nacional Natural Paramillo, Alto San Jorge-Cordoba.
- PAGANI M.; ZACHOS, J. C.; FREEMAN, K. H.; TIPPLE, B.; BOHATY, S. 2005. Marked decline in atmospheric carbon dioxide concentrations during the Paleogene, *Science*, 309, 600-603
- PARMESAN, C. 2003. Butterflies as bio-indicators of climate change impacts. Chapter 24. In: *Evolution and Ecology Taking Flight: Butterflies as Model Systems* (eds Boggs CL, Watt WB, Ehrlich PR), pp. 541-560. University of Chicago Press, Chicago.
- PARMESAN, C. 2007. Influences of species, latitudes and methodologies on estimates of phenological response to global warming. *Global Change Biology*. 13: 1860-1872.
- PEARSON, PN; PALMER, MR 2000. Atmospheric carbon dioxide concentrations over the past 60 million years. *Nature* 406 (6797): 695-699.
- PEÑA, C., NYLIN, S., WAHLBERG, N. 2011. The radiation of Satyrini butterflies (Nymphalidae: Satyrinae): a challenge for phylogenetic methods. *Zoological Journal of the Linnean Society* 161: 64-87.
- PEÑA, C.; WAHLBERG, N. 2008. Prehistorical climate change increased diversification of a group of butterflies. *Biology Letters* 4: 274-278.
- PÉREZ, L.G.; G. FAGUA. 2009. Monitoreo de hormigas (Hymenoptera: Formicidae) en estudios de ecología y conservación. Pp.: 123-164. En: Acosta, Zapata & Fagua (Edts). *Técnicas de Campo en Ambientes Tropicales*. Ceja. Bogotá. 215 pp.
- PÉREZ, G.A. 2003. Estudio biogeográfico de las mariposas (Lepidoptera: Papilionoidea, Hesperioidea) de la Cordillera Oriental Colombiana y su uso en la definición de áreas prioritarias de conservación. Trabajo de grado de la carrera de Biología. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá. 89 pp.

- PRIETO, C.H., 2003.- Satírinos (Lep: Nymph.Sat) del Parque Nacional Natural Munchique. Diversidad de especies y distribución altitudinal. Rev. Col. Ent., 29(2): 203-210.
- PULIDO H.P.; ANDRADE-C. M.G. 2009. Las mariposas de la Serranía de Perijá. Pp. 509-588. En: Rangel, J.O. Colombia Diversidad Biótica VIII. Media y baja montaña de la serranía de Perijá. Instituto De Ciencias Naturales Universidad Nacional De Colombia v. 1. Bogotá. 708 pp.
- PULIDO H.P.; ANDRADE-C. M.G. 2007. Las mariposas de las partes altas de la serranía del Perijá. P 43-61. En: Rangel, J.O. Colombia Diversidad Biótica V. La alta montaña de la serranía de Perijá. Instituto de Ciencias Naturales-CORPOCESAR. Bogotá. 472 pp.
- PYRCZ, Th.; WOJTUSIAK, J., 1999.- Mariposas de la tribu pronophilini de la Reserva Forestal Tambito, Cordillera Occidental de Colombia. Segunda parte. Patrones de distribución altitudinal (Lep. Nymph.Sat.). Shilap, Revta.Lepid., 27 (106): 203-213.
- PYRCZ, T. W.; WOJTUSIAK, J. 2002. The vertical distribution of pronophiline butterflies (Nymph., Sat.) along a elevational transect in Monte Zerpa (Cordillera de Mérida, Venezuela) with remarks on their diversity and parapatric distribution. Glob Ecol Biogeogr 11: 211-221.
- PYRCZ, T. W.; WOJTUSIAK, J.; GARLACZ, R. 2009. Diversity and distribution patterns of Pronophilina butterflies (Lepidoptera: Nymphalidae: Satyrinae) along an altitudinal transect in north-western Ecuador. Neotrop. Entomol. 38 (6): 716-726.
- RIAL, J.A. 1999, Pacemaking the Ices Ages by frequency modulation of Earth's orbital eccentricity, Science, 285, 564-568.
- URIARTE CANTOLLA, A.. 2003. Historia del Clima de la Tierra. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. 1ª Edición. 306 pp.
- VILLAREAL, H.; ALVAREZ, M.; CÓRDOBA, S.; ESCOBAR, F.; FAGUA, G.; GAST, F.; MENDOZA, H.; OSPINA, M.; UMAÑA, A. 2004. Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de Biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, IAVH. Programa Inventarios de Biodiversidad. Grupo de Exploración y Monitoreo Ambiental. 236 pp. Bogotá.
- WESTWOOD, A.R.; D.L. BLAIR. 2010. Effect of regional climate warming on the phenology of butterflies in boreal forests in Manitoba, Canada. Environmental Entomology 40 (4): in press.

Los escarabajos de los troncos descompuestos (Coleoptera:Passalidae) en los estudios regionales y de valoración

Germán Amat-García

Profesor Asociado. Instituto de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Colombia. Ciudad Universitaria. Bogotá-Colombia.
gdamatg@unal.edu.co

312

Resumen

Este trabajo presenta, a manera de síntesis, el papel de la faunística, mediante el uso de escarabajos de los troncos en descomposición (Coleoptera: Passalidae) en los estudios regionales. Se comentan seis modalidades de estudio aplicados en el país: 1) inventarios, 2) distribución, 3) diversidad, 4) endemismo, 5) rareza y vulnerabilidad y 6) bioindicación. Estos estudios contemplan atributos como composición taxonómica (a varios niveles jerárquicos), distribución, riqueza y abundancia, rareza, vulnerabilidad y sensibilidad. Los fundamentos disciplinares de estos estudios (taxonomía, biosistemática, ecología, conservación y biogeografía), así como las herramientas matemático-estadísticas (modelos de estimación de riqueza de especies) y de los Sistemas de Información Geográfica (SIGs) son fundamentales para la construcción de un programa estratégico de investigación regional. Se concluye que es necesario, en los planteamientos metodológicos, establecer el nivel de organización a nivel de comunidades, los referentes de escala (local, paisajística y regional) y los protocolos de muestreo. En cada caso, se hacen consideraciones de carácter conceptual y metodológico, dándose a conocer estudios con escarabajos pasálidos y en los cuales el autor ha participado desde hace una década y media. Finalmente, se proponen algunas estrategias que podrían fortalecer en el país una plataforma metodológica

orientada a la implementación de insectos en los estudios regionales.

Palabras clave: Escarabajos, Coleoptera, diversidad ecológica, estudios regionales, bioindicadores.

Abstract

It is summarized the role of faunistics studies using passalid beetles (Coleoptera: Passalidae) at the regional level. Six modalities of these studies applied in Colombia are commented: 1) inventories, 2) geographical distribution, 3) diversity, 4) endemism, 5) rarely and vulnerability and 6) biological indicators. These studies considered taxonomical composition (in several hierarchical levels), distributional patterns, richness and abundance, rarely, vulnerability and resilience among others, also treated with their fundamentals basis (taxonomy, systematics, ecology, conservation and biogeography), statistical and mathematical tools (richness estimators), and geographical information system (GIS) as an essential issues to build a strategic program on regional research. We conclude that is necessary set clearly at the community level, aspects of space scale (local, landscape and regional) and sampling methodology. In all cases conceptual and methodological considerations were done, since an experience of more than a decade of study with passalid beetles. Finally a methodological strategy is proposed in order to improve the implementation of insect's studies at regional level.

Palabras clave: Beetles, Coleóptera, ecological diversity ecológica, regional studies, bioindicators.

Introducción

Biodiversidad y cambio climático representan dos áreas del conocimiento científico con grandes proyecciones que se conjugan en una verdadera trama de interdisciplinas. Como uno de los múltiples productos de tal integración, los estudios regionales se perfilan como acciones cada vez más estratégicas y con mayores requerimientos conceptuales y metodológicos. En estos estudios es crucial el conocimiento de los insectos (Amat, 1994, 1995).

Las temáticas relacionadas con los estudios regionales, en los que se emplean escarabajos de los troncos en descomposición (Coleóptera: Passalidae), abordan aspectos como composición taxonómica, dispersión espacial, riqueza de especies, rareza biológica, vulnerabilidad y sensibilidad ecológica (Tabla 1). Existe la más amplia documentación de estos temas en la literatura latinoamericana en lo que respecta a los escarabajos copro-necrófilos (Coleoptera: Scarabaeidae) (Halffter y Favila, 1993, Favila y Halffter, 1999, Halffter, 1998), pero la situación no es comparable en el resto de grupos de Scarabaeoidea (Morón, 1997), taxón que agrupa a los verdaderos escarabajos. Tanto los fundamentos disciplinares (principalmente de la taxonomía, la biosistemática, la ecología, la conservación y la biogeografía), como las herramientas matemático-estadísticas (modelos de diversidad de especies) y aquellas implementadas bajo los Sistemas de Información Geográfica (SIGs), han sido fundamentales para cualificar seis modalidades de estudio, a saber: 1) inventarios, 2) distribución espacial, 3) diversidad 4) endemismo

5) rareza y vulnerabilidad y 6) bioindicadores. En este trabajo se trata en cada uno de ellos su base conceptual, métodos generales, relacionándolos con las especies de escarabajos pasálidos. El objetivo de estas consideraciones es el de contribuir a la implementación de una plataforma metodológica en los estudios regionales, alimentada por estas seis temáticas y cuyos componentes bióticos sean los insectos.

Escarabajos e inventarios faunísticos

Los inventarios faunísticos están enmarcados en los dominios del trabajo taxonómico en los cuales se dan a conocer las especies presentes en una localidad geográfica o región, sin referentes precisos de escala (Figura 1). La pregunta de investigación en este caso es: cuáles especies, taxonómicamente válidas, se presentan en un territorio.

Corresponden a un listado cuyos insumos principales son las recolectas en campo y las bases de datos de colecciones entomológicas. El producto de estos estudios se publican bajo la denominación de listas comentadas (Amat *et. al.*, 2004), aunque a partir de la información base se pueden generar los catálogos o atlas taxonómicos. Los datos más importantes en un inventario son aquellos que aparecen en el material catalogado de un ejemplar, esto es:

- Datos de la colecta: País, departamento, municipio, localidad. Altitud (m.). Coordenadas geográficas. Fecha de colecta. Colectores.
- Datos taxonómicos: Género y/o especie.
- Datos de registro en una colección entomológica.

Distribución espacial de escarabajos pasálidos y niveles de escala

Los estudios de distribución de los escarabajos tienen un importante componente descriptivo, basado en escalas espaciales que correlacionan jerárquicamente con importantes atributos del grupo faunístico de interés como son los espacios de actividad, las migraciones, las dispersiones, ocurrencia estacional, etcétera (Hanski, 1980a, 1980b). En el marco de los estudios regionales nos referimos a nanohábitats, microhábitats, hábitats, unidades del paisaje y regiones geográficas como elementos que guardan una relación jerárquica y que correlacionan espacial y temporalmente (Figura 2).

Los nanohábitats, merótopos o microzonas son espacios físicos de pequeña escala en donde se cumplen actividades vitales y el recurso alimenticio está disponible de manera diferencial; bajo estas condiciones los grupos de especies (gremios) que comparten un mismo recurso alimenticio se puede segregar espacialmente resolviendo, así, problemas de competición ecológica entre las especies de escarabajos pasálidos (Figura 3). Los microhábitats son también espacios a nivel de microescala y adicionalmente apropiados como unidades muestrales en los estudios locales y paisajísticos. En el caso de los escarabajos pasálidos se han establecido a los troncos en descomposición como microhábitats y, además, como unidades de muestreo en los protocolos de campo (Figura 4). El complejo de interior de bosque-bordes-potreros son también otras unidades que pueden ser consideradas a nivel de microescala

A nivel de mesoescala, el paisaje es el concepto ecológico fundamental, entendido como una unidad de espacio

con límites geográficos y una caracterización climática y geomorfológica específica. Para el caso de los escarabajos pasálidos, sus hábitats pueden estar definidos, en términos de mesoescala, como unidades vegetacionales, fragmentos de bosque (unidades paisajísticas) o hábitats antrópicos (unidades de uso) (Figura 5).

Diversidad alfa, beta y gamma en el estudio de los escarabajos pasálidos:

La diversidad es un atributo que representa la capacidad de carga de un ecosistema y se le suele ponderar en términos del número de especies; sin embargo, sus componentes más importantes son la riqueza (número de especies) y la abundancia (número de individuos por especie). Normalmente este atributo se asocia con referentes de escala a nivel local, paisajístico o regional (Halffter y Moreno, 2005).

La noción de diversidad alfa o local nos permite considerar la extensión mínima en términos de espacio y tiempo que contiene un conjunto de especies de una comunidad. También se conoce como diversidad alfa. El origen de la riqueza de especies en un espacio determinado se puede interpretar bajo un tiempo ecológico (caracterización de una comunidad) o un tiempo evolutivo (noción de ensamble). En el primero de los casos, no todas las especies son igualmente importantes, ya que propiedades como la biomasa, la densidad o el grupo funcional afectan la condición global de la comunidad (Halffter y Moreno, 2005).

La diversidad beta mide las diferencias, principalmente en términos de riqueza, entre las especies de dos puntos, dos tipos de comunidades en una misma unidad del paisaje (Moreno y Halffter, 2001). Para los análisis comparados, la diversidad beta es una medida de la heterogeneidad de la muestra, de la comunidad o del

paisaje. Permite identificar cambios en la composición de especies en los cuales son relativamente evidentes los procesos ecológicos (Halffter y Ezcurra, 1992).

La diversidad gamma corresponde al número de especies en un conjunto de sitios o comunidades que integran más de una unidad de paisaje (Arellano y Halffter, 2003). Bajo un gradiente altitudinal, la diversidad gamma puede representar la ingerencia de importantes factores históricos. Estos cambios históricos, manifestados principalmente por ciertos factores abióticos como clima, microclima, precipitación, humedad y suelo, son característicos en cada una de las unidades del paisaje reconocidas bajo el gradiente (Amat 1999).

En los escarabajos Passalidae de Colombia se han realizados valoraciones de riqueza local, beta y gamma (Amat-García y Reyes-Castillo, 2002) teniendo en referentes areales. En un estudio de diversidad local el muestreo más adecuado concentra su atención en los troncos en descomposición, inspeccionados con el uso de un hacha de campo y acompañado de censos por especie y recolectas manuales. El número mínimo de troncos a muestrear depende del número de especies presentes, ajustándose a las funciones de la curva acumulativa de especies y al uso de estimadores para evaluar la calidad del muestreo (Soberón y Llorente, 1993) (Figura 5).

La diversidad beta en escarabajos pasálidos de los bosques altoandinos de la Cordillera Oriental indica que, bajo un gradiente de perturbación del bosque, la riqueza oscila entre 10 y 15 especies (Amat-García y Reyes-Castillo, 1996, 1999); el mayor número se presenta en los hábitats boscosos más conservados (Antigua reserva biológica de Carpanta. En estas comparaciones con estimativos de riqueza alfa se trata de tres lugares

con una historia y patrones abióticos similares, pero con diferencias por los procesos de disturbio y restauración del bosque (Amat-García y Reyes-Castillo, 2002) (Figura 6).

La diversidad gamma en la fauna de escarabajos pasálidos de Colombia ha podido evaluarse en la región Amazónica al compararse bosques de várzea con aquellos de tierra firme (Amat-García y Reyes-Castillo, 2007) (Tabla 2). De la región Caribe la diversidad gamma se conoce al compararse la riqueza de tres regiones biogeográficas importantes: la Sierra Nevada de Santa Marta, la Sierra de Perijá y las sabanas de Córdoba (Jiménez-Ferbans *et. al.*, 2010) (Tabla 3). De los Passalidae presentes en el Chocó biogeográfico colombiano se conocen aproximadamente unas 20 especies (Amat-García y Trujillo, 2004).

Al establecerse una comparación en las diversidades conocidas para los Passalidae neotropicales (Tabla 4) se han encontrado valores de riqueza alfa equivalente a 16 especies encontradas en bosques amazónicos de Colombia (Jiménez-Ferbans y Amat-García, 2011), una riqueza gamma de 24 para la fauna pasálida amazónica del Brasil (Mouzinho y Fonseca, 1998) y una riqueza gamma de 42 especies para toda la cuenca amazónica suramericana (Reyes-Castillo *et. al.*, 2005).

Contando con una base de datos aceptable en la cual se registren localidades con especies de Passalidae, estos registros podrán ser georeferenciados por cuadrícula en todo el territorio colombiano (Figura 7). Al considerar cada cuadrícula como una "unidad muestral" se podrán poner a prueba estimadores de predicción de riqueza para aproximarnos a una estimación de la riqueza esperada para el país (Amat-García y Reyes-Castillo, 2002)(Figura 8).

Rareza y endemismos en escarabajos

La rareza de un organismo es un atributo resultante de considerar tres componentes: la distribución geográfica, la especificidad de hábitat y el tamaño local de las poblaciones (Rabinovich *et al.*, 1986).

La rareza de un organismo es considerada como un atributos de las especies para predecir su grado de vulnerabilidad. Aunque se ha admitido que los tres factores mencionados son independientes, lo que significa que cada factor provee información no provista por los otros dos, se requiere validar, de todas formas, los alcances de la premisa de Rabinovich y examinar si se cumplen en un grupo particular de escarabajos. Observaciones preliminares realizadas en Passalidae establecen la existencia de por lo menos cuatro categorías de rareza en el grupo (Tabla 5).

Las áreas con grados relativamente alto en endemismos de especies resultan regiones particularmente interesantes desde el punto de vista biogeográfico y de conservación. La metodología del análisis de endemidad por parsimonia (PAE) consiste en obtener distribuciones de distintos taxones monofiléticos que habitan un conjunto de áreas que se pretende analizar. Con los datos de distribución de las especies se construye una matriz de taxones por áreas y se analiza bajo algún programa de cómputo que tenga implementado un algoritmo de parsimonia. Finalmente se obtiene un cladograma de áreas que representa una hipótesis de relación entre las áreas de endemismo propuestas (Morrone y Escalante, 2002). Para el caso de los escarabajos pasálidos se han podido reconocer por lo menos cinco áreas en la cuenca amazónica suramericana (Reyes-Castillo *et al.*, 2005) (Figura 8).

Vulnerabilidad y las condiciones de amenaza en escarabajos

Para establecer de manera preliminar e indirecta el estado de amenaza de una especie de escarabajo se han propuesto una serie de criterios alusivos a la biología de la especie, sus hábitats asociados y sus factores potenciales de uso. Estos criterios son: distribución, amplitud de hábitat, abundancia, talla, reproducción, grupo funcional y factores de uso (coleccionismo, investigación, zootecnia, alimento, mascota, etcétera). En el caso de los escarabajos típicos de Colombia se proponen ocho variables, cada una con cuatro niveles de apreciación y con un rango total entre 0 y 24 (Tabla 6). Este rango de rareza se reparte en las categorías cualitativas de baja (0-8), media (9-15), alta (16-22) y máxima vulnerabilidad (23-24). Al considerar una especie la suma total de los grados de apreciación por factor correlacionada con las cuatro categorías representa una medida global de la vulnerabilidad de una especie. Esta valoraciones se han aplicado como apoyo a las categorizaciones de la UICN (Abellán *et al.*, 2005, Amat *et al.*, 2007).

Son bioindicadores los escarabajos de los troncos en descomposición?

El concepto de bioindicación está fundamentado en la posibilidad de detectar de manera indirecta aquello que no es susceptible de ser percibido de forma directa. Es necesario distinguir entre las acciones de estudiar un bioindicador, su propuesta como tal y su implementación; cada una de estas acciones tiene objetivos y métodos diferentes. Igualmente, quienes los estudia, los propone o los aplica no requieren un mismo perfil de investigador, esto significa que su uso nos está restringido para los especialistas.

Subrayamos en estas consideraciones dos criterios: 1) debido a que es imposible trabajar con todas las especies que se encuentran en un lugar determinado; recurrimos a seleccionar un grupo para estudiarlo a fondo; en este momento estamos en los terrenos de la bioindicación. 2) en ecología se conocen principalmente tres categorías de bioindicadores: de factores ambientales, de ecosistemas y de paisajes o regiones (biodiversidad). Los insectos, como bioindicadores ambientales, han sido relativamente exitosos ya que en su uso o implementación se relacionan las variables ecológicas más sensibles de un taxón con una escala relativa de apreciación sobre el grado de "calidad" de un factor ambiental (agua, suelo, aire y ciertos recursos). Los bioindicadores del estado de hábitats (no factores ambientales), por su parte, están relacionados con el ecosistema y su aplicación da razón sobre el estado de conservación, perturbación o restauración con base en un elemento integrante de un hábitat. Los bioindicadores de biodiversidad, señalan el grado de diversificación y endemismos de especies en una región determinada, generalmente algunas de sus variables se correlacionan con variables de riqueza y rareza del resto de la fauna y/o flora de la región. En virtud a estas características de los bioindicadores se dan, por consiguiente, requerimientos metodológicos más exigentes en la bioindicación sobre biodiversidad, ya que su implementación está relacionada con la introducción de variables sistemáticas y biogeográficas.

En caso de los escarabajos pasálidos de Colombia, aunque los estudios que apoyan su uso son aceptables, no se han protocolizado propuestas metodológicas para su implementación como bioindicadores.

Construyendo una plataforma metodológica

Si se piensa incorporar el conocimiento de la entomofauna colombiana a los estudios regionales, merece la atención los siguientes aspectos:

- Orientar de manera interdisciplinaria las temáticas planteadas en esta revisión, principalmente: inventarios, distribución, diversidad, endemismos y rareza y vulnerabilidad.
- El grado de conocimiento en estas temáticas sobre un taxón determinado permite establecer su condición de indicador biológico.
- Las acciones y componentes más importante para consolidar proyectos de integración de escarabajos a un programa regional ambiental están relacionados con las colecciones entomológicas de referencia, los muestreos, las bases de datos y la georeferenciación (Tabla 7).

Agradecimientos

El autor expresa sus sinceros agradecimientos a los organizadores del 38º Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología, especialmente a los doctores Pablo Benavides Machado, Carmenza E. Góngora B. y Lucimar Gomes Dias, por la invitación a participar en este evento.

Tabla 1. Algunas referencias que detallan el papel de los escarabajos de los troncos en descomposición (Coleoptera:Passalidae) en el ámbito regional y ambiental de América Latina.

Estudio	aspectos relevantes	referencias
Inventarios	Fauna pasávida nacional:	México Nicaragua Colombia Reyes-Castillo (2000) Maes y Reyes-Castillo (2002) Amat-García <i>et. al.</i> (2004)
Distribución		Guatemala ecológica y geográfica dispersión local Schuster y Cano (2006) Reyes-Castillo <i>et. al.</i> (2006) Galindo <i>et. al.</i> 2007.
(2007)	alfa: beta	Roraima, Amazonas- Brasil factores de perturbación, (Amazonas, Brasil) factores de uso agrícola, (Amazonas-Colombia) Buhrnheim y Aguiar 1991 Mouzinho y Fonseca (1998) Amat-García y Reyes-Castillo
Diversidad	Gamma:	factores de restauración, (Andes-Colombia) Kattan <i>et. al.</i> (2010)
(2002)	estados políticos de México Colombia	Reyes-Castillo (2002) Amat-García y Reyes-Castillo
(2007)	(relación con el paisaje, Centroamérica) deforestación (Andes-Col.) relación con el paisaje, (Andes-Colombia) Amazonas-Colombia	(cadena volcánica), MacVean y Schuster 1981 Lozano 1997 Amat-García (1999) Amat-García y Reyes-Castillo
	Subregiones Caribe-Col.	Jiménez-Férbans <i>et. al.</i> (2010)
Rareza y endemismos	áreas endémicas Amazonas, Suram. áreas endémicas Centroamérica	Reyes-Castillo <i>et. al.</i> (2005). Schuster (1992)
Vulnerabilidad y amenaza	condición de amenaza en una especie de Colombia	Reyes-Castillo (2007)
Bioindicadores	uso para condiciones de hábitats, Col. uso para valoración bosques, Guatemala	Amat-García y Miranda (1996). Schuster <i>et. al.</i> (2000)

Tabla 2. Componentes de la diversidad gamma de la fauna pasálida en la región amazónica de Colombia (tomado de Amat- García y Reyes-Castillo, 2007).

Especie	Unidad Fisiográfica	
	Várzea	Tierra Firme
<i>Spasalus balachowskyi</i>	X	X
<i>Spasalus crenatus</i>	X	X
<i>Paxillus camerani</i>		X
<i>Paxillus leachi</i>		X
<i>Passalus (Pertinax) convexus</i>	X	X
<i>Passalus (Pertinax) epiphanoides</i>		X
<i>Passalus (Pertinax) rhodocanthopoides</i>		X
<i>Passalus (Passalus) glaberrimus</i>		X
<i>Passalus (Passalus) variiphyllus</i>		X
<i>Passalus (Passalus) pugionifer</i>		
<i>Passalus (Passalus) barrus</i>	X	X
<i>Passalus (Passalus) bucki</i>		?
<i>Passalus (Passalus) coniferus</i>		?
<i>Passalus (Passalus) elfriedae</i>		X
<i>Passalus (Passalus) interruptus</i>		?
<i>Passalus (Passalus) interstitialis</i>	X	X
<i>Passalus (Passalus) punctiger</i>	X	X
<i>Popilius marginatus</i>		?
<i>Verres furcibris</i>		?
<i>Veturius cephalotes</i>		X
<i>Veturius af. christiani</i>		X
<i>Veturius sinuosus</i>		?
<i>Veturius unicornis</i>		X

Tabla 3. Datos empíricos para estimar la riqueza gamma en la comunidad de escarabajos pasálidos de la región Caribe de Colombia (tomado de Jiménez-Ferbans *et. al.*, 2010).

Species	Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM)	Serranía de Perijá	Córdoba Savannas
* <i>Passalus (Mitrorhinus) arrowi</i>	x		
<i>Passalus (Peritmax) n. sp.</i>	x		
<i>Passalus (Peritmax) punctatoseriatus</i>	x	x	
<i>Passalus (Peritmax) cf. matillet</i>		x	
<i>P. (Passalus) punctiger</i>	x	x	x
<i>P. (Passalus) inerruptus</i>	x		x
<i>P. (Passalus) pugonarius</i>	x		
<i>P. (Passalus) inersititatis</i>	x	x	x
<i>P. (Passalus) confusus</i>	x		
* <i>Pezomachus leachi</i>	x		x
* <i>Spasalus crenarius</i>	x		
* <i>Spasalus paulinae</i> *	x		
<i>Popitilus erylus</i>	x		
<i>Popitilus gibbosus</i>		x	
<i>Popitilus marginatus</i>	x		x
<i>Verurtus impressus</i> *	x		
<i>Verurtus sandfussi</i>		x	
Total	14	6	5

Tabla 4. Riquezas alfa, beta y gamma conocidas para la fauna de escarabajos de los troncos descompuestos en algunas zonas de la región neotropical (tomado de Jiménez-Ferbans y Amat-García, 2011). bh-T=bosque húmedo tropical. bs-T=bosque seco tropical. bmh-MB=bosque submontano húmedo bh-PM= bosque húmedo premontano. BTP=bosque tropical siempreverde.

Zona	Diversidade	Formação vegetal	Riqueza	Referência
PNN La Paya	alfa	bh-T	16	Presente estudo
Sierra Nevada de Santa Marta-Colombia	gamma	bs-T - bmh-MB	15	Jiménez-Ferbans & Amat-García (2009)
Serranía del Perijá-Colombia	gamma	bs-T - bh-PM	6	Jiménez-Ferbans & Amat-García (2009)
Amazonas-Colombia	gamma	bh-T	24	Amat-García & Reyes-Castillo (2007)
Amazonia central-Brasil	alfa	bh-T	9	Mouzinho & Fonseca (1998)
Los Tuxtlas-México	alfa	BTP	15	Castillo & Reyes-Castillo (1997)
Sabana de Bogotá-Colombia	alfa	bmh-MB	8	Amat-García & Reyes-Castillo (2002)
Manaus	gamma	bh-T	24	Reyes-Castillo <i>et al.</i> (2005)
Tambopata	gamma	bh-T	17	Reyes-Castillo <i>et al.</i> (2005)

Tabla 5. Patrones de rareza y algunos ejemplos considerados en escarabajos pasálidos.

Rango de distribución Capacidad de colonización de hábitats Tamaño poblacional	Amplio		Restringido	
	Generalistas (Colonizadores de bosques-potreros)		Especialistas (exclusivos de interior)	
	Abundantes	Escasos	Abundantes	Escasas
	1	2	3	4
Ejemplos en passalidae	<i>Passalus interruptus</i>	<i>Paxillus camerani</i>	<i>Petrejoldes subrecticornis</i>	<i>Spasalus paulinae</i>

Tabla 6. Criterios a considerar para establecer grados de vulnerabilidad en escarabajos pasálidos (tomado de Amat *et al.*, 2007).

VARIABLE	0	1	2	3
1. Distribución biogeográfica	Toda la región neotropical	Aproximadamente la mitad de la región neotropical	Menos de la mitad	Restringida
2. Distribución nacional	Todo el país o su mayor parte	Aproximadamente la mitad del país	Menos de la mitad del país	Restringida o con endemismos
3. Amplitud de hábitat	Puede utilizar varios tipos de ambientes y muchos microhábitats	Puede utilizar un tipo de ambiente y algunos microhábitats	Puede utilizar un tipo de ambiente y un microhábitat	
4. Abundancia local	Abundantes. Según talla	Escasos. Según talla	Raros. Según talla	Muy raros. Según talla
5. Talla corporal	Hasta 1 cm	1,5 a 3 cm	3,5 a 7 cm	Más de 7 cm
6. Potencial reproductivo	Alto	Mediano	Bajo	Bajo con cuidado parental
7. Amplitud trófica	Omnívoros, hervívoros generalistas coprófagos, necrófagos	Predador generalista	Herbívoro especialista	Predadores especialistas
8. Acciones extractivas	No hay	Por temor, repulsión, superstición	Especie potencialmente combustible, objeto de coleccionistas científicos	Alto valor estético y objeto de caza comercial

Tabla 7. Accione y elementos estratégicos para la implementación de escarabajos en los estudios regionales.

1. Preguntas de investigación
2. Protocolos metodológicos: escala - muestreo - datos
3. Bases de datos (colecciones, campo)
4. Geo-referenciación
(variables ambientales, geográficas, biogeográficas)
5. Análisis integral: taxonómico, ecológico, agroecológico, biogeográfico, de conservación
6. Colecciones de referencia
7. Implementación



Figura 1. Referentes metodológicos importantes del inventario taxonómico.

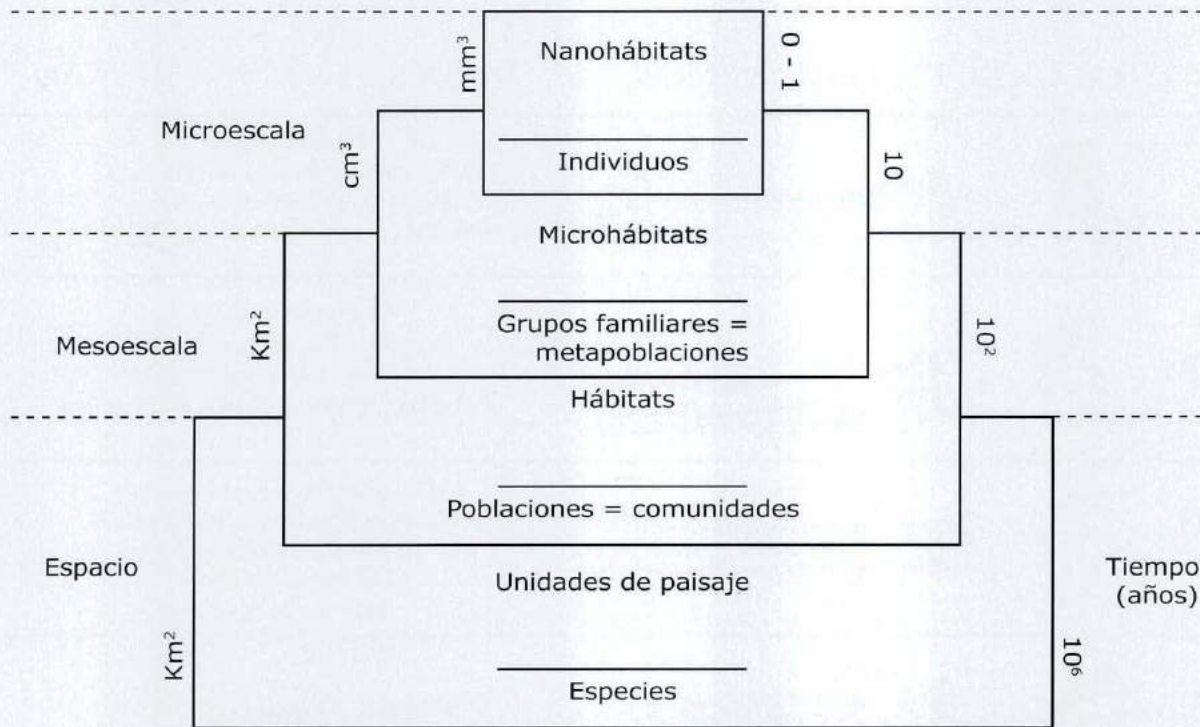


Figura 2. Niveles de escala y categorías espaciales relacionadas con atributos biológicos de un grupo taxonómico de interés en los estudios regionales.

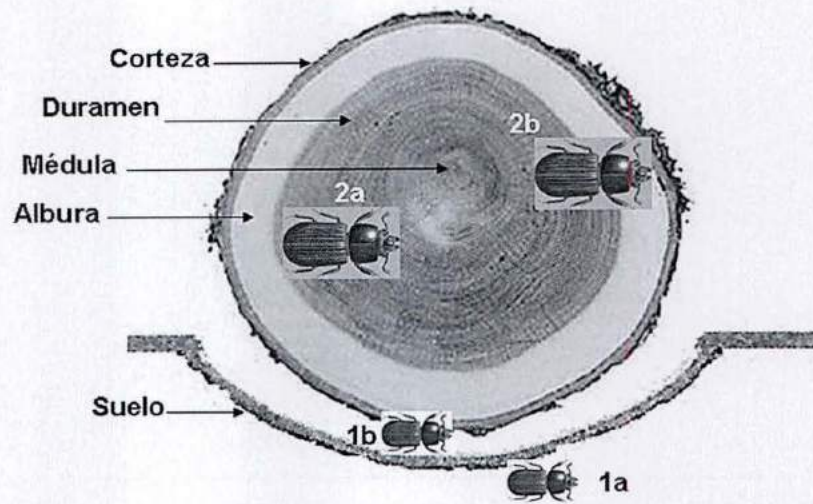


Figura 3. Microzonas como nanohábitats de estudio en la distribución de escarabajos pasálidos, a nivel de microescala. 1a) individuos edáficos. 1b) individuos subcortícolos. 3) individuos corticícolas. 2a-b) individuos albuo-duramícolos (basado en Castillo, 1987).





ESTADOS DE DESCOMPOSICIÓN	ESPECIES COLONIZADORAS
I 	<i>Paxillus leachi</i> <i>Passalus (Passalus) interstitialis</i> <i>Passalus (Passalus) punctiger</i> <i>Passalus (Pertinax) rhodocanthopoides</i>
II 	<i>Paxillus leachi</i> <i>Passalus (Passalus) interstitialis</i> <i>Passalus (Passalus) punctiger</i> <i>Passalus (Pertinax) rhodocanthopoides</i>
III 	<i>Passalus (Pertinax) convexus</i> <i>Passalus (Pertinax) epiphanooides</i> <i>Passalus (Passalus) barrus</i> <i>Verres furcibrabis</i> <i>Veturius platyrhinus</i>
IV 	<i>Passalus (Passalus) interruptus</i>

Figura 4. Sustratos leñosos (troncos) como micróhábitats de estudio en la distribución de escarabajos pasálidos a nivel de mesoescala (se señalan estados de descomposición basados en Fonseca, 1988).

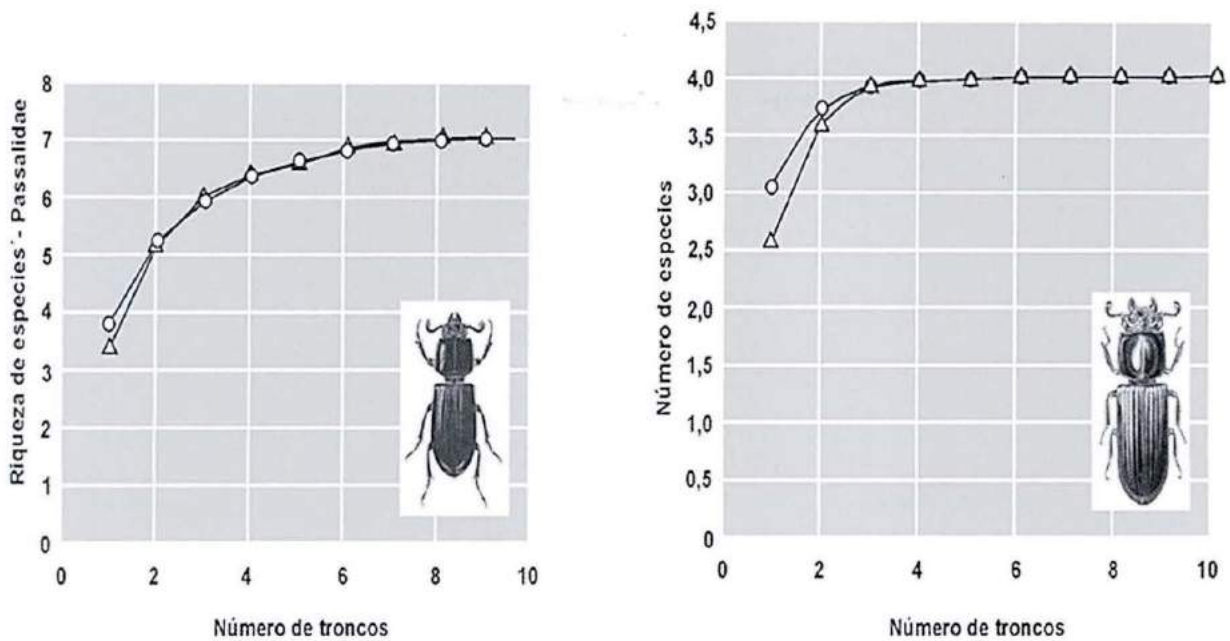


Figura 5. Estimaciones de diversidad local en dos sitios de la Cordillera Oriental de Colombia. a) Bosques de Soche, municipio de Granada (Cundinamarca). b) Bosques de La Mesa (Cundinamarca). Δ = riqueza observada por curva acumulativa, o=riqueza estimada mediante el estimador Coleman (tomado de Amat-García y Reyes-Castillo, 2002).

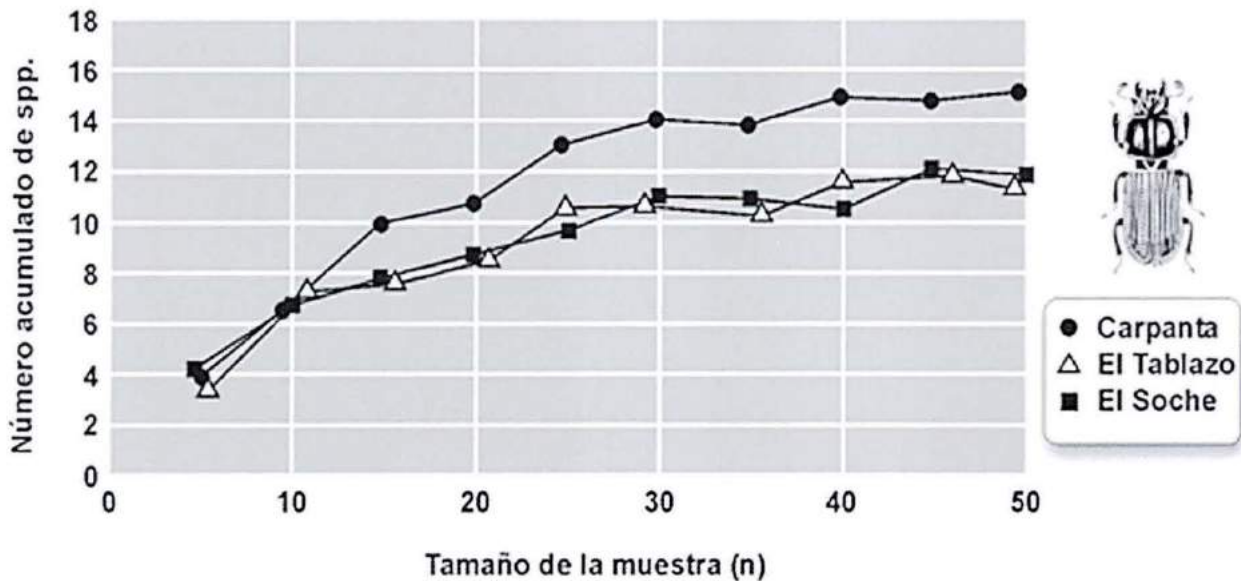


Figura 6. Riqueza beta (estimador Chao-1) en una comunidad de escarabajos pasálidos bajo un gradiente de perturbación del bosque (tomado de Amat-García y Reyes-Castillo, 2002).



Figura 7. Delimitación de unidades de información geográfica para la estimación de la riqueza de la fauna pasálida en Colombia (tomado de Amat-García y Reyes-Castillo, 2002).

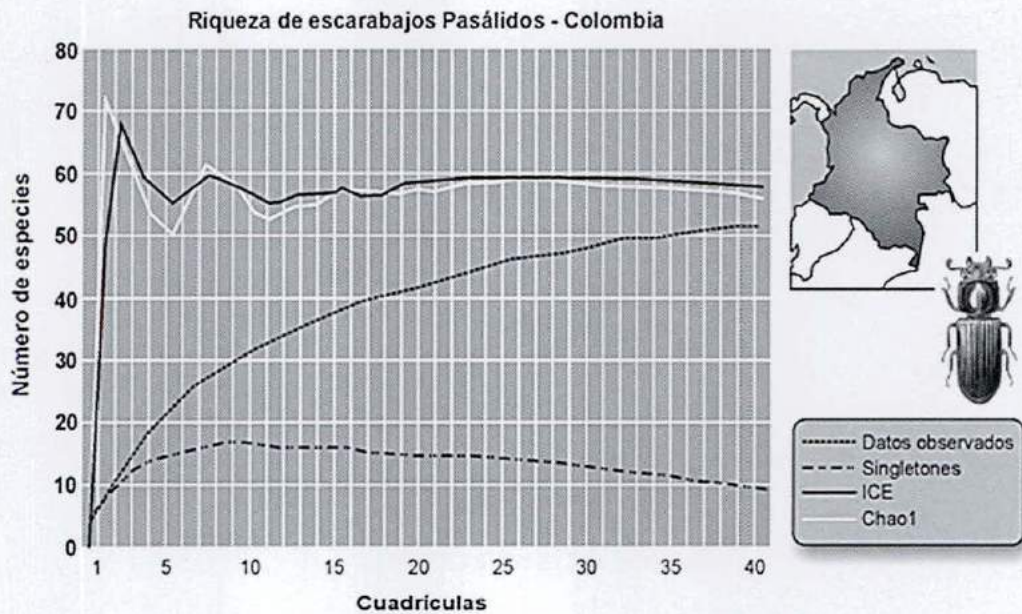
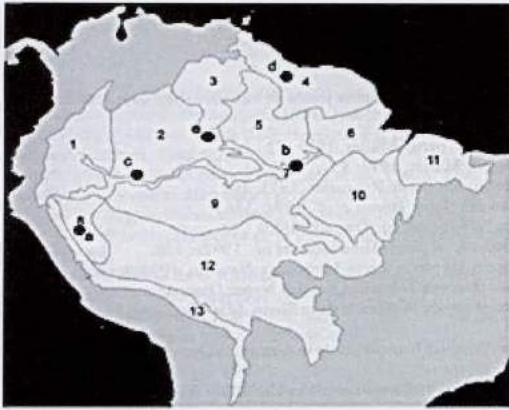
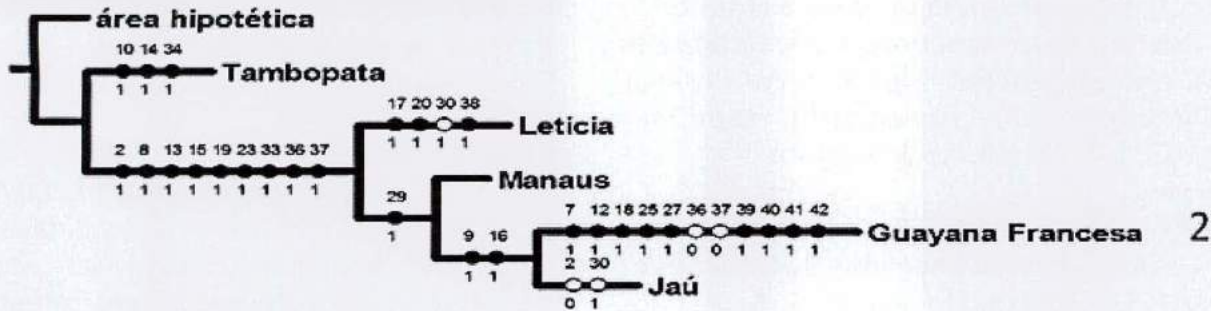


Figura 8. Riqueza estimada de escarabajos pasálidos en Colombia (tomado de Amat-García y Reyes-Castillo, 2002).



1



2

Figura 8. 1) Delimitación de las 13 provincias de la subregión Amazónica (Morrone, 2001) y localización de 5 áreas con su fauna pasálida conocida para un Análisis de Parsimonia de Endemismos (PAE). 1=Napo. 2=Imeri. 3=Guyana. 4=Guyana Húmeda. 5=Roraima. 6= Amapá. 7=Varzea. 8=Ucayali. 9=Madeira. 10=Tapajos-Xingú. 11=Pará. 12=Pantanal. 13= Yungas. a) Tambopata; b) Manaus; c) Leticia; d) Guyana; e) Jaú. 2) Cladograma resultante del PAE que muestra las relaciones entre las 5 áreas L (longitud)=50, CI (índice de consistencia)=0.86, RI (índice de retención)=0.55.

Referencias Bibliográficas

ABELLÁN, P. SÁNCHEZ FERNÁNDEZ, D., RIBERA, I., VELASCO, J., A. MILLÁN. 2005. Propuesta de una metodología para evaluar la vulnerabilidad de insectos. *Boletín de la SEA* 26:4-8.

AMAT-G, G.D. 1994. Los Insectos como modelos biológicos en estudios de biodiversidad y conservación-I. *El Entomólogo, Boletín de la Sociedad Colombiana de Entomología (SOCOLEN)*, 21(75): 4-5

AMAT-G, G.D. 1995. Los Escarabajos como modelos biológicos en estudios de biodiversidad y Conservación-II-. *Revista Innovación y Ciencia*.

AMAT-G, G.D. 1996. Insectos, Biodiversidad, Conservación: ¿cómo monitorear insectos en Colombia? En: *Insectos de Colombia: Estudios Escogidos*, Vol I, 37-64.

AMAT-G, G.D., P. REYES-CASTILLO. 1996. Escarabajos-pasálidos de Colombia II: Distribución geográfica y Altitudinal. En: *Insectos de Colombia: Estudios Escogidos*, Vol. I, 75-92.

AMAT, G. 1999. Insectos, Ecología y Paisajes. *El Entomólogo, Bol. Soc. Col. Ent. (SOCOLEN)*, 26(75). Bogotá.

AMAT-G, G.D., P. REYES-CASTILLO 1999. "Escarabajos - pasálidos" de Colombia. IV: *Tipificando las especies de*

- montaña. G. Amat & P. Reyes-Castillo. En: G. Amat, M. Gonzalo Andrade & F. Fernández (editores). 1999. *Insectos de Colombia. Estudios Escogidos*. Vol. II". Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Colección "Jorge Álvarez Lleras", No 15. Santafé de Bogotá.
- AMAT-G., G.D. 1999. "Escarabajos-pasálidos" de Colombia: su relación con el paisaje en la Cordillera Oriental". *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, Volumen 23, suplemento especial, 163-170. Santafé de Bogotá.
- AMAT-G., G.D. y P. REYES-CASTILLO. 2002. Los Coleoptera Passalidae de Colombia. VII. En: Costa, C.; Vanin, S. & J. Lobo (eds.). 2002. *Pribes-2002: Proyecto Iberoamericano de Biogeografía y Entomología Sistemática*. Monografías Tercer Milenio. Vol. 2, p. 139-151. SEA. España.
- AMAT-G., & D. TRUJILLO. 2004. Escarabajos (Coleóptera: Scarabaeoidea) en el Chocó Biogeográfico-Catálogo. Págs. 745-754 en: *Colombia Diversidad Biótica IV: El Chocó biogeográfico /Costa Pacífica*. Rangel, O. (editor). Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia. 1024 pp.
- AMAT-G., G.D.; BLANCO-VARGAS, E. & REYES-CASTILLO, P. 2004. Lista de especies de los escarabajos pasálidos (Coleoptera: Passalidae) de Colombia. IX. *Biota Colombiana* 5(2): 173-182.
- AMAT-G., G., D. P. REYES-CASTILLO. 2007. Los Passalidae (Coleoptera: Scarabaeoidea) del depto. del Amazonas, Colombia. XI. *Caldasia* 29(2): 329-359.
- AMAT-G., G.D., & G. ANDRADE, & E. AMAT (EDS.). 2007. *Libro Rojo de los invertebrados terrestres de Colombia*. Instituto de Ciencias Naturales-Conservación Internacional-Instituto Humboldt-Ministerio de Ambiente 216 pp. Bogotá.
- ARELLANO, L., G. HALFFTER. 2003. Gamma diversity. Derived from and a determinant of alpha diversity and beta diversity. An analysis of the three tropical landscapes. *Acta Zool. Mex.* 90:27-76.
- GALINDO, CARDONA A., GIRAY, T., SABAT, A., P. REYES-CASTILLO. 2007. Bess beetle (Coleoptera: Passalidae): substrate availability, dispersal and distribution in a subtropical wet forest. *Ann. Ent. Soc. Am.* 100 (5): 711-720.
- HALFFTER, G., M. E. FAVILA. 1993. The Scarabaeinae (Insecta: Coleoptera), an animal group for analyzing, inventorying and monitoring biodiversity in tropical rain forest and modified landscapes. *Biol. Int.* 27: 15-21.
- HALFFTER, G. 1998. A strategy for measuring landscape biodiversity. *Biol. Int.* 36: 3-17.
- JIMÉNEZ-FERBANS, L., G. D. AMAT-G. 2009. Sinopsis de los Passalidae (Coleoptera: Scarabaeoidea) del Caribe colombiano. *Caldasia* 31(1): 155-173. Colombia.
- JIMÉNEZ-FERBANS, L., G. AMAT-G., P. REYES-CASTILLO. 2010. Diversity and distribution patterns of Passalidae (Coleoptera: Scarabaeoidea) in the Caribbean region of Colombia. *Trop. Zool.* 23:147-164.

- JIMÉNEZ-FERBANS, L., G. AMAT-G. 2011. Avaliacao da diversidade alfa de Passalidae (Coleoptera: Scarabaeoidea) na Amazonia colombiana (Parque Nacional Natural La Paya, Putumayo). *Acta Amazónica* 41(3): 415-420.
- HANSKI, I. 1980a. Spatial variation in the timing of the seasonal occurrence in coprophagous beetles. *Oikos* 34: 293-310.
- HANSKI, I. 1980b. Spatial patterns and movements in coprophagous beetles. *Oikos* 34:311-321.
- KATTAN, G. , MURCIA, C., GALINDO, ALBERTO. 2010. An evaluation of bess beetles (Passalidae) and their resource base in a restored Andean forest. *Trop. Conserv. Sc.* 3(3):334-343.
- MORÓN, M. A. 1997. Inventarios faunísticos de los Coleoptera Melolonthidae Neotropicales con potencial como bioindicadores. *G. it. Ent.* 8:265-274.
- CASTILLO, M. L. 1987. Descripción de la comunidad de Coleoptera Passalidae en el bosque perennifolio tropical de la región de Los Tuxtlas, Veracruz. Tesis. Facultad de Ciencias. UNAM. México.
- HALFFTER, G., C. MORENO. 2005. Significado biológico de las diversidades alfa, beta y gamma. En: Halffter, G. , Soberón, J. Koleff, P. , A. Melic. Sobre diversidad biológica: el significado de las diversidades alfa, beta y gamma. S.E.A. 4: 5-18. Zaragoza, España.
- MORENO, C., G. HALFFTER. 2001. Spatial and temporal analysis of the alpha, beta and gamma diversities of bats in a fragmented landscape. *Biodiversity and Conservation* 10: 367-382.
- MORRONE, J. J., T. ESCALANTE. 2002. Parsimony Analysis of Endemicity (PAE) of Mexican terrestrial mammals at different area units: When size matters. *J. Biogeogr.* 29:1095-1104.
- RABINOVICH, D. , CAIRNS, S. , T. DILLON. 1986. Seven forms of rarity and their frequency in the flora of the british isles. 182-204. In: Soulé, M. (ed.). Conservation biology: the science of scarcity and diversity. Sinauer Ass. Sunderland.
- REYES-CASTILLO, P. 2002. Passalidae. En: Llorente-B. J., J.J.Morrone (eds.). Biogeografía, Taxonomía y Biogeografía de Artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento. Vol.III. UNAM. 467-483. México D.F.
- REYES-CASTILLO, P., G.D.AMAT-G & C. FONSECA. 2005. Análisis de Parsimonia de Endemismos de Passalidae (Coleoptera: Scarabaeoidea) de la subregión Amazónica. En: Llorente J. & J. J. Morrone (eds). 2005. Regionalización biogeográfica en Iberoamérica y tópicos afines. CYTED-UNAM-CONABIO. P. 461-467. México D.F.
- REYES-CASTILLO, P., C.V. ROJAS-GÓMEZ, H. VÁSQUEZ. 2006. Patrones de distribución de la familia Passalidae (Coleoptera): 237-270. En: Morrone, J. J. ,J. Llorente-Bousquets (eds.). Componentes bióticos principales de la entomofauna mexicana, Vol. I, Las Prensas de Ciencias, UNAM, México, D.F.
- SCHUSTER, J. 1992. Biotic areas and the distribution of passalid beetles (Coleoptera) in northern central America : Post-pleistocene montane refuges. In: *Biogeography of Mesoamerica*. Tulane Studies in

Zoology and Botany, supplementary
publ. 1: 285-293.

SCHUSTER, J., CANO, E. , C. CARDONA.
2000. Un método sencillo para
priorizar la conservación de los
bosques nubosos de Guatemala,
usando Passalidae (Coleoptera) como
organismos indicadores. *Acta Zool.
Mex. (n.s.)*. 21(2: 115-132.

SOBERÓN, J., J. LLORENTE. 1993. The
use of species accumulation functions
for de predictions of species richness.
Conserv. Biol. 7: 480-488.

O uso da família Baetidae (Ephemeroptera) como bioindicador no Brasil

Frederico Falcão Salles

Depto. de Ciências Agrárias e Biológicas, Universidade Federal do Espírito Santo, CEP 29.933-415, São Mateus, ES, Brazil.
E-mail: ffsalles@gmail.com

Resumo

Dentre os macroinvertebrados bentônicos, insetos da ordem Ephemeroptera, em conjunto com Plecoptera e Trichoptera, vêm sendo utilizados como um dos mais importantes grupos em estudos de biomonitoramento. Baetidae, por representar a família de Ephemeroptera com o maior número de espécies, bem como uma das mais abundantes, pode ser considerada como um excelente candidato a bioindicador. Apesar disso, poucos são os estudos focados na utilização desta família como bioindicador no Brasil. Com isso em mente, o presente trabalho tem por objetivo apresentar uma síntese do que já foi ou vem sendo realizado no Brasil a respeito do tema, discutindo as metodologias, vantagens e/ou desvantagens do uso da família como bioindicadora, bem como apontar medidas que podem ser tomadas no intuito de estimular a utilização do grupo. Apesar dos resultados promissores encontrados nos poucos trabalhos que abordam o grupo de forma mais detalhada, a utilização de Baetidae como bioindicadores encontra alguma dificuldades, principalmente no que diz respeito a identificação do grupo, conhecimento faunístico e disponibilização de dados ecológicos. Iniciativas conjuntas, envolvendo taxonomistas, ecólogos e gestores devem ser estimuladas para suprir essas deficiências.

Palavras-chave: Insetos Aquáticos. Biomonitoramento. América do Sul. Macroinvertebrados Bentônicos.

Abstract

Among the benthic macroinvertebrates, insects of the order Ephemeroptera, together with Plecoptera and Trichoptera, are being used as one of the most important groups in biomonitoring studies. Baetidae, the family of Ephemeroptera with the largest number of species as well as one of the most abundant, can be regarded as an excellent candidate for a bioindicator. Despite this, few studies focused on the use of family as a bioindicator in Brazil were performed. With that in mind, this paper aims to present a synthesis of what has been or is being held in Brazil on the subject, discussing the methodology, advantages and / or disadvantages of using the family as a bioindicator, and to identify measures that can be taken in order to stimulate the use of the group. Despite promising results in the few studies addressing the group in more detail, the use Baetidae as bioindicators find some difficulties. Especially regarding the identification of their representatives, lack of faunistic knowledge, and few ecological data available. Coordinated initiatives, involving taxonomists, ecologists, and managers should be encouraged to address these deficiencies.

Palavras-chave: Aquatic Insects. Biomonitoring. South America. Macroinvertebrate.

Introdução

Insetos aquáticos e outros macroinvertebrados bentônicos são os organismos mais utilizados em estudos de biomonitoramento de ambientes de água doce (Bonada *et al.*, 2005). No Brasil, apesar de recentes, estudos envolvendo macroinvertebrados como bioindicadores vêm aumentando nos últimos anos (Buss, 2001, Buss *et al.*, 2002, Callisto *et al.*, 1998, Silveira *et al.*, 2005). Contudo, em virtude de alguns fatores, como o limitado conhecimento taxonômico e a carência de informações sobre a distribuição dos grupos, a maioria aborda os táxons em níveis taxonômicos supra-específicos (Buss e Salles, 2007).

Dentre os macroinvertebrados bentônicos, insetos da ordem Ephemeroptera, em conjunto com Plecoptera e Trichoptera, vêm sendo utilizados como um dos mais importantes grupos em estudos de biomonitoramento (Righi-Cavallaro *et al.*, 2010). Diversas características encontradas em Ephemeroptera, como o fato de serem ubíquos, diversos e abundantes, facilmente coletados, apresentarem distintas respostas à diferentes graus de poluição, etc, os classificam como excelentes bioindicadores.

Baetidae, por sua vez, como representa a família de Ephemeroptera com o maior número de espécies (Barber-James *et al.*, 2008), bem como uma das mais abundantes, pode ser considerada como um excelente candidato a bioindicador. No Brasil a família é atualmente representada por 72 espécies e 21 gêneros, representando dessa forma o grupo mais diversificado de Ephemeroptera no país (Salles *et al.*, 2011b). E segundo diversos autores (e.g. Buss e Salles, 2007, Goulart e Callisto 2005, Francischetti *et al.*, 2004) é a mais abundante dentre as famílias de Ephemeroptera no país. Entretanto,

a despeito dessas aparentes vantagens, estudos envolvendo integrantes de Baetidae como bioindicadores não são tão comuns no Brasil.

Com essas questões em mente, o presente trabalho tem por objetivo apresentar uma síntese do que já foi ou vem sendo realizado no Brasil a respeito do tema, discutindo as metodologias, vantagens e/ou desvantagens do uso da família como bioindicadora, bem como apontar medidas que poderiam ser tomadas no intuito de estimular a utilização do grupo.

Material e métodos

Com o intuito de encontrar artigos que abordassem Baetidae como bioindicadores no Brasil, foram pesquisados diversos artigos que abordam o uso de macroinvertebrados bentônicos ou insetos aquáticos como bioindicadores de qualidade de água no país. A partir desta busca foram investigados aqueles que por ventura abordam ou citam a família, independente do nível taxonômico. Diante dos resultados encontrados, também foram investigados em que nível de organização biológica [de biomolecular a ecossistema, veja Buss *et al.*, (2008) para maiores detalhes] os integrantes de Baetidae são abordados.

Resultados

Uma vez que Baetidae é um dos grupos de macroinvertebrados mais abundantes, praticamente todos os artigos que abordam os temas "macroinvertebrados" ou "insetos aquáticos" e "bioindicadores" ou "biomonitoramento" para o Brasil, desde que não restrinjam a identificação dos grupos em nível de ordem, citam a família. Contudo, a grande maioria aborda os representantes de Baetidae dentro de uma única categoria (e.g. Strieder *et al.*, 2006, Monteiro *et al.*, 2008), ou então identificam alguns

poucos representantes em nível genérico, mantendo os táxons de difícil determinação agrupados (e.g. Callisto e Goulart, 2001). Felizmente, trabalhos abordando gêneros que não ocorrem no Brasil ou na América do Sul são escassos atualmente. Com relação à natureza do trabalho, foram encontrados somente artigos que abordam representantes de Baetide no nível de organização biológica de comunidade, seja através de agrupamentos taxonômicos (e.g. Buss *et al.*, 2002, Callisto e Goulart, 2001, Strieder *et al.*, 2006, Monteiro *et al.*, 2008), seja através de guildas tróficas (e.g. Cummins *et al.*, 2005).

Artigos que agrupam os representantes da família dentro de uma única categoria, bem como índices aplicados em estudos de biomonitoramento, classificam Baetidae como um grupo intermediário no que diz respeito às suas respostas a alterações antropogênicas (Armitage *et al.*, 1983, Hilsenhoff, 1988). Principalmente, vale ressaltar, em virtude do aumento da abundância do grupo em áreas consideradas sob impacto antropogênico de nível intermediário (Buss e Salles, 2007).

Artigos que relacionam Baetidae e bioindicadores no Brasil, mas que abordam os representantes da família em um nível taxonômico menor, como gênero ou espécie, estão restritos a somente dois trabalhos publicados: Buss e Salles (2007) e Souza *et al.*, (2010). Detalhes sobre a metodologia empregada pelos diferentes autores podem ser averiguados diretamente nas publicações supracitadas, mas podem ser resumidos da seguinte maneira. Em Souza *et al.*, (2010) os parâmetros diversidade beta e riqueza foram correlacionados à análises físico-químicas da água, bem como à integridade dos córregos amostrados medida através do Índice de Integridade

de Hábitat proposto por Nessimian *et al.*, (2008). Já em Buss e Salles (2007), além de uma abordagem semelhante, na qual composição, riqueza e abundância foram correlacionadas à qualidade dos córregos, medida a partir do método de avaliação visual RCE (Petersen, 1992) e variáveis físico-químicas, a preferência das espécies de Baetidae por mesohabitats também foi investigada.

Discussão

Como era de se esperar, os trabalhos que abordaram Baetidae com uma resolução taxonômica mais apurada, e que estavam focados somente na família, apresentaram resultados mais elaborados, embora concordantes em alguns aspectos, quando comparados aqueles que abordaram os representantes de Baetidae dentro de uma categoria única.

Dentro dessa ótica, o principal aspecto apresentado por Buss e Salles (2007) diz respeito ao grau de tolerância das espécies amostradas. Das nove espécies encontradas por esses autores (agrupadas em seis gêneros), uma foi considerada tolerante, duas muito sensíveis, duas sensíveis e quatro algo sensíveis. De grande relevância, duas espécies do mesmo gênero, *Americabaetis alphas* Lugo-Ortiz & McCafferty e *A. labiosus* Lugo-Ortiz & McCafferty, foram classificadas em categorias opostas (tolerante e muito sensível, respectivamente). Demonstrando, dessa forma, que mesmo a identificação em nível genérico pode comprometer a interpretação dos resultados.

O artigo de Buss e Salles (2007), por procurar também encontrar uma relação entre as espécies e os mesohabitats estudados, foi capaz de compreender, sob o ponto de vista das condições físicas

do habitat, porque algumas espécies não foram encontradas em determinados sítios. Informações sobre aspectos ecológicos das espécies, como ocupação de mesohabitat e categoria funcional alimentar, são extremamente raras para representantes de Baetidae, ou mesmo para Ephemeroptera no Brasil. Informações como essas são de grande valia para estudos de biomonitoramento, uma vez que permitem uma melhor compreensão dos aspectos que causaram o aumento, ou a diminuição das populações estudadas.

O artigo de Souza *et al.*, (2010), apesar de encontrar um número superior de espécies ou morfoespécies (vinte em onze gêneros), não se preocupou com a composição das espécies ao analisar os dados, somente com a diversidade beta e a riqueza estimada. De qualquer forma, os dados se mostraram extremamente relevantes. Os locais com nível de integridade intermediário foram os que apresentaram a maior riqueza (mesmo resultado encontrado em Buss e Salles, 2007), os mais degradados apresentaram a menor riqueza e, por fim, houve uma relação positiva entre a diversidade beta e os valores de integridade do habitat. Fica claro, diante dos resultados encontrados por Buss e Salles (2007) e por Souza *et al.*, (2010), que as respostas apresentadas por gêneros ou mesmo espécies de Baetidae à degradação ambiental são distintas e que estudos que agrupam os representantes de Baetidae sob uma mesma categoria, não só família mas eventualmente até mesmo gênero, acabam simplificando essas respostas e dificultando algumas interpretações.

Buss e Salles (2007) relacionam as razões que os motivaram a escolher Baetidae para o estudo em questão. Apesar de algumas estarem envolvidas com a área de estudo, a maioria, se não todas,

podem ser encaradas como vantagens para o uso dos representantes da família como bons bioindicadores, e podem ser estendidas a todo o território brasileiro. 1) É uma das famílias mais diversas de Ephemeroptera, aumentando o espectro de respostas a diferentes impactos; 2) é um dos macroinvertebrados mais abundantes, sendo facilmente amostrados; 3) suas ninfas são encontradas em uma grande variedade de mesohabitats, aumentando a chance de detecção de impactos; 4) é um dos poucos grupos de insetos aquáticos cuja identificação das espécies é realizada preferencialmente com base no estágio imaturo; e 5) nos últimos dez anos é um dos grupos de macroinvertebrados mais estudados no Brasil e América do Sul. Somado a isso se pode incluir a existência de chaves atuais para identificação de gêneros e espécies (Salles *et al.*, 2004, Domínguez *et al.*, 2006, Salles *et al.*, 2010, 2011a) e o fato de que as ninfas de Baetidae apresentam uma grande variedade de hábitos alimentares, sendo enquadradas portanto em diversas categorias funcionais alimentares.

A despeito dessas vantagens, o pouco número de artigos que identificam gêneros e/ou espécies de Baetidae, não só de biomonitoramento, mas também de cunho ecológico, demonstra que a identificação dos seus representantes não é uma tarefa simples. Além disso, vale ressaltar que os dois artigos abordam exclusivamente a família. Em primeiro lugar, o grupo é bastante diverso e, dependendo da área estudada, um grande número de espécies pode ser encontrado. Em segundo lugar, a abundância do grupo e a semelhança geral entre as ninfas, distintas muitas vezes com base em peças bucais, podem ser fatores complicadores e que, por conseguinte, demandam muito tempo. Contudo, parâmetros mais simples de

serem avaliados, como abundância, ou relativamente mais simples, como riqueza estimada, podem alcançar resultados satisfatórios de acordo com a resposta procurada e o tempo disponível para o estudo.

Conclusões

Diante do exposto, estudos de biomonitoramento envolvendo Baetidae no Brasil apresentam resultados satisfatórios e demonstram o grande potencial do grupo como bioindicador. Contudo, ao se utilizar a família como bioindicador, diversos aspectos devem ser considerados. Em avaliações rápidas ou naquelas que envolvem diversos grupos taxonômicos, seus representantes dificilmente podem ser identificados em um nível taxonômico menor, mas isso não significa que as respostas apresentadas pelo grupo sejam insatisfatórias. Já em estudos onde o tempo não é um fator limitante, os poucos que foram realizados demonstram claramente as vantagens da utilização da família, mesmo que seja o único grupo a ser estudado.

Para que um número maior de trabalhos seja desenvolvido utilizando a família, algumas ações são necessárias. Primeiramente, é inviável realizar trabalhos desse tipo sem que se conheça relativamente bem a composição de Baetidae na área estudada. Logo, levantamentos regionais da fauna, trabalhos muitas vezes negligenciados por pesquisadores ou meios de comunicação científica, são indispensáveis. A proposição de chaves de identificação, desde que elaboradas de forma simples e bem ilustradas, é outra medida que facilitará a utilização de Baetidae como bioindicadores. A partir do momento que essas informações se tornem disponíveis, ecólogos também terão acesso e serão capazes de gerar informações a respeito da biologia e ecologia de Baetidae que auxiliarão estudos de biomonitoramento.

Portanto, para que mais trabalhos sejam desenvolvidos utilizando o grupo como bioindicador, e para que esses sejam de qualidade e disponibilizem informações relevantes para a manutenção e conservação dos nossos recursos hídricos, iniciativas conjuntas, envolvendo taxonomistas, ecólogos e gestores devem ser estimuladas.

Referencias Bibliográficas

- ARMITAGE, P. D.; MOSS, D.; WRIGHT, J. F.; FURSE, M. T. 1983. The performance of a new biological water quality score system based on macro-invertebrates over a wide range of unpolluted running-water sites. *Water Research*, 17, 333-347.
- BARBER-JAMES, H. M.; GATTOLIAT, J-L.; SARTORI, M.; HUBBARD, M. D. 2008. Global diversity of mayflies (Ephemeroptera, Insecta) in freshwater. *Hydrobiologia* 595: 339-350.
- BONADA, N.; PRAT, N.; RESH, V. H.; STATZNER, B. 2006. Developments in aquatic insect biomonitoring: comparative analysis of recent approaches. *Annual Review of Entomology* 51: 495-523.
- BUSS, D. F.; SALLES, F. F. 2007. Using Baetidae species as biological indicators of environmental degradation in a Brazilian River Basin. *Environmental Monitoring Assessment* 130: 365-372.
- BUSS, D. F. 2001. Utilizando macroinvertebrados no desenvolvimento de um procedimento integrado de avaliação da qualidade da água de rios. MS Dissertation. PPGE-UFRJ, Rio de Janeiro. ix + 132p.
- BUSS, D. F.; OLIVEIRA, R. B.; BAPTISTA, D. F. 2008. Monitoramento biológico de

- ecossistemas aquáticos continentais. *Oecologia Brasiliensis* 12: 339-345.
- BUSS, D. F.; BAPTISTA, D. F.; SILVEIRA, M. P.; NESSIMIAN, J. L.; DORVILLÉ, L. F. M. 2002. Influence of water chemistry and environmental degradation on macroinvertebrate assemblages in a river basin in south-east Brazil. *Hydrobiologia* 481: 125-136.
- CALLISTO, M.; ESTEVES, F. A.; GONÇALVES, J. F. JR.; FONSECA, J. J. L. 1998. Benthic macro-invertebrates as indicators of ecological fragility of small rivers ('igarapés') in a bauxite mining region of Brazilian Amazonia. *Amazoniana* 15 (1); 1-9.
- CUMMINS, K. W.; MERRIT, R. W.; ANDRADE, C. N. 2005. The use of invertebrate functional groups to characterize ecosystem attributes in selected streams and rivers in south Brazil. *Studies on Neotropical Fauna and Environment* 40: 71-90.
- DOMÍNGUEZ, E.; MOLINERI, C.; PESCADOR, M. L.; HUBBARD, M. D.; NIETO, C. 2006. Ephemeroptera of South America. In: ADIS, J.; ARIAS, J.R.; RUEDA-DELGADO, G.; WANTZEN, K.M. eds. *Aquatic Biodiversity in Latin America (ABLA)*. Sofia-Moscow, Pensoft, 2: 644p.
- FRANCISCHETTI, C. N.; DA SILVA, E. R.; SALLES, F. F.; NESSIMIAN, J. L. 2004. A efemeroterofauna (Insecta: Ephemeroptera) do trecho ritral inferior do Rio Campo Belo, Itatiaia, RJ: composição e mesodistribuição. *Lundiana* 5 (1): 33-39.
- GOULART, M.; CALLISTO, M. 2005. Mayfly diversity in the Brazilian tropical headwaters of Serra do Cipó. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 48 (6): 983-996.
- HILSENHOFF, W. L. 1988. Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index. *Journal of North American Benthological Society*, 7(1), 65-68.
- MONTEIRO, T. R.; OLIVEIRA, L. G.; GODOY, B. S. 2008. Biomonitoramento da Qualidade de Água Utilizando Macroinvertebrados Bentônicos: Adaptação do Índice Biótico Bmwp' à Bacia do Rio Meia Ponte-Go. *Oecologia Brasiliensis* 12: 553-563.
- NESSIMIAN, J. L.; VENTICINQUE, E. M.; ZUANON, J.; DE-MARCO-JR. P.; GORDO, M.; FIDELIS, L.; BATISTA, J. D.; JUEN, L. 2008. Land use, habitat integrity and aquatic insect assemblages in Central Amazonian streams. *Hydrobiologia* 614 (1): 117-131.
- PETERSEN, R. C. JR. 1992. The RCE: A Riparian, Channel, and Environmental inventory for small streams in the agricultural landscape. *Freshwater Biology* 7: 295-306.
- RIGHI-CAVALLARO, K. O.; SIPES, M. R.; SIEGLOCH, A. E. 2010. Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera assemblages in Miranda River basin, Mato Grosso do Sul State, Brazil. *Biota Neotrópica* 10, 253-260.
- SALLES, F. F.; RAIMUNDI, E. A.; BOLDRINI, R.; SOUZA-FRANCO, G. M. 2010. The genus *Americabaetis* Kluge (Ephemeroptera: Baetidae) in Brazil: new species, stage description, and key to nymphs. *Zootaxa* 2560: 16-28.
- SALLES, F. F.; DA-SILVA, E. R.; SERRAO, J. E.; FRANCISCHETTI, C. N. 2004. Baetidae (Ephemeroptera) from Southeastern Brazil: New records and key to nymph genera. *Neotropical Entomology* 33 (6): 725-735.

SALLES, F. F.; BOLDRINI, R.; CAVALCANTE DO NASCIMENTO, J. M.; SHIMANO, Y. F.; RAIMUNDI, E. 2011a. Check list das espécies de Ephemeroptera registradas para o Brasil. <http://ephemeroptera.br.googlepages.com/home>. Data da última revisão: 24 maio 2011. Data do último acesso: [14 junho 2011].

SALLES, F. F.; BOLDRINI, R.; SHIMANO, Y. F.; CABETTE H. R. S. 2011b. Review of the genus *Aturbina* Lugo-Ortiz & McCafferty (Ephemeroptera: Baetidae). *Annales de Limnologie* 46: 207-215.

SILVEIRA, M. P.; BUSS, D. F.; NESSIMIAN, J. L.; EGLER, M.; BAPTISTA, D. F. 2005. Application of biological measures for stream integrity assessment in South-East Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment* 101: 117-128.

SOUZA, H. M. L.; LEANDRO, J.; CABETTE, H. R. S. 2011. Diversidade Beta de Baetidae (Ephemeroptera) em Córregos da Bacia Hidrográfica do Rio Pindaíba (MT). In: SANTOS, J.E.; GALBIATI, C.; MOSCHINI, L.E.;. (Org.). *Gestão e Educação Ambiental: Água, Biodiversidade e Cultura*. Rima Editora, São Carlos, 3: 109-123p.

STRIEDER, M. N.; RONCHI, L. H.; STENERT, C; SCHERER, R. T.; NEISS, U. G. 2006. Medidas Biológicas e Índices de Qualidade da Água de uma Microbacia com Poluição Urbana e de Curtumes no Sul do Brasil. *Acta Biologica Leopoldensia* 28(1):17-24.

Simpósios
Acarologia



Problemática de ácaros asociados al cultivo de cítricos en ColombiaIsaura Viviana Rodríguez T.¹,
Nora Cristina Mesa C.²¹I.A. Estudiante de Doctorado en Ciencias Agropecuarias, Línea Protección de Cultivos, Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. ivrodriguez@palmira.unal.edu.co, isauraviviana@gmail.com.²Ph.D. Entomología, Profesora Asociada Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. ncmesac@palmira.unal.edu.co.**Introducción**

Los cítricos son una fuente importante de ácido ascórbico, vitamina C y otros antioxidantes cuyo consumo frecuente ayuda a prevenir enfermedades (Morera Olmos, 1999). De acuerdo con Spreen (2001) la producción y el consumo a nivel mundial de cítricos como fruta fresca o como producto procesado se ha incrementado en los últimos años, lo que significa que la demanda continuará creciendo y que las perspectivas en el largo plazo para los citricultores son positivas. No obstante, la participación de Colombia en este mercado es marginal ya que existen serias limitaciones especialmente en el manejo integrado de plagas (Espinal *et al.*, 2005; Orduz, 2010).

Dentro de los principales artrópodos asociados a los cítricos en Colombia se encuentran homópteros (escamas), áfidos, moscas blancas, lepidópteros comedores de follaje y minadores de hojas (León, 2001). Recientemente se ha puesto especial interés en el manejo fitosanitario del cultivo por los riesgos que representan el picudo de los cítricos (*Compsus* sp.), el 'Greening' o 'Huanglongbing' (HLB) transmitido por *Diaphorina citri*

Kuwayama, la leprosis de los cítricos cuyo vector es el ácaro *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes), la clorosis variegada de los cítricos y la chancrosis de los cítricos (Orduz, 2010; Palacino, 2010) entre otros problemas patogénicos. Además de estas amenazas, Mesa (2010) reportó la presencia del ácaro *Schizotetranychus industanicus* (Hirst) en algunas regiones de la Costa Atlántica de Colombia lo que incrementa el riesgo de daño en este cultivo, tal como ocurre en Venezuela y Brasil (Navia y Marsaro, 2010). Ante esta situación es necesario que las autoridades fitosanitarias desarrollen planes de contingencia tendientes a controlar la expansión de esta plaga (Orduz, 2010; Palacino, 2010). En el caso de los ácaros, las familias Eriophyidae, Tarsonemidae, Tetranychidae y Tenuipalpidae se consideran plagas de importancia económica (León, 2001; Palacino, 2010; Mesa, 2010).

En el presente documento se hace una revisión de algunos aspectos generales de las especies de ácaros más importantes que atacan el cultivo de cítricos en Colombia y se presentan resultados de investigaciones recientes sobre el problema, lideradas por la

Universidad Nacional de Colombia sede Palmira en colaboración con la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica) Regionales Palmira y La Selva, Agrícolas Unidas y Citriviveros dentro del Proyecto Generación de Estrategias para el Manejo Integrado de Ácaros que afectan la calidad del fruto de naranja Valencia para una producción competitiva en Colombia, financiado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

Estudios de ácaros en cultivos de cítricos en Colombia

Los estudios pioneros en ácaros asociados a cultivos de cítricos fueron desarrollados por Zuluaga (1971) en el Valle del Cauca y Urueta (1976) en Antioquia. En estos estudios se encontraron 44 especies agrupadas en 13 familias, dentro de las cuales se destacan como especies fitófagas importantes *Phyllocoptura oleivora* (Ashmead), *B. phoenicis*, *Polyphagotarsonemus latus* (Banks) y *Panonychus citri* (McGregor) además de otras especies de la familia Phytoseiidae catalogadas como enemigos naturales. Posteriormente, además de las especies mencionadas por Zuluaga, Castaño y León (1989) reportaron *Tetranychus* sp. y *Lorrya* sp. en las zonas cítricas de los departamentos de Caldas, Quindío, Risaralda y la parte Norte del Valle del Cauca. Padilla (1998) reportó en cítricos del Valle del Cauca *P. oleivora*, *Eutetranychus banksi* (McGregor), *Panonychus* sp. y *Tetranychus* pos. *mexicanus*, además de ácaros predadores de la familia Phytoseiidae. León (2001) en los Llanos Orientales de Colombia reporta *P. oleivora*, *P. latus*, *Tetranychus urticae* (Koch), *P. citri*, *E. banksi* y *B. phoenicis*. La importancia como patógeno en cítricos de esta última especie aumentó a partir de 2006, cuando León *et al.* (2006) la asociaron con la presencia de la leprosis

de los cítricos en los departamentos de Meta y Casanare.

El estudio más reciente sobre ácaros asociados a cítricos fue realizado por Mesa *et al.* (2011a) en cultivos de naranja Valencia en fincas de los departamentos de Quindío, Risaralda, Caldas, Antioquia y Valle del Cauca. Estos investigadores identificaron ácaros fitófagos que demeritan la calidad de los frutos de naranja y observaron un uso frecuente de productos agrotóxicos en algunas zonas, especialmente dirigidos al control del ácaro blanco (*P. latus*), una especie que puede causar el daño total de frutos en formación, y del ácaro tostador (*P. oleivora*). Se debe mencionar la ausencia de asistencia técnica y las aplicaciones de productos sin tener en cuenta los niveles de poblaciones de ácaros y el estado fenológico del cultivo. El ingrediente más utilizado es abamectina seguido por productos a base de clorfenapir, spiromesifen, milbecmectina, diafentiuron y azufre, entre otros. En estos mismos estudios se encontró que entre los ácaros fitófagos, la familia Tarsonemidae presenta la mayor diversidad, alcanzando 49% de las especies identificadas. Dentro de esta familia por primera vez fueron reportadas las especies *Daidalotarsonemus* sp., *Fungitarsonemus* sp., *Tarsonemus* sp. y *Phytonemus* sp. asociadas con cultivos de cítricos. Según Ochoa *et al.* (1991) algunas de estas especies llevan adheridas en el cuerpo esporas de hongos, lo que contribuye a la diseminación de enfermedades. También se confirmó la importancia económica de especies fitófagas como *P. oleivora*, *P. latus*, *B. phoenicis*, *P. citri*, *E. banksi* y la presencia de especies benéficas de las familias Phytoseiidae, Cunaxidae, Bdellidae; así como especies detritófagas de las familias Acaridae, Saprogllyphidae, Tydeidae, Oribatidae, Winterschmidtidae y Suidasidae (Tabla 1).

Generalidades de las familias de ácaros asociadas a cultivos de cítricos

Familia Tarsonemidae

En esta familia el ácaro blanco (*P. latus*) es considerado como la plaga más importante tanto en zonas tropicales como en otras regiones (Jeppson *et al.*, 1975; Hugon, 1983; Smith y Papacek, 1985; Gerson, 1992; Smith y Peña, 2002). Según Peña y Campbell (2005) en regiones templadas y subtropicales este ácaro ataca plantas en condiciones de invernadero, presenta amplia distribución geográfica y tiene más de 60 familias de plantas hospederas, algunas de las cuales contienen importantes toxinas, lo cual sugiere que el ácaro posee eficientes mecanismos de desintoxicación (Gerson, 1992; Cross-Romero y Peña, 1998). De acuerdo con Mesa *et al.* (2011a), *P. latus* predomina en zonas productoras de cítricos en el suroccidente colombiano, ocasionando pérdidas por momificación de frutos en formación que varían entre 12.5 y 100%, además de malformaciones y cicatrización en frutos de 2 a 3 meses de desarrollo. Este ácaro pasa por los estados de huevo, larva, ninfa-pupa ('Pharate female' o ninfa quiescente) y adulto. Presenta un ciclo de vida corto, como lo demuestran los estudios desarrollados por Mesa *et al.* (2011b) quienes utilizando hojas tiernas de naranja Valencia en ambiente controlado ($25 \pm 5^{\circ}\text{C}$, $70 \pm 5\%$ de HR y 12 horas luz) encontraron que presenta una generación completa en 3.2 días con 95% de sobrevivencia de inmaduros, una oviposición de 7 días, con una fecundidad de 39 huevos/hembra (3 huevos/hembra por día), una tasa de crecimiento generacional de 120% (valor difícil de encontrar en otra especie) y una tasa reproductiva neta (R_0) de 93.3%. Estos parámetros poblacionales confirman los hallazgos de otros autores (Smith y Peña, 2002) y muestran que

el reducido tiempo de desarrollo desde huevo hasta adulto se compensa por los altos porcentajes de sobrevivencia, lo cual garantiza una distribución estable de edades en la población y altas expectativas de reproducción y multiplicación. Otras características de *P. latus* que lo hacen una plaga importante de los cítricos son su habilidad para dispersarse a través del viento, el transporte en materiales vegetales, el contacto de follaje de plantas y la relación forética que tiene con insectos como áfidos y moscas blancas (Gerson, 1992).

El ataque de *P. latus* causa síntomas y reacciones específicas en la planta que son producidos por toxinas y pueden ser confundidos con enfermedades virales, problemas de herbicidas o deficiencias de magnesio (Jeppson *et al.*, 1975). Los daños más significativos se observan en los puntos de crecimiento donde los tejidos son túrgidos. En hojas tiernas de los brotes produce daños severos y deformaciones. El síntoma inicial de ataque es la presencia de decoloración y plateamiento o bronceado en el envés de las hojas, seguido del colapso de los tejidos y la rigidez y enrollamiento de los bordes de las hojas (Smith y Peña, 2002; Moraes y Flechtmann, 2008). Estos síntomas fueron observados en cultivos de naranja Valencia bajo condiciones de invernadero en un período de 7 a 12 días después de una infestación inicial de 5 a 30 hembras/hoja.

Además del daño en hojas tiernas, *P. latus* también ataca frutos en formación. En Colombia, Mesa *et al.* (2011a) observaron que ataques severos del ácaro ocasionan la momificación de los frutos tiernos y la reducción de su crecimiento. Aunque algunos frutos sobreviven al ataque y continúan su desarrollo hasta cosecha, generalmente presentan cicatrices y deformaciones caracterizadas por el levantamiento de la capa superficial de

la epidermis, la cual queda adherida a la superficie del fruto como una película fina de coloración gris plateada de fácil remoción (Smith *et al.*, 1997). En estudios en invernadero se encontró que la infestación con 15 hembras/fruto tierno de naranja Valencia produjo 90% de daño después de una semana. Estos resultados son similares a los encontrados por Peña (1990) en lima y demuestran la agresividad de *P. latus* en estructuras tiernas, además de su impacto en la pérdida de frutos de cítricos.

La dinámica poblacional de *P. latus* es afectada por condiciones ambientales y estados fenológicos del cultivo. En fincas cultivadoras de naranja Valencia en el suroccidente de Colombia se observó, que independiente de la precipitación, la humedad relativa superior a 75% y las temperaturas mayores que 23°C favorecen el incremento de las poblaciones de *P. latus*, resultados que coinciden con los hallazgos de Peña (1990) en la Florida y Leite de Oliveira (2008) en Brasil trabajando con otras especies de cítricos.

Familia Eriophyidae

Dentro de los Eriophyidae, *P. oleivora* es el ácaro más importante (Smith y Peña, 2002; Rogers *et al.*, 2009). Otros eriófidos importantes que atacan cultivos de cítricos son: el ácaro de los brotes (*Aceria sheldoni* Ewing), el ácaro gris (*Calaracus citrifolii* Keifer), el ácaro café tostador de los cítricos (*Tegolophus australis* Keifer) y el ácaro rosado tostador de los cítricos (*Aculus pelekassi* Keifer) (McCoy, 1996; Smith y Peña, 2002). Al igual que todos los eriófidos, estas especies tienen una reducida gama de hospederos vegetales, como es el caso del ácaro tostador (*P. oleivora*) que sólo ataca *Citrus sp.* en diferentes regiones del mundo (McCoy, 1996), entre ellas algunos sitios del suroccidente de Colombia donde tiene

una baja incidencia en cultivos de naranja Valencia (Mesa *et al.*, 2011a).

Phyllocoptura oleivora es un micro ácaro vermiforme con solo dos pares de patas en todos los estados de desarrollo. Pasa por los estados de huevo, larva, ninfa y adulto en un tiempo muy corto. Mesa *et al.* (2011b) utilizando frutos de naranja Valencia en ambiente controlado (25 ± 5°C, 70 ± 5% de HR y 12 horas luz) encontraron que el ácaro cumple su desarrollo de huevo a adulto en 7.4 días con 48% de sobrevivencia de inmaduros. La oviposición es de 7.6 días, con una fecundidad de 15 huevos/hembra (1.73 huevos/hembra por día), una tasa de crecimiento generacional de 80% y una tasa reproductiva neta (Ro) de 21.4%. La diferenciación sexual de *P. oleivora* solo se puede observar en montajes microscópicos, dando como resultado una relación de sexos (hembra/machos) de 4:1. En el estudio no fue posible observar individuos copulando, los que concuerda con el comportamiento observado con otras especies de Eriophyidae donde el macho produce espermátóforos en forma cónica, que libera sobre la superficie de las plantas para que las hembras se posen sobre ellos y tomen los espermatozoides (Michalska *et al.*, 2010). Estos resultados constituyen una información valiosa sobre el ciclo de vida de este micro ácaro, ya que a pesar de la importancia que tiene en la producción de cítricos en Colombia, no existía información acerca de su biología teniendo en cuenta su reducido tamaño y la dificultad para observarlo en campo y laboratorio, tal como lo confirmaron Monfreda *et al.* (2010) y Navia *et al.* (2010). La dispersión de *P. oleivora* ocurre principalmente por el transporte de material vegetal infestado (Moraes y Flechtman, 2008), el desplazamiento de las hembras hacia el borde de las hojas donde se fijan por medio de una ventosa anal y se exponen a la acción del viento; además tienen relaciones foréticas con

organismos como abejas, pulgones y aves (Navia *et al.*, 2010; Moraes y Flechtman, 2008).

De acuerdo con McCoy (1996) el daño por *P. oleivora* ocurre debido al rompimiento de las células de aceite de la epidermis de los frutos de naranja, la producción de etileno (C₂H₄) por la alimentación del ácaro que estimula el cambio de color del tejido y la producción de lignina para cicatrizar y la oxidación de sustancias del citoplasma de las células epidermales. En Colombia, en cultivos de naranja Valencia el ácaro se encuentra sobre frutos mayores que 4 meses de desarrollo (Mesa *et al.*, 2011a), en los cuales ocasiona daños caracterizados por un cambio en la tonalidad de la epidermis, que pierde su brillo y se torna opaca hasta tomar un color amarillo pálido en los puntos donde se concentra y alimenta la mayor parte de ácaros. Con el tiempo el daño es más notorio y se convierte en una mancha café oscura ocasionando un daño estrictamente cosmético sin afectar la calidad interna del fruto. El tiempo en el cual pueden aparecer estos primeros síntomas depende del nivel de infestación y puede variar entre 20 y 33 días. Diferentes estudios (Chiaradia, 2001; Smith y Peña, 2002; Rogers *et al.*, 2009) demuestran que en épocas secas con elevadas temperaturas y humedades relativas se incrementa la población de *P. oleivora*. En fincas del suroccidente de Colombia con cultivos comerciales de naranja Valencia se observó este tipo de daño, donde el ácaro presentó picos poblacionales con temperaturas superiores a 25°C y humedad de 75.2%. La importancia de estos resultados se puede valorar si se relacionan con los efectos más notables del cambio climático, los cuales son visibles en el sector agrícola, ya que el aumento de la temperatura favorece el incremento poblacional de la mayoría de los artrópodos plaga, entre ellos *P. oleivora*.

Familia Tenuipalpidae

La familia Tenuipalpidae tiene una gran importancia económica entre los grupos de ácaros de hábitos fitófagos y algunas de ellas son vectores de virus. Las especies *Brevipalpus californicus* (Banks), *B. obovatus* (Donnadieu) y *B. phoenicis* son vectores de rhabdovirus en cítricos, maracuyá, café, orquídeas y plantas ornamentales, entre otros cultivos (Kitajima *et al.*, 2003). *Brevipalpus phoenicis* es considerado plaga clave en cítricos, siendo la especie más estudiada por ser vector de Citrus Leprosis Virus (CiLV), tiene amplia distribución geográfica y ataca 486 especies de plantas hospederas, incluidas en 70 géneros de 39 familias (Childers *et al.*, 2003). *Brevipalpus phoenicis* y *B. obovatus* han sido reportadas sobre cítricos en el departamento del Valle (Zuluaga, 1971; Padilla, 1998) y la zona cafetera (Castaño y León, 1989; Mesa, 1999). De acuerdo con los estudios de Mesa *et al.* (2011a) en el suroccidente de Colombia, *B. phoenicis* se encuentra en alta frecuencia distribuido sobre hojas, ramas y especialmente en frutos de cítricos; también se encontró *B. obovatus* en menor proporción.

Los ácaros de la familia Tenuipalpidae son pequeños y dorso ventralmente planos. En su ciclo de vida, *B. phoenicis* pasa por los estados de huevo, larva, protocrisálida, protoninfa, deutocrisálida, deutoninfa, teliocrisálida y adulto (Mesa *et al.*, 2011b). Sobre frutos de naranja Valencia en ambiente de 25 ± 5 °C, 70 ± 5% de HR y 12 horas luz, el ácaro cumple su desarrollo de huevo a adulto en 37.4 días con 96.7% de sobrevivencia de inmaduros. El período de oviposición de las hembras es de 5 días con una fecundidad de 4.6 huevos/hembra (0.3 huevos/hembra por día) y una tasa de crecimiento generacional de 60% (Mesa *et al.*, 2011b). Los machos de *B. phoenicis*

son escasos, ya que posiblemente en esta especie se presenta el fenómeno de partenogénesis telitoca. De acuerdo con Weeks *et al.* (2001) la presencia de una bacteria endosimbiótica en las hembras es responsable de la feminización de individuos. No obstante que *B. phoenicis* presenta movimientos lentos, su capacidad de dispersión es alta, especialmente por el viento o por el intercambio de material vegetal entre campos de cítricos (Rogers *et al.*, 2009).

Los tenuipápidos son estrictamente fitófagos. En naranja el daño se manifiesta como un resquebrajamiento del fruto que toma un tono blanco hueso de forma irregular que puede cubrir hasta 80%, en los fragmentos resquebrajados se pueden encontrar varios ácaros y huevos del mismo (Smith y Peña, 2002; Rogers *et al.*, 2009). En cultivos de naranja Valencia en el suroccidental de Colombia, Mesa *et al.* (2011a) encontraron una alta frecuencia del ácaro *B. phoenicis* sobre hojas, ramas y especialmente en frutos. Estos investigadores observaron que a pesar de las altas precipitaciones en Valle, Quindío, Risaralda, Caldas y Antioquia, las poblaciones del ácaro siempre estaban presentes en los cultivos visitados. Esta tendencia fue confirmada durante el seguimiento de los niveles de población del ácaro en dos cultivos de naranja Valencia en la misma región, donde *B. phoenicis* se encontró en bajas poblaciones sobre los frutos, aún en épocas de altas precipitaciones, como las registradas en el segundo semestre de 2010, lo anterior se une al potencial de daño de este ácaro como vector de la leprosis de los cítricos.

Familia Tetranychidae

En cítricos se registran varias especies de tetraníquidos de importancia económica destacándose *P. citri* de distribución cosmopolita y amplia gama de hospederos

del género *Citrus*. Otros tetraníquidos importantes en el cultivo son *E. banksi* (McGregor), *Eutetranychus africanus* (Tucker), *Eutetranychus orientalis* Klein, *Eutetranychus cendani* Rimando y *T. urticae* (Smith *et al.*, 1997, Smith y Peña, 2002). En Colombia, sólo se tiene registro de *P. citri*, *E. banksi* y *Tetranychus* pos. *mexicanus* (Zuluaga, 1971; Castaño y León, 1989; Padilla, 1998). Mesa *et al.* (2011a) reportaron la presencia de *P. citri* sobre naranja Valencia cultivada en viveros en Antioquia y Valle y en menor proporción, *E. banksi*. Mesa (2010) cita la presencia de *S. industanicus* en Dibulla (Guajira) y en Magdalena y alerta a las autoridades fitosanitarias ya que este ácaro es una plaga que afecta la calidad del fruto de cítricos en Brasil y Venezuela (Navia y Marsaro, 2010).

Panonychus citri, el tetraníquido más frecuente en cítricos, pasa por los estados del huevo, larva, protocrisálida, protoninfa, deutocrisálida, deutoninfa, teliocrisálida y adulto. Sobre hojas maduras de naranja Valencia a $25 \pm 5^\circ\text{C}$, $70 \pm 5\%$ de HR y 12 horas luz, el ácaro cumple su desarrollo de huevo a adulto en 10.4 días con 75.6% de sobrevivencia de inmaduros. El período de oviposición de las hembras es de 7.9 días con una fecundidad de 18 huevos/hembra (1.7 huevos/hembra por día), una tasa de crecimiento generacional de 86% y una tasa reproductiva neta (R_0) de 46%. En los Tetranychidae se observa un comportamiento de 'guarda' sobre la deutonifa, es decir, el macho cuida a las futuras hembras y espera la emergencia para copular inmediatamente (Mesa *et al.*, 2011b). Como la mayoría de los tetraníquidos, las hembras fecundadas buscan hospederos de buena calidad y para ello se ubican en la periferia de la planta hospedera, se apoyan sobre el tercer y cuarto par de patas levantando la parte anterior del cuerpo y las patas anteriores para de esta forma dejarse llevar por el viento (Moraes y Flechtmann, 2008).

Los miembros de esta familia se alimentan de células epidérmicas y parenquimatosas, las cuales unas vez vacías se llenan de aire y dan como resultado puntos translúcidos, en forma de áreas plateadas o verde pálidas por la remoción de cloroplastos, también ocurre oxidación de las áreas atacadas tornándose bronceadas. Si el ataque es intenso se presentan manchas necróticas de extensión variable que pueden causar caída del follaje (Moraes y Flechtman, 2008). Cuando ocurren infestaciones altas de *P. citri*, éste se localiza en ambos lados de las hojas, las cuales se tornan blanquecinas (Ochoa *et al.*, 1991; Smith y Peña, 2002, Mesa *et al.*, 2011a). En *E. banksi* el ataque se presenta por el haz o envés de las hojas, cerca de las nervaduras, sobre éstas se observa un moteado amarillento difuso con gran cantidad de exuvias semejando polvo. Si la infestación es severa, se puede presentar deformación de las hojas (Mesa *et al.*, 2011a). *Panonychuscitri* puede convertirse en una plaga de importancia económica cuando se utilizan agrotóxicos de amplio espectro. Jones y Parrella (1984) indican que aplicaciones de malation y permetrina pueden estimular el incremento de las poblaciones de esta especie.

Otras familias de ácaros asociadas a cultivos de cítricos

Además de las familias anteriormente mencionadas, existen otras que afectan los cultivos de cítricos. De acuerdo con Jeppson *et al.* (1975) especies de la familia Tydeidae se congregan en la base de ramas, pecíolos y en diferentes áreas de la planta, donde producen esclerotización del tejido verde seguido por descamación. Estos ácaros son atraídos por miel y excreciones de Hemiptera Sternorrhyncha, sobre las cuales crecen hongos, los que posiblemente sirven de alimento para los ácaros. Krantz (2009) considera que la

mayoría de las especies de Tydeidae son fungívoras, pero la presencia de colonias densas en todos los estados de desarrollo producen manchas sobre el tejido de las plantas. Padilla (1998) registró en el Valle del Cauca la presencia de *Lorrya formosa* Cooreman, *Lorrya turrialbensis* Baker y *Parapronematus citri* Baker. Gerson y Smiley (1990) registraron sobre cítricos algunas especies de Acaridae y Saprogllyphidae con hábitos fungívoros y saprófagos, que no ocasionan daño en frutos ni en follaje. Padilla (1998) registró la presencia de *Oulenzia* sp. y *Tyrophagus* sp. en cítricos en Colombia. Recientemente Mesa *et al.* (2011a) citan que las familias más comúnmente encontradas con este tipo de hábitos son Acaridae, Saprogllyphidae, Oribatidae, Winterschmidtidae, Suidasidae y Tydeidae.

Estrategias de control biológico de ácaros en cítricos

La reseña más reciente sobre controladores biológicos de plagas en cítricos, entre ellas ácaros Phytoseiidae y patógenos, fue realizada por Gerson (2003), quien resalta el potencial de algunas especies poco conocidas como depredadores de otros ácaros y expresa que uno de los mayores obstáculos para la utilización de muchas de estas especies benéficas, es la dificultad de producirlas masivamente para liberación o aplicación en campo. En la literatura existen varios trabajos donde se citan especies de la familia Phytoseiidae que atacan ácaros fitófagos en cítricos, entre ellos *P. latus*. Dentro de las especies de ácaros benéficos se citan *Euseiusvictoriensis* (Womersley) en Australia (Smith y Papacek, 1985) y en las Antillas (Hugon, 1983), *Euseiusstipulatus* (Athias-Henriot), *Typhlodromusannectens* De León, *T. porresi* McMurty, *T. rickeri* Chant, en California (Brown y Jones,

1983), y *Typhlodromalus peregrinus* (Muma), *Typhlodromis dentilis* (De León), *Amblyseius aerealis* (Muma), *Galendromushelveolus* (Chant) en Florida (Peña, 1990). En trabajos específicos se demostró que algunas especies promisorias pueden ser utilizadas en liberaciones masivas para el control de *P. latus* en cítricos, un ejemplo es *T. peregrinus*, una especie que en condiciones controladas consume entre el 23% y el 75% de huevos, estados larvales y adultos de *P. latus* (Peña, 1992). Otras especies, como *Neoseiulus californicus* (McGregor), liberada en campo mantuvieron poblaciones de *P. latus* por debajo del nivel de daño económico en frutos de lima en Florida (Peña *et al.*, 1996). En *P. oleivora*, Smith y Peña (2002) reportan a *Euseius mesembrinus* (Dean), *A. aerealis*, *Euseius concordis* (Chant), *Galendromus annectens* (De León), *E. victoriensis*, *E. elineae* Schicha, *Amblyseius herbicolus* (Chant) y *A. lentiginosus* Denmark y Schicha como ácaros fitoseidos enemigos naturales de la plaga en diversas regiones del mundo; sin embargo, los mismos autores afirman que el control que ejercen estos enemigos naturales por sí solos no permiten mantener las poblaciones por debajo de los umbrales de daño.

En Colombia, los ácaros Phytoseiidae, reconocidos como reguladores biológicos en los agroecosistemas, han sido ampliamente reportados en diferentes cultivos (Mesa, 1999). Estudios recientes desarrollados por este autor y otros investigadores reportan que la diversidad de especies de Phytoseiidae encontradas en naranja Valencia es similar a la reportada anteriormente por Zuluaga (1971), Castaño y León (1989), Padilla (1998) y Mesa (1999) donde se registran *Iphiseiodes zuluagai* Denmark y Muma, *Euseius concordis* (Chant), *E. alatus* De León, *E. ho* De León, *E. naindaime* (Chant y Baker), *E. caseariae* De León, *A. herbicolus*, *A. chiapensis* De

León, *A. coffeae* De León, *A. aerealis*, *Neoseiulus anonymus*, (Chant y Baker) *N. californicus*, *Proprioseiopsis* spp., *Typhlodromalus* spp. y *Typhlodromina* spp. En relación con el posible uso de ácaros predadores para el control de plagas como *P. latus* y *P. oleivora* en cultivos de cítricos en Colombia, León (2001) reporta a *Amblyseius* sp. como depredador importante de *P. latus* en cultivos de cítricos en los Llanos Orientales; por su parte, en el caso de *P. oleivora*, aunque hay baja ocurrencia de enemigos naturales, especies como *Amblyseius* sp. y *Phytoseiulus* spp. son los más frecuentes en la región. En estudios bajo condiciones de laboratorio en la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira utilizando *Phytoseiulus fragariae* Denmark y Schicha, *Typhlodromalus aripo* De León, una especie de *Amblyseius* y *Chrysoperla carnea* (Stephens), demostraron que estas especies son predadores promisorios para el control del ácaro blanco en *P. latus*, ya que consumen adecuadamente huevos, larvas y adultos de la plaga (Imbachi K. y Mesa N. C., com. per.).

Además de la familia Phytoseiidae, existen otras con hábitos predadores que han sido reportadas como posibles estrategias de control biológico. Fadamiro *et al.* (2009) determinaron la abundancia y diversidad de ácaros depredadores en cultivos de cítricos en Alabama e identificaron 29 especies principalmente de las familias Phytoseiidae y Stigmaeidae. Además, encontraron una sincronización entre las poblaciones de *Agistemus floridanus* González (Stigmaeidae) y ácaros de la familia Tydeidae con las poblaciones de *P. oleivora*, lo que permite concluir que estas especies pueden ser consideradas como agentes de control biológicos potenciales. Mesa *et al.* (2011a) registraron la presencia de especies de las familias Cunaxidae, Bdellidae, Cheyletidae, Stigmaeidae y Tydeidae, las

cuales aparecen como promisorias para el control biológicos de ácaros plaga en el cultivo de cítricos en Colombia.

En algunas ocasiones el aumento de ácaros predadores no es suficiente, por tanto, es necesario el uso de otras medidas de control (Maniania *et al.*, 2008). Los hongos entomopatógenos pueden jugar un papel importante en la regulación natural de poblaciones de ácaros y pueden ser usados en programas de control biológico. En el caso de cultivos de cítricos existen resultados de evaluaciones con hongos como *Beauveria bassiana* (Bálsamo), *Paecilomyces fumosoroseus* (Wize), *Hirsutella thompsonii* Fisher y *Meira geulakonigii* Boekhouten varios países del mundo (Peña *et al.*, 1996; Gerson *et al.*, 2008). En Colombia, Bustillo (1987) señala que *H. thompsonii* fue aislado de *P. oleivora* y *Tetranychus cinnabarinus* Bois en cultivos de cítricos en Mosquera, Cundinamarca. Castaño y León (1989) encontraron *H. thompsonii* sobre *P. oleivora* en el 55% de las fincas visitadas en Caldas, Quindío y Norte del Valle. Según Castaño (1992) este hongo puede llegar a eliminar poblaciones completas del ácaro.

Otro de los grupos de posibles controladores de ácaros en cultivos son los neurópteros de la familia Chrysopidae, los cuales han sido relacionados como predadores de ácaros, trips, moscas blancas, cochinillas y pulgones en cultivos de cítricos, registrándose cerca de 20 especies diferentes lo cual demuestra que el ambiente presente en estos cultivos es propicio para su desarrollo (Freitas 2001). Díaz *et al.* (1996) realizaron un inventario de las especies de crisópidos en cítricos en el Valle de Cauca y encontraron entre otras: *Chrysopodes* (Neosaurius) pos. *collaris*, *Ceraeochrysa* sp. pos. *cubana*, *C. claveri* (Navás), *C. silvana* (Navás) las cuales en algún momento se podrían utilizar en programas de manejo integrado de ácaros.

Manejo integrado de ácaros en cítricos

El uso de acaricidas en cultivos de cítricos ha sido intensivo en el mundo, sobre todo para el control del ácaro vector de la leprosis de los cítricos (*B. phoenicis*) y del ácaro tostador (*P. oleivora*) (Rogers *et al.*, 2009). Entre los productos utilizados para el control de ácaros plaga como *P. oleivora* y *P. latus*, se encuentran fungicidas como maneb, zineb, dinocap, benomil mancozeb; insecticidas como amitraz, dicofol, progargite, difluzurón y teflubenzurón (Van Leeuwen *et al.*, 2009; Smith *et al.*, 1997). Diversos autores coinciden en confirmar la efectividad de productos de nueva generación como abamectinas, avermectinas y milbecmectinas, así como ácidos tetrónicos spiromesifen y spirodiclofen (Smith *et al.*, 1997; Smith y Peña, 2002; Van Leeuwen *et al.*, 2009). Sin embargo, en el caso de abamectina se han detectado respuestas variables en la susceptibilidad de eriófidos a este producto, lo cual indica que es necesario hacer un manejo racional del producto para evitar problemas de resistencia, como los encontrados en *P. oleivora* en Brasil (Omoto y Batista, 2004; Navia *et al.*, 2010). Igualmente se considera necesario desarrollar estudios que confirmen el efecto del uso de estos productos en la abundante fauna benéfica presente en cultivos de cítricos (Smith *et al.*, 1998). Además de insecticidas, se han evaluado aceites que pueden ser incluidos en programas de rotación de productos (Rogers *et al.*, 2009). Estos productos han resultado ser efectivos en el control de *P. oleivora* en Florida (Knapp *et al.*, 2001), de *P. latus* en Sudáfrica (Rodrigues y Childers, 2002) y de *P. oleivora* y *P. citri* en China (Lei *et al.*, 2003).

La integración de estrategias de manejo se ha utilizado en el control de ácaros en

cítricos en varios países. Ali *et al.* (2005) en Egipto evaluaron un programa de MIP para ácaros eriófidos y tenuipálpidos en cultivos de naranja consistente en la aplicación de avermectina integrada con liberaciones de *Amblyseius swirskii* (Athias-Henriot) la cual fue efectiva para disminuir las poblaciones de los eriófidos. En cultivos de mandarina en el estado de Alabama, Fadamiro *et al.* (2009) recomiendan hacer uso del control químico de *P. oleivora* con productos como avermectina, aceites derivados de petróleo, diflubenzuron y propargite. En Tailandia, Sirikajornjaru *et al.* (2005) reportan que el uso de sistemas de manejo integrado de ácaros en cultivos de cítricos permitieron una aproximación a la conservación de enemigos naturales y redujeron la frecuencia de aplicaciones de insecticidas y fungicidas entre 20 y 54% y, 25 y 55%, respectivamente. En la región Valenciana de España, el uso de un sistema de producción integrada resultó en una reducción de 30% de tratamientos químicos y el incremento de prácticas de control biológico y cultural en la comunidad (Betia, 2007).

En Colombia, como alternativas promisorias en el manejo de *P. latus* y *P. oleivora* en cultivos de naranja Valencia se han evaluado productos como abamectina, el hongo entomopatógeno *P. fumosoroseus*, aceite agrícola y agua a presión; así como alternativas de control biológico que incluyen liberaciones de *C. carnea* y ácaros fitoseidos (*N. anonymus*, *N. californicus*, *I. zuluagai*, *A. herbicolus*). Los resultados demostraron que la exclusión de predadores en el cultivo con aplicaciones de insecticidas de amplio espectro como cipermetrina, favorece el incremento en el daño de los ácaros fitófagos, siendo estos resultados similares a los de Smith y Peña (2002) en cultivos de cítricos en Florida.

Se espera que los resultados recientes

sobre actualización de especies, dinámica de población, fenología y evaluación de estrategias de manejo de ácaros en cultivos como naranja Valencia presentados en esta revisión contribuyan a la sanidad del cultivo, un aspecto importante en el mejoramiento de la cadena citrícola en el país (Espinal *et al.*, 2005). No obstante, es necesario continuar con estudios sobre el establecimiento de métodos de muestreo secuencial y patrones de distribución de los ácaros en cultivos, de una manera similar a los desarrollados en otras regiones del mundo (Aghajanzadeh y Mallik, 2007; Hall *et al.*, 2007). Esta información es de gran valor en el momento de establecer umbrales de acción como los desarrollados para *P. oleivora* en Australia (Smith *et al.*, 1997), Estados Unidos (Rogers *et al.*, 2009) y Brasil (Smith y Peña, 2002) así como también para *P. latus* en Australia y Florida (Smith y Peña, 2002). En el caso de Colombia se reportan umbrales de acción entre 2 y 40 ácaros/cm² de fruto (León, 2001; Kognso *et al.*, 2000), valores que deben ser actualizados teniendo en cuenta las variedades de cítricos, las regiones del país y las condiciones climáticas actuales.

Tabla 1. Lista de especies de ácaros asociados a cultivos de naranja Valencia en el Suroccidente de Colombia (Tomado de Mesa *et al.*, 2011a).

Hábito	Familia	Especie
Fitófago	Tarsonemidae	<i>Polyphagotarsonemus latus</i> (Banks)
		<i>Phytonemus</i> sp.
		<i>Daidalotarsonemus</i> sp.
		<i>Tarsonemus</i> sp.
Fitófago	Eriophyidae	<i>Phyllocoptruta oleivora</i> (Ashmead)
	Tenuipalpidae	<i>Brevipalpus phoenicis</i> (Geijskes)
		<i>Brevipalpus obovatus</i> Donnadieu <i>Brevipalpus</i> sp.
Fitófago	Tetranychidae	<i>Panonychus citri</i> (McGregor)
		<i>Tetranychus ludeni</i> Zacher
Predador	Phytoseiidae	<i>Iphiseiodes zuluagai</i> Denmark y Muma
		<i>Amblyseius aereialis</i> (Muma)
		<i>A. coffeae</i> De León
		<i>A. chiapensis</i> De León
		<i>A. herbicolus</i> (Chant)
		<i>A. vasiformis</i> Moraes y Mesa
		<i>Amblyseius</i> sp.
		<i>Euseius concordis</i> (Chant)
		<i>E. alatus</i> De León
		<i>Euseius</i> sp.
		<i>E. caseariae</i> De León
		<i>E. ho</i> De León
		<i>E. naindaimei</i> (Chant y Baker)
		<i>Proprioseiopsis cannaensis</i> (Muma)
<i>Typhlodromalus aripo</i> De León		
<i>Typhlodromips neotunus</i> Denmark y Muma		
<i>Typhlodromina tropica</i> (Chant)		
<i>Typhlodromus transvalensis</i> (Nesbitt)		
Predador	Cunaxidae	<i>Cunaxa taurus</i> (Kramer)
		<i>Cunaxa</i> sp.
Predador	Bdellidae	<i>Bdellasp.</i>
Predador	Cheyletidae	<i>Cheletogenes ornatus</i> (Canestrini y Fanzago)
		<i>Agistemus fleschneri</i> Summers
Predador	Stigmaeidae	<i>Zetzelliasp.</i>
		<i>Homeopronematus</i> sp.

Referencias Bibliográficas

AGHAJANZADEH, S.; MALLIK, B. 2007. Sampling and distribution patterns of citrus rust mite *Phyllocoptruta oleivora* Ashmead (Acari: Eriophyidae) using adhesive tape method. International Journal of Agriculture and Biology 9 (2): 329-332.

ALI, F. S.; ABO-TAKA, S.M.; AFIFI, M.A.; EL -SAYED, M.M. 2005. Integrated pest control of certain citrus eriophyid and tenuipalpid mites in Egypt. En: Egyptian Journal of Biological Pest Control. Vol. 15, No. 1-2: 103-107.

BETIA, F.J. 2007. Integrated production of citrus. Horticultura, Revista de Industria, Distribución y Socioeconomía Hortícola. 200: 52-59.

- BROWN, R.; JONES, V.P. 1983. The broad mite on lemons in southern California. *California Agriculture* 37: 21-22.
- BUSTILLO, A. 1987. Uso de entomopatógenos. *Revista Manejo Integrado de Plagas* 3: 32-50.
- CASTAÑO, N.; LEON, G.M. 1989. Controladores biológicos asociados a las plagas que afectan el cultivo de los cítricos. Universidad Nacional de Caldas. Trabajo de Grado para optar el Título de Ing. Agrónomo. 285 p.
- CASTAÑO, O. 1992. Manejo de Problemas entomológicos en cultivos de cítricos. II Simposio Nacional sobre control biológico en Colombia. Memorias. Medellín. Noviembre 18 de 1992 SOCOLEN. Comité Seccional Antioquia, Comité Nacional de Control Biológico. pp. 97-124.
- CHIARADIA, L.A. 2001. Population fluctuation of citrus rust mite *Phyllocoptruta oleivora* (Ashmed, 1879) (Acari, Eriophyidae) in citrus orchards in the West of Santa Catarina. *Pesquisa Agropecuaria Gaucha* 7(1): 111-120.
- CHILDERS, C.; FRENCH, V.; RODRIGUES, J. 2003. *Brevipalpus californicus*, *B. obovatus*, *B. phoenicis* and *B. lewisi* (Acari: Tenuipalpidae): a review of their biology, feeding injury and economic importance. *Experimental and Applied Acarology* 30: 5-28.
- CROSS-ROMERO, M. Y PEÑA, J. 1998. Relationship of broad mite (Acari: Tarsonemidae) to host phenology and injury levels in *Capsicum annum*. *Florida Entomologist* 81:515 - 526.
- DÍAZ, D. 1996. Ciclo de vida de *Chrysoperla rufilabris* y *Ceraeochrysa* sp. (Neuroptera: Chrysopidae) alimentándose con huevos de *Sitotroga cerealella* y *Aphis gossypii* y fluctuación de poblaciones de crisopidos en cítricos y algodón. Trabajo de grado. Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. 72 p.
- ESPINAL, C.F.; MARTÍNEZ, H.J.; PEÑA, Y. 2005. La cadena de cítricos en Colombia, una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005. Observatorio Agrocadenas, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Documento de trabajo No. 107.
- FADAMIRO, H.; XIAO, Y.; NESBITT, M.; CHILDERS, C. 2009. Diversity and seasonal abundance of predacious mites in Alabama Satsuma Citrus. *Annals of the Entomological Society of America* 102(4): 617-628.
- FREITAS, S. 2001. O uso de crisópidos no controle biológico de pragas. Jaboticabal: Funep. 66p.
- GERSON, U. 1992. Biology and control of the broad mite, *Polyphagotarsonemus latus* (Banks) (Acari: Tarsonemidae). *Experimental Applied Acarology* 13: 163-178.
- GERSON, U. 2003. Acarine pest of citrus: overview and non-chemical control. *Systematic Applied Acarology* 8: 3-12.
- GERSON, U.; SMILEY, R. 1990. Acarine biocontrol agents. An illustrated key and manual. Chapman and Hall. USA. 167 p.
- GERSON, U.; GAFNI, Z.; PAZ, A.; SZTEJNBERG, A. 2008. A tale of three acaropathogenic fungi in Israel: *Hirsutella*, *Meira* and *Acaromyces*. *Experimental and Applied Acarology* 46: 183-194.

- HALL, D.; CHILDERS, C.; EGER, J. 2007. Binomial sampling to estimate rust mite (Acari: Eriophyidae) densities on orange fruit. *Journal of Economic Entomology* 100(1): 233-240.
- HUGON, R. 1983. Biologie et ecologie de *Polyphagotarsonemus latus* Banks, ravageur sus agrumes aux Antilles. *Fruits* 38: 635-646.
- JEPPSON, L., KEIFER, H. Y BAKER, E. 1975. Mites injurious to economic plants. California: University of California. 614 p.
- JONES, V.P.; PARRELLA, M.P. 1984. The sublethal effects of selected insecticides on life table parameters of *Panonychus citri* (Acari: Tetranychidae). *The Canadian Entomologist* 116: 1033-1040.
- KITAJIMA, E.W.; CHAGAS, C.M.; RODRIGUES, J.C.V. 2003. Brevipalpus-transmitted plant virus and virus-like diseases: cytopathology and some recent cases. *Experimental and Applied Acarology* 30: 135-160.
- KNAPP, J. L.; NIGG, H. N. y ANDERSON, H. E. 2001. Update on petroleum spray oil for citrus rust mite control. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*. Vol. 114, pp. 46-51.
- KOGNSO, J.F.; PINEDA, S.M.; SIERRA, S. 2000. Dinámica de Población del ácaro tostador de los cítricos *Phyllocoptruta oleivora* Ashm. En naranja Valencia en Pereira. En: Seminario Nacional sobre ácaros asociados al cultivo de cítricos, Pereira. Agosto 3 del 2000.
- KRANTZ, G.W. 2009. A Manual of Acarology. Third edition. Texas Tech University Press. Texas. 807 p.
- LEI H.; LI H., RAN, C.; HU, J.; LIN, B.; ZHANG, Q. TIAN, W.; QIAN K. 2003. Application of Sunspray iols for pollution-free control of min pest in citrus orchards. *Journal of Southwest Agricultural University* 25(5): 409-412.
- LEITE DE OLIVEIRA, M. 2008. Acaros dos citros no Brasil. Departamento de Fitosanidade. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Universidade Estadual Paulista UNESP. 49p.
- LEÓN, G. 2001. Insectos de los cítricos. Guía ilustrada de plagas y benéficos con técnicas para el manejo de los insectos dañinos. Asocítricos, Corpoica Regional Ocho, Fondo Nacional de Fomento Hortofrutícola, Asohofrucol. Primera edición. 83 p.
- LEÓN, G.; REALPE, C.E.; GARZÓN, P.A.; RODRÍGUEZ, J.A.; MORENO, M.G.; CHILDERS, C.C.; ACHOR, D.; FREITAS-ASTUA, F.; ANTONIOLI-LUIZON, R.; SALAROLI, R.; MESA, N; KITAJIMA, E. 2006. Occurrence of Citrus leprosis virus in Llanos Orientales, Colombia. *Plant Diseases*, 90: 682, 2006; published on-line as DOI: 10.1094/PD-90-0682C.
- MANIANIA, N.; BUGEME, D.; WEKESA, V.; DELALIBERA, I., KNAPP, M. 2008. Role of entomopathogenic fungi in the control of *Tetranychus evansi* and *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae), pests of horticultural crops. *Experimental and Applied Acarology* 46:259-274.
- McCOY, C.W. 1996. Damage and control of Eriophyoid mites in crops. Styelar feeding injury and control of eriophyoid mites in citrus. En: Lindquist, E., Sabelis, M., Bruin, J. (org.). *Eriophyoid Mites. Their Biology, natural enemies and control*, Elsevier, Amsterdam, 6. p. 513-526.

- MESA, N.C. 1999. Ácaros de importancia agrícola en Colombia. Revista Facultad Nacional de Agronomía. Vol. 52 No. 1: 321-363.
- MESA, N.C. 2010. Ácaros asociados a Cítricos en Colombia. Primer Congreso Latinoamericano de Citricultura, una jugosa oportunidad. Diciembre 1 al 3, Hotel Intercontinental, Medellín Colombia. Disponible en: http://www.comfenalcoantioquia.com/boletinempresas/MEMORIAS_CITRICOS/CONFERENCISTAS/NACIONALES/Nohora%20Cristina%20Mesa%20-%20Colombia/Acaros%20en%20citricos%20-%20Congreso.pdf [Fecha de última revisión: 23 abril 2011].
- MESA, N. C., GARCÍA M. A., RODRÍGUEZ, I. V., VALENCIA, M O., OSSA J., PALACIOS, S, RAMÍREZ A., TORO, S., IMBACHI, K. 2011a. Caracterización del Manejo de los cítricos en la zona Sur Occidental de Colombia. Especies de ácaros asociadas a cultivos de naranja Valencia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. Palmira, Colombia. 16 p.
- MESA, N. C., GARCÍA, M. A., RODRÍGUEZ, I. V., TORO, S., VALENCIA M O., OSSA, J., IMBACHI K. 2011b. Estudios del ciclo de vida y comportamiento de las especies de ácaros de importancia económica asociadas a cultivos en naranja Valencia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. Palmira, Colombia. 24 p.
- MICHALSKA, K.; SKORACKA, A.; NAVIA, D.; AMRINE, J. W. 2010. Behavioural studies on eriophyoid mites: an overview. Experimental and Applied Acarology 51:31-59.
- MONFREDA, R.; LEKVEISHVILI, M.; PETANOVIC, R.; AMRINE J.W. 2010. Collection and detection of eriophyoid mites. Experimental and Applied Acarology 51:273-282.
- MORAES, G.; FLECHTMANN, C.W. 2008. Manual de Ácarología. Ácarología Básica e ácaros de plantas cultivadas no Brasil. Holos Editora, Riberão Preto, 270 p.
- MORERA OLMOS, R. 1999. Cítricos Valencianos: pura vitamina, fuente de salud. Revista Vida Rural España, 15 de Abril. p. 26-29.
- NAVIA, D.; OCHOA, R.; WELBOURN, C.; FERRAGUT, F. 2010. Adventive eriophyoid mites: a global review of their impact, pathways, prevention and challenges. Experimental and Applied Acarology 51: 225-255.
- NAVIA, D; MARSARO, A. 2010. First Report of the Citrus Hindu Mite, *Schizotetranychus hindustanicus* (Hirst) (Prostigmata: Tetranychidae), in Brazil. Neotropical Entomology 39(1):140-143.
- OCHOA, R.; AGUILAR, H.; VARGAS, C. 1991. Ácaros fitófagos de América Central: Guía ilustrada. Turrialba: CATIE. 225 p.
- OMOTO, C.; BATISTA, E. 2004. La resistencia de los ácaros y acaricidas en cítricos. Vision Agrícola. USP - ESALQ. Año 1 Julio/diciembre 2004. p. 82.
- ORDUZ, J. O. 2010. Situación Actual y perspectivas de la Citricultura Colombiana. Primer Congreso Latinoamericano de Citricultura, una jugosa oportunidad. Diciembre 1 al 3, Hotel Intercontinental, Medellín Colombia. Disponible en:

- http://www.comfenalcoantioquia.com/boletinempresas/MEMORIAS_CITRICOS/CONFERENCISTAS/NACIONALES/Javier%20Orduz/Citricultura%20Medellin.pdf [Fecha de última revisión: 23 abril 2011].
- PADILLA, J.C. 1998. Identificación de ácaros asociados a cítricos en el Valle de Cauca e incidencia de especies fitófagas en un cultivo comercial. Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira. Trabajo de Grado para optar el Título de Ingeniero Agrónomo. 124 p.
- PALACINO, J.H. 2010. Plan de contingencia para la detección del Huanglongbing de los cítricos HLB y el psílido vector *Diaphorina citri* en Colombia. Primer Congreso Latinoamericano de Citricultura, una jugosa oportunidad. Diciembre 1 al 3, Hotel Intercontinental, Medellín Colombia. Disponible en: http://www.comfenalcoantioquia.com/boletinempresas/MEMORIAS_CITRICOS/CONFERENCISTAS/NACIONALES/Jorge%20Hernán%20Palacino/congreso%20citricos%20medellin%20memorias%20%20HLB%20ICA.pdf [Fecha de última revisión: 23 abril 2011].
- PEÑA, J.E. 1990. Relationships of broad mite (Acari: Tarsonemidae) density to lime damage. *Journal of Economic Entomology* 83: 2008-2015.
- PEÑA, J.E. 1992. Predator-Prey interactions between *Typhlodromalus pergrinus* and *Polyphagotarsonemus latus*: Effects of alternative prey and other food resources. *Florida Entomologist* 75(2): 241-248.
- PEÑA, J.E.; CAMPBELL, C.W. 2005. Broad mite. EDIS. 13 September 2005. Disponible en: <http://www.discoverlife.org/mp/20q?go=http://edis.ifas.ufl.edu/> [Fecha de última revisión: 10 abril 2011].
- PEÑA, J.E.; OSBORNE, L.S.; DUNCAN, R.E. 1996. Potential of fungi as biocontrol agents of *Polyphagotarsonemus latus*. *Entomophaga* 41: 27-36.
- RODRIGUES, J.; CHILDERS, C. 2002. Óleos no manejo de pragas e doenças em citros. *Laranja, Cordeirópolis* 23(1): 77-100.
- ROGERS, M.; STANSLY, P.; CHILDERS, C.; MCCOY, C.; NIGG, H. 2009. 2010 Florida Citrus Pest Management Guide: Rust Mites, Spider Mites and Other Phytophagous Mites. Entomology and Nematology Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. Document ENY-603. 8 p.
- SIRIKAJORNJARU, W.; RENU, S. Y SIRIKUL, T. 2005. Effect of chemical control on an integrated pest management on cost and yield of citrus production. *Journal of Agricultural Research and Extension (Thailand)*; Warasan Wichai Lae Songsoem Wichakan Kaset 22(3): 30-42.
- SMITH, D.; PAPACEK, D.F. 1985. Integrated pest management in Queensland citrus. *Queensland Agriculture Journal* 111: 249-259.
- SMITH, D.; BEATTIE, G.; BROADLEY, R. 1997. Citrus Pest and their enemies: Integrated Pest Management in Australia. Queensland Department of Primary Industries Series QI97030, 272 p.
- SMITH, D.; SMITH, N.J.; SMITH, K.M. 1998. Effect of abamectin on citrus rust mite *Phyllocoptruta oleivora* and brown citrus rust mite *Tegolophus*

australis and the scale natural enemies *Aphytis lingnanensis* and *Chilocorus circumdatus* on oranges. Plant Protection Quarterly 13(3): 23-30.

SMITH, D.; PEÑA, J. E. 2002. Tropical Citrus Pests. pp. 57-102. En: Peña J. E.; Sharp, J. L.; Wysoki, M. (Eds.). Tropical Fruit Pests and Pollinators: Biology, Economic Importance, Natural Enemies and Control. CABI Publishing. New York. USA. 407 p. Disponible en: http://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=t_BSs0hrAPAC&oi=fnd&pg=PA1&dq=tropical+fruit+pests+pe%C3%B1a&ots=_Lijc6wLAB&sig=gsaxcEdnINepq1ZY7X5sagk6BsM#v=onepage&q&f=true [Fecha de última revisión: 23 mayo 2011].

SPREAN, H. 2001. Proyecciones de la producción y consumo mundial de los Cítricos para el 2010. Presentación en el Simposio sobre Cítricos Beijing República Popular China, 14-17 de Mayo de 2001. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/003/x6732e/x6732e02.htm>. [Fecha de última revisión: 14 abril 2011].

URUETA, E. 1976. La "Verruga" de la hoja del zapote (*Matisia cordata*) ocasionada por *Phytoptus matisae* y observaciones preliminares sobre el control químico. Revista Colombiana de Entomología 2(1): 27-30.

VAN LEEUWEN, T.; WITTERS, J., NAUEN, R.; DUSO, C.; TIRRY, D. 2009. The control of eriophyoid mites: state of the art and future challenges. Experimental and Applied Acarology DOI 10.1007/s10493-009-9312-9.

WEEKS, A.R.; MAREK, F. ; BREEUWER, J.A. 2001. A mite species that consists

entirely of haploide females. Science 292: 2479-2482.

ZULUAGA, J. I. 1971. Lista preliminar de ácaros de importancia en Colombia. Acta Agronómica. Colombiana 21(3): 119-132.

Estrategias de apareamiento en ácaros (Acari) de importancia agrícola

Edison Torrado León

M.Sc. Biólogo – Entomólogo, Presidente de NaturaVisión Ltda.
Profesor Asociado, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de
Colombia, sede Bogotá.
edisontrrado@naturavision.com, etorradol@unal.edu.co

356

Memorias 38º Congreso Socolein

La selección sexual es un mecanismo que opera en las especies en donde interviene una hembra y un macho. Las fuerzas selectivas que actúan determinan las estrategias reproductivas propias de cada sexo y ocurre mediante la competencia entre machos por el apareamiento y la elección por parte de las hembras (Krebs and Davies, 1993; Cordero y Santolamazza, 2009). El primero en advertir la selección sexual fue Charles Darwin, quien en 1871 propuso la existencia de un mecanismo de selección sexual para explicar la evolución de los caracteres sexuales secundarios (Darwin, 1888).

Estos procesos se pueden presentar en varias etapas durante la reproducción, es decir antes o después del inicio de la cópula. En el primero, se da por medio de la lucha directa de los machos para acceder a una hembra o a través de la elección femenina de rasgos sobresalientes del macho como son cuernos, peso, etc. En la segunda etapa, esta se puede dar a partir del inicio de la cópula hasta después de presentarse ésta. En el caso de las hembras el mecanismo opera por medio de lo que se conoce como elección femenina críptica, es decir aquellas conductas que no son visibles para el ojo humano y ocurren al interior de ellas.

Por otro lado, existe otro tipo de competencia entre los machos a través de los espermatozoides al interior de la hembra por lograr su objetivo de fecundación y evitar que otros lleguen a la meta (Eberhard, 1996). Este último

fue un descubrimiento trascendental en la biología a principios de los años setenta por parte del Dr. Alan Parker Geoffrey, profesor de la Universidad de Liverpool (Inglaterra), a la que denominó "competencia espermática" (Parker, 1970). Esta consiste en una intrincada competencia entre los espermatozoides de diferentes machos por la fertilización de los huevos de una hembra con la que recientemente se han apareado, también denominada como inseminación heteroespermática. Es decir, que la selección sexual entre los machos sigue operando aún cuando éstos ya no se encuentran presentes. Sin embargo, un mejor éxito en el apareamiento de los machos de alta calidad también puede ser provocada por la competencia de interferencia directa entre estos, o simplemente a través de la actividad elevada de machos de alta calidad (Pekkala *et al.*, 2009).

De acuerdo con Cordero y Santolamazza (2009), el trabajo de Parker (1970) para definir la competencia espermática y sus consecuencias evolutivas fue "seminal", literal y figuradamente, ya que abrió un nuevo horizonte de investigación que rápidamente permitió descubrir adaptaciones fascinantes.

La competencia espermática se presenta en la mayoría de organismos con reproducción sexual (Parker, 1970; Smith, 1984; Eberhard, 1985; Cordero *et al.*, 1995; Eberhard, 1996; Edvardsson y Arnqvist, 2000). Se ha demostrado ampliamente que esta es una potente

fuerza en evolución que influencia el comportamiento, morfología y fisiología de los machos (Simmons y Kotiaho, 2002). Así mismo, se ha sugerido que las características del eyaculado tienen particularidades que funcionan en la competencia espermática y sirven para que la hembra pueda seleccionar, posterior a la cópula, la calidad de los machos y decida si este será el padre de la siguiente generación. Las hembras pueden preferir a los machos reproductores, con una buena genética para sus hijos basándose en las características del eyaculado recibido, tales como son su composición química (Cordero *et al.*, 1995; Eberhard y Cordero, 1995), o la longitud de los espermatozoides (Birkhead y Møller, 1998). Se considera que esta información recibida por las hembras es fiable, relacionada con la subyacente calidad de los machos (Yasui, 1997).

La reproducción de los ácaros puede ser de tipo partenogenética y sexual. En el primero, las hembras no fecundadas producen huevos haploides (n). Un ejemplo de este tipo de reproducción se presenta en varias especies de Tetranychidae y Tenuipalpidae, en donde los huevos no fecundados dan origen a machos (arrenotoquia) o hembras (Telitokia) (Helle y Bolland, 1972; Jeppson *et al.*, 1975; Helle y Sabelis, 1985; Pijnacker *et al.*, 1980,). Ros *et al.* (2008), indicaron que de 111 poblaciones evaluadas del ácaro *Bryobiakissophila* (Tetranychidae), el 94% tenían reproducción asexual. Se ha demostrado que el origen de la partenogénesis en varias especies de ácaros es consecuencia de la presencia de las bacterias como *Wolbachia* y *Cardinium* (Breeuwer y Jacobs, 1996; Vala *et al.*, 2002; Groot, 2006; Gotoh *et al.*, 2007; Ros *et al.*, 2008; Nakamura *et al.*, 2009).

La reproducción sexual está más generalizada en Acari. Los machos

disponen de un *aedeagus* para la cópula, el cual tiene diferentes formas, e introducen a la hembra en el momento de la cópula (Jeppson *et al.*, 1975). Recientemente, Klimov y Sidorchuk (2011) encontraron en ámbar Báltico, proveniente del Eoceno Superior (aproximadamente 40 millones de años), que las hembras de *Glaesacarus rhombeus* (= *Acarus rhombeus* Koch et Berendt, 1854) pertenecientes a la familia extinta Glaesacaridae, dominaban el control del apareamiento. Esto se soportó a través de diferentes estructuras morfológicas encontradas en las hembras que demuestran la selección precopulatoria por parte de éstas, tales como tubos copulatorios (*aedeagus* femenino) que actúan como órganos intromitentes a los machos y adaptaciones morfológicas especializadas que asisten la conducción de estos hacia las hembras y, finalmente, una almohadilla parecida al órgano opisthoso mal usado por los machos para la sujeción de las hembras durante la cópula.

Las estrategias que tienen los ácaros para evitar que otros machos copulen con las hembras son variadas. Los ácaros macho del género *Tetranychus* (Tetranychidae) una vez salen de la teliocrisálida toman alimento y caminan activamente. Estos desplazamientos rápidos tienen como finalidad localizar a una hembra (Torrado-León, 2010). De acuerdo con Cone *et al.* (1971), las hembras de *T. urticae* liberan una feromona sexual en el estado quiescente de telicrisálida (último estadio ninfal), la cual atrae a los machos que se encuentran circundantes a éstas (Figura 1). Las ventajas de la retención precopulatoria de estas hembras incrementan las oportunidades de cópula y favorece a los machos vigilantes para que sean donantes del eyaculado (Helle, 1967; Potter *et al.*, 1976a y b).

Los esfuerzos de vigilancia precopulatoria de los machos de *T. urticae* están dados por

el orden de apareamiento. Es decir que el primero en copular será el padre de la siguiente generación (Potter *et al.*, 1976a; Potter y Wrensch, 1978). Así mismo, Satoh *et al.*, (2001) demostraron que el tiempo de duración del apareamiento asegura la efectividad del eyaculado, con lo que plantearon la hipótesis que la duración de la cópula de esta especie se prolonga por protección poscopulatoria para impedir que la hembra se aparee con otros machos. Así, los machos aumentan la paternidad no solo por la vigilancia precopulatoria, sino también por la protección poscopulatoria.

En el caso de algunos ácaros de la familia Tarsonemidae como *Polyphagotarsonemus latus* (Banks), es muy diferente. Para evitar la competencia espermática o la selección criptica de las hembras, la vigilancia precopulatoria la realizan cargando a la hembra en estado pupal hasta que emerja como adulta para iniciar el proceso de cópula. Según Vieira y Chiavegato (1998), para el transporte de las hembras, el macho ubica el idiosoma en la superficie de la pupa, especialmente por la parte media del cuerpo, y la sujeta a la papila genital. Posteriormente, utiliza el cuarto par de patas como una palanca para levantarla del sustrato (Figura 2).

Bajo condiciones de confinamiento se observó a machos transportar a pupas de otros machos y comportamientos agonísticos entre estos por una pupa. La cópula se produce inmediatamente después de la emergencia de la hembra. Para esto, el macho se ubica en contra de la hembra uniendo los extremos de los idiosomas. El proceso de apareamiento es muy rápido, va desde 15 a 90 segundos. Para algunos ácaros de la familia Eriophidae, la reproducción sexual no involucra el contacto entre las parejas. En este caso, las hembras son inseminadas a partir de espermátóforos que dejan los machos sobre la superficie de la planta (Sternlicht y Goldeberg, 1971; Oldfield y Michalska, 1996; Oldfield y Newell, 1973). Observaciones sobre cuatro especies de Eriophidae mostraron que estos fueron atraídos hacia las deutoninfas quiescentes y depositaron los espermátóforos en un patrón circular a estas (Michalska y Boczek, 1991).

Como conclusión, los ácaros de importancia agrícola tienen estrategias reproductivas variadas como son la vigilancia pre y poscopulatoria, transportar a la hembra antes de que termine el período de pupa o distribuir paquetes espermáticos, entre otras.



Figura 1. Macho de *Tetranychus urticae* en vigilancia precopulatoria (Foto NaturaVisión 2010).



Figura 2. Macho de *Polyphagotarsonemus latus* transportando a una hembra (Foto NaturaVisión 2010).

Referencias Bibliográficas

- BIRKHEAD, T. R. Y A. P. MØLLER. 1998. Sperm competition and sexual selection. Academic Press, San Diego, CA.
- BREEUWER, J.A.J. Y G. JACOBS. 1996. Wolbachia: intracellular manipulators of mite reproduction. *Exp. Appl. Acarol.* 20: 421-434.
- CONE, W. W., L. M. MCDONOUGH, J. C. MAITLEN Y S. BURDAJEWICZ. 1971. Pheromone studies of the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch. I. Evidence of a sex pheromone. *J. Econ. Entomol.* 64:355-358.
- CORDERO, A., SANTOLAMAZZA CARBONE, S. Y C. UTZERI. 1995. Male disturbance, repeated insemination and sperm competition in the damselfly *Coenagrion scitulum* (Zygoptera: Coenagrionidae). *Animal Behaviour.* 49: 437-449.
- CORDERO RIVERA, A. Y C. SANTOLAMAZZA. 2009. Darwin y la Selección sexual después de la cópula. *Revista UNAM:* 10.
- DARWIN, C. 1888. *The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex.* 2nd edn. London: John Murray.
- EBERHARD, W.G. 1985. *Sexual selection and animal genitalia.* Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.
- EBERHARD, W.G. 1996. *Female control: sexual selection by cryptic female choice.* Princeton University Press, Princeton.
- EBERHARD, W. G. Y C. CORDERO. 1995. Sexual selection by cryptic female choice on male seminal products: a new bridge between sexual selection and reproductive physiology. *Trends in Ecology and Evolution,* 10 (12): 493-496.
- EDVARDSSON, M. Y G. ARNQVIST. 2000. Copulatory courtship and cryptic female choice in red flour beetles *Tribolium castaneum*. *Proc.R. Soc. Lond. B,* 267: 559-563.
- GROOT, T. V. M. 2006. *Cardinium* symbionts induce haploid thelytoky in most clones of three closely related *Brevipalpus* species. *Experimental and Applied Acarology* 39: 3-4.
- GOTOH T, H. NODA Y S. ITO. 2007. *Cardinium* symbionts cause cytoplasmic incompatibility in spider mites. *Heredity,* 98(1):13-20.
- JEPPSON, L. R.; H. H., KEIFER, Y E. W., BAKER. 1975: *Mites injurious to economic plants.* University of California Press: 614 pp
- HELLE W. 1967. Fertilization in the two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae*: Acari). *Entomologia Experimentalis et Applicata* 10: 103-110.
- HELLE W. Y H. R. BOLLAND. 1972. Artificial induction of males in a thelytokous mite species by means of X-rays. *Entomologia Experimentalis et Applicata.* 15 (3): 395-396.
- HELLE W. Y M. W. SABELIS. 1985. *Spider mites. Their biology, natural enemies and control* Amsterdam: Elsevier.
- KLIMOV, P. B. Y E. A. SIDORCHUK. 2011. An enigmatic lineage of mites from Baltic amber shows a unique, possibly female-controlled, mating. *Biological Journal of the Linnean Society,* 102 (3): 661-668.

- KREBS, J. R. Y N. B. DAVIES. 1993. Sexual conflict and sexual selection. In *An Introduction to Behavioural Ecology (tercera edición)* (J. R. Krebs and N. B. Davies eds.). Blackwell, Oxford, pp. 175-207.
- MICHALSKA K. Y J. BOCZEK. 1991. Sexual behaviour of males attracted to quiescent deutonymphs in the Eriophyoidea (Acari). En: *Modern Acarology* (DUSBABEK F., BUKVA V., Eds), 2: 549-553, Academia, Prague, Checia, and SPB Academic Publishing bv, The Haque, The Netherlands.
- NAKAMURA Y., S. KAWAI, F. YUKUHIRO, S. ITO, T. GOTOH, R. KISIMOTO, T. YANASE, Y. MATSUMOTO, D. KAGEYAMA Y H. NODA. 2009. Prevalence of Cardinium bacteria in planthoppers and spider mites and taxonomic revision of "*Candidatus Cardinium hertigii*" based on detection of a new Cardinium group from biting midges. *Applied Environmental Microbiology*, 75(21): 6757-6763.
- OLDFIELD G. N., Y K. MICHALSKA. 1996. Spermatophore deposition, mating behavior and population mating structure. En: Lindquist E. E., Sabelis M. W., Bruin J. (Eds). *Eriophyoid Mites - Their biology, natural enemies and control*. Amsterdam: Elsevier. p. 185-198.
- OLDFIELD, G. N. E I. M. NEWELL. 1973. The spermatophore as the source of sperm for deutogynes of *Aculus cornutus* (Acari: Eriophyidae). *Annal of Entomological Society of America*. 66: 223-225.
- PARKER, G. 1970. Sperm competition and its evolutionary consequences in the insects, *Biological Reviews* 45: 525-567.
- PEKKALA N., M. PUURTINEN Y J. S. KOTIAHO. 2009. Sexual selection for genetic quality: disentangling the roles of male and female behaviour. *Animal Behaviour*. 78: 1357-1363.
- PIJNACKER, L. P., M. A. FERWERDA, H. R. BOLLAND Y W. HELLE. 1980. Haploid female parthenogenesis in the false spider mite *Brevipalpus obovatus* (Acari: Tenuipalpidae). *Genetica*. 51 (3): 211-214.
- POTTER, D. A., D. L. WRENSCH Y D. E. JOHNSTON. 1976a. Guarding, aggressive behavior, and mating success in male twospotted spider mites. *Annals of Entomological Society of America*. 69: 707-711.
- POTTER, D. A., D. L. WRENSCH Y D. E. JOHNSTON. 1976b. Aggression and mating success in male spider mites. *Science*. 193: 160-161.
- POTTER, D. A. Y D. L. WRENSCH. 1978. Interrupted matings and the effectiveness of second inseminations in the twospotted spider mite. *Annals of Entomological Society of America*. 71: 882-885.
- ROS, V., J. A. J. BREEUWER Y S. B. J. MENKEN. 2008. Origins of asexuality in Bryobia mites (Acari: Tetranychidae). *BMC Evolutionary Biology*, 8:153.
- 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*, 36:41-45.
- SIMMONS, L. W. Y J. S. KOTIAHO. 2002. Evolution of ejaculates: patterns of phenotypic and genotypic variation and condition dependence in sperm competition traits. *Evolution*, 56(8): 1622-1631.

SMITH, R. L.(ED.) 1984. Sperm Competition and the Evolution of Animal Mating Systems. Academic Press, New York. 688 pp.

STERNLICHT M., Y S. GOLDENBERG. 1971. Fertilization, sex ratio and postembryonic stages of the citrus bud mite *Aceria sheldoni* (Ewing) (Acarina, Eriophyidae). *Bulletin of Entomological Research*. 60: 391-397.

TORRADO-LEÓN, E. 2010. Arañitas (Acari: Tetranychidae): megaplagas de cultivos ornamentales. Memorias Sociedad Colombiana de Entomología (Socolen). XXXVII Congreso, Bogotá, Colombia, junio 30, julio 2, 2010.

VALA, F., WEEKS, A., CLAESSEN, D., BREEUWER, J.A.J. Y M.W. SABELIS. 2002. Within- and between-population variation for Wolbachia induced reproductive incompatibility in a haplodiploid mite. *Evolution* 56: 1331-1339.

VIEIRA, M. R. Y L. G. CHIAVEGATO. 1998. Biología de *Polyphagotarsonemus latus* (Banks, 1904) (Acari: Tarsonemidae) em algodoeiro. Pesquisa agropecuária brasileira, *Brasília*, 33 (9): 1437-1442.

Ácaros acuáticos de Colombia (ACARI: HYDRACHNIDIA): Estado actual del conocimiento

José Orlando Cómbita Heredia¹;
Rodulfo Ospina Torres²; Elisa Jimeno Calle³

¹C. MSc. Biología, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá.
Calle 55 No. 17 22 Apto 301, Bogotá, Colombia.
jocombitah@yahoo.com

²Dr. rer.nat., Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia, A.A. 14490, Bogotá, Colombia.
rodulfoospina42@gmail.com

³Bióloga, Universidad el Bosque. Calle 152B No. 55-45 Torre 1
Apto 1102, Bogotá, Colombia.

Resumen

Los resultados mostrados en este escrito hacen parte del proyecto Ácaros Acuáticos de Colombia financiado por la Fundación Europea Pro Acarología Basiliensis, con el apoyo de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Los objetivos de este estudio son revisar las principales colecciones de macroinvertebrados acuáticos para separar, identificar y catalogar los ácaros acuáticos con el fin de establecer una colección de referencia, además realizar la descripción de algunas de las especies nuevas encontradas.

Se incluyeron en total 14 colecciones de las cuales se han encontrado especímenes en seis de ellas, cinco no reportaron y las tres restantes están pendientes de ser revisadas. Se encontraron individuos de siete departamentos, Hygrobatidae es la familia con mayor distribución, está en seis departamentos, seguida por Anisitsiellidae, Aturidae y Unionicolidae con cuatro. La familia más abundante es Hygrobatidae, seguida de Arrenuridae y Unionicolidae. Los departamentos más ricos son Chocó, Caldas y Meta. Los géneros más abundantes son *Hygrobatella*, *Arrenurus* y *Koenikea*. Los géneros más ampliamente distribuidos son *Limnesia*, *Hygrobatella*, *Crenohygrobates* y *Atractides*.

Este es el primer registro para Colombia de las familias Eylaidae, Hydrachnidae, Hydrodromidae, Krendowskiidae y Momoniidae. También es el primer registro de 17 géneros: *Nilotonia*, *Aturides*, *Eylais*, *Hydrachna*, *Hydrodroma*, *Hydryphantes*, *Protzia*, *Crenohygrobates*, *Mapuchacarus*, *Megapella*, *Paraschizobates*, *Zabobates*, *Geayia*, *Protolimnesia*, *Notomomonía*, *Recifella* y *Unionicola*. Además se han encontrado al menos 2 géneros nuevos y cerca de 15 especies nuevas para la ciencia que están en proceso de descripción.

Palabras Clave: Ácaros acuáticos, Riqueza, Abundancia, Colección de referencia, Colombia.

Abstract

The results shown in this paper are from project "Fresh Water Mites of Colombia"; it is funded by the European Foundation Pro Acarologia Basiliensis, with the support of the Universidad Nacional de Colombia, in Bogotá. The main objectives of this study are to review major collections of aquatic macroinvertebrates in order to separate, identify and catalog all the fresh water mites and in this way to establish a reference collection, also make the description of some of the new species here found.

We included a total of 14 collections of which have been found specimens in six of these; five did not report it and the remaining three have not yet been reviewed. Fresh Water Mites were found in seven departments; the family Hygrobatidae is the most widely distributed, in six departments, followed by Anisitsiellidae, Aturidae and Unionicolidae. The most abundant family is Hygrobatidae, followed by Unionicolidae and Arrenuridae. The richest departments are Chocó, Caldas. The most abundant genera are Hygrobatella, Koenikea and Arrenurus. The widely distributed genera are *Limnesia*, *Hygrobatella*, *Crenohygrobates* and *Atractides*.

This is the first record of families Eylaidae, Hydrachnidae, Hydrodromidae, and Momoniidae Krendowskiidae in Colombia. It is also the first record of 17 genera: *Nilotonia*, *Aturides*, *Eylais*, *Hydrachna*, *Hydrodroma*, *Hydryphantes*, *Protzia*, *Crenohygrobates*, *Mapuchacarus*, *Megapella*, *Paraschizobates*, *Zabobates*, *Geayia*, *Protolimnesia*, *Notomomonía*, *Recifella* and *Unionicola*. We also found at least 2 new genera and about 15 species are new to science, these are in description process

Key words: Fresh Water Mites, Richness, Abundance, Reference Collection, Colombia.

Introducción

Los ácaros acuáticos han sido un tema de interés para varios investigadores alrededor del mundo, sin embargo para Colombia se han realizado muy pocos estudios en el tema. El principal estudio publicado para Colombia fue el realizado en 1953 por Lundblad (Lundblad, 1953), él reporta 94 especies agrupadas en 38 géneros y 14 Familias, este estudio fue basado únicamente en dos localidades

de muestreo, por otra parte tenemos que para el Neotrópico hay 1.305 especies agrupadas en 164 géneros, lo cual nos indica que para este grupo aún falta un amplio reconocimiento en Colombia.

Ácaros acuáticos o wátermités es el nombre común mediante el cual se conocen a todos los ácaros que se encuentran adaptados a vivir en ambientes acuáticos (Roldan, 2005), y no hace referencia a un grupo monofilético específico, estos artrópodos son el único grupo de arácnidos que se han adaptado a vivir exclusivamente en el agua. A este grupo también se le llama incorrectamente Hydracarina o Hydrachnallae (Sabatino *et al.*, 2000).

Dentro de este grupo encontramos a los "verdaderos ácaros acuáticos", que es un grupo monofilético que tiene todos sus representantes, es decir todas sus especies adaptadas a vivir en hábitats acuáticos. Este grupo pertenece a la categoría taxonómica de Subcohorte **Hydrachnidia**, la cual está por encima de superfamilia y dentro de la Cohorte Parasitengona, Suborden Prostigmata, Orden Trombidiformes, Superorden, Acariformes, Subclase Acari, Clase Arachnida (Krantz, 2009), en este escrito se va a hacer referencia al grupo Hydrachnidia como ácaros acuáticos para efectos prácticos en los capítulos.

Los ácaros acuáticos se encuentran en casi todos los ambientes acuáticos, como ríos, riachuelos, lagos, lagunas glaciares, nacimientos de agua, cascadas, entre otros pueden incluso vivir en aguas termales de hasta 50°C. Su gran capacidad de adaptarse a vivir en cualquier ambiente es un buen indicador del éxito de este grupo, pero no el único, pues su densidad es frecuentemente muy alta, alcanzando entre 2.000 a 5.000 individuos por metro cúbico de agua en ambientes litorales, su riqueza es también un buen indicador del éxito y adaptabilidad, pues actualmente

cuenta con más de 6.000 especies descritas, agrupadas en más de 400 géneros y más de 570 familias y existen estimaciones de que hay alrededor de más de 10.000 especies a nivel mundial (Sabatino *et al.*, 2000).

Los ácaros acuáticos son un grupo aún poco conocido en varias regiones del mundo, incluyendo varios países de América, especialmente Centro y Suramérica. Cook (1981) presenta un amplio estudio para la región neotropical y los primeros estudios sobre ácaros acuáticos en esta región se remontan a los realizados por Berlesse (1888), posteriormente Thor (1897) describe a *Geayia venezuelae* como nueva especie y género para Venezuela y Bech (1969b) discute algunos patrones generales de distribución geográfica para los ácaros acuáticos en Suramérica (Fernández, 2001).

Específicamente para Colombia hay varias descripciones, las más viejas son de Walter (1912), quien describe *Limnesia pauciset*, que posteriormente fue llamada *L. columbiensi* Viets (1956). Lundblad (1941a) describió 10 nuevas especies para Colombia, luego este mismo autor describe otras dos nuevas especies (Lundblad, 1941b). En 1953 Lundblad, describe 92 nuevas especies y subespecies y Viets (1956) describe dos nuevas especies para nuestro país. Desde entonces no se habían vuelto a publicar estudios o publicaciones en este importante grupo hasta el 2010 con la publicación de la especie *Wandesia (Partnuniella) lehmanni* (Pešić V. *et al.*, 2010).

El Ciclo de vida de los ácaros acuáticos (figura 1), ocupa todas las etapas del ciclo normal de los ácaros con algunas pocas excepciones. El ciclo inicia con el huevo, después de salir de la membrana del huevo, la larva hexápoda, busca

a un insecto adulto y se convierte en su ectoparásito y es transportado pasivamente mientras se alimenta de los fluidos del hospedero.

En esta parte del este ciclo hay algunas particularidades como la pérdida de la fase larval parasítica en diferentes especies, en al menos 14 géneros, en estos casos los huevos eclosionan directamente a un estado postlarval. Otra particularidad se da en algunas especies que pueden parasitar, además de los adultos, las fases larvales de insectos.

Una vez la larva está totalmente satisfecha se transforma en la protoninfa o ninfocrisalis, que es un estado de reposo y que posee cuatro pares de patas. Durante esta fase se produce una organización estructural grande y pasa a la deutoninfa que es activa y muy similar al estado adulto y tiene hábitos depredadores.

La deutoninfa y el adulto se diferencian en la madurez sexual, la exhibición de esclerosis incompleta y la quetotaxia. La deutoninfa se alimenta y crece en tamaño antes de entrar a la siguiente etapa la tritoninfa o imagocrisalis que es también una etapa de reposo. Después de la finalización de la metamorfosis pasa al estado adulto el cual es también depredador.

La importancia ecológica de este grupo radica en que al parasitar insectos adultos y depredar sus huevos y larvas, pueden ser potenciales controladores de poblaciones acuáticas de otros organismos; sin embargo su papel como regulador aún está en discusión. Se ha estudiado algunos casos en que la tasa de depredación de los hidracáridos sobre *Anopheles spp*, *Culex spp* y *Simulium sp* va de 2 a 8 larvas por ácaro por día, este tipo de estudios pueden llegar a tener relevancia al trabajar con insectos

hematófagos vectores de enfermedades.

Por otro lado el uso de los ácaros acuáticos como bioindicadores es un área que aún está por ser estudiada, este tipo de investigaciones pueden tener grandes resultados debido a que ciertos grupos de ácaros acuáticos presentan gran susceptibilidad a la calidad del agua, pero la falta general de conocimiento sobre muchas especies de ácaros es un tema que dificulta este tipo de investigaciones, lo más recomendable es hacer estudios y ensayos con especies particulares de las cuales se tenga un amplio conocimiento de sus hábitos alimenticios, ciclo de vida, hospedero, entre otros aspectos.

Iniciando con ensayos de este tipo se puede prevenir el error de caer en la generalización de que todas las especies del mismo género o los géneros de una familia se van a comportar de igual manera en todos los ambientes.

En resumen si se pueden usar a los ácaros acuáticos como herramienta en la bioindicación de aguas, pero solo con grupos específicos o especies a las cuales se les hayan hecho los ensayos de tolerancia correspondientes y se hayan tenido en cuenta todos las variables ambientales, física, químicas y biológicas del agua, además este tipo de estudios en bioindicación solo pueden ser usados para las áreas específicas de estudio y no generalizadas para toda una región o un país.

Otro error que puede llegar a surgir en los estudios de bioindicación es caer en malas identificaciones de larvas o adultos, por esto es importante generar una amplia base de literatura, una buena colección de referencia y crear escuela para futuros acarólogos en el país.

Materiales y Métodos

El primer paso fue establecer el contacto con las personas a cargo de las principales colecciones de ambientes acuáticos en Colombia. Se solicitó la revisión de cada colección y solo se tomó el material en el que los ácaros ya estuvieran separados y etiquetados; solo en los casos en que se tenía certeza de la presencia de ácaros se hicieron revisiones de material etiquetado como miscelánea.

El material fue traído al laboratorio de invertebrados acuáticos del departamento de biología de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

Los frascos fueron separados por colección y por localidad, cada frasco fue revisado y el contenido fue pasado a fluido de Koenike's, los frascos fueron almacenados por cerca de una semana, hasta que los especímenes estuvieran un poco más flexibles.

Luego los ácaros fueron separados por morfoespecie y localidad en viales individuales.

En la mayoría de los casos los ácaros fueron montados temporalmente en láminas excavadas para su identificación, debido a que en su mayoría son ácaros de gran tamaño.

En muchos casos fue necesario hacer disección de palpos, patas o escudos para la identificación. Los ácaros de menor tamaño fueron montados permanentemente en láminas individuales con el medio de montaje Hoyers para su identificación. En muchos casos se necesitó de una aclaración con KOH o ácido láctico de 1 a 48 horas dependiendo el caso.

Los datos de colecta como fecha, colector, sustrato, tipo de corriente, parámetros

físico-químicos fueron anotados para cada individuo.

Posteriormente se organizó la colección separada por familia y se hizo una revisión de cada familia y en los casos en los que la literatura lo permitiera, se reconocieron las especies o géneros potencialmente nuevos. La colección resultante del proyecto será depositada en el Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

Resultados y Discusión

El proyecto contempló inicialmente una revisión de literatura y posteriormente revisar nueve colecciones de invertebrados acuáticos donde se tenía conocimiento, por comunicaciones personales, que existían frascos con ácaros acuáticos.

En la tabla 1 se listan las especies reportadas para Colombia que se encontraron durante la fase de revisión.

Tabla 1. Especies de ácaros acuáticos reportadas para Colombia.

FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE	REFERENCIAS
LIMNOCHARIDAE	<i>Ryncholimnochares</i>	<i>Ryncholimnochares longipalpis</i> <i>Ryncholimnochares gracilirostris</i> <i>Ryncholimnochares andina</i>	LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953.
HYDRYPHANTIDAE	<i>Neocalonyx</i> <i>Wandesia</i>	<i>Neocalonyx pectunguis</i> <i>Wandesia (Partnuniella) lehmanni</i>	LUNDBLAD, 1953. Pešić V., et al, 2010
RHYNCHOHYDRACARIDAE	<i>Clathrosperchon</i>	<i>Clathrosperchon crassipalpis</i> <i>Clathrosperchon minor</i>	LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953.
HYDRODROMIDAE	<i>Hydrodroma</i>	<i>Hydrodroma despiciens</i> var. <i>Clavipes</i>	LUNDBLAD, 1953.
SPERCHONIDAE	<i>Sperchon</i>	<i>Sperchon (Mixosperchon) motasi</i> <i>Sperchon (Mixosperchon) andinus</i>	LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953.
ANISITSIELLIDAE	<i>Anisitsiellides</i> <i>Mamersellides</i>	<i>Anisitsiellides monticulus</i> <i>Mamersellides ventriperofratus</i>	LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953.
OXIDAE	<i>Flabellifrontipoda</i>	<i>Flabellifrontipoda sneirderni</i> <i>Flabellifrontipoda neotropica</i>	LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953.
TORRENTICOLIDAE	<i>Torrenticola</i>	<i>Torrenticola columbiana</i> <i>Torrenticola bicolor</i> <i>Torrenticola conirostris</i> <i>Torrenticola brevis</i> <i>Torrenticola brevis subsp. clavipes</i> <i>Torrenticola (Rusetriella) hesperia</i> <i>Heteratractides serratiostris</i>	LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953.
	<i>Neoatractides</i>	<i>Neoatractides inachus</i> <i>Neoatractides formosus</i>	LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953.
LIMNESIIDAE	<i>Limnesia</i>	<i>Limnesia fuhrmanni</i> <i>Limnesia longipora</i>	LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953.
	<i>Centrolimnesia</i>	<i>Centrolimnesia schadei</i>	LUNDBLAD, 1953.
	<i>Rheolimnesia</i>	<i>Rheolimnesia motasi</i>	LUNDBLAD, 1953.
	<i>Neotyrrellia</i>	<i>Neotyrrellia recurva</i> <i>Neotyrrellia polypora</i>	LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953.
	<i>Neomamersa</i>	<i>Neomamersa uncipalpis</i>	LUNDBLAD, 1953.
	<i>Neotorrenticola</i>	<i>Neotorrenticola plumipes</i> <i>Neotorrenticola crassipes</i> <i>Neotorrenticola walteri</i> <i>Neotorrenticola bidens</i> <i>Neotorrenticola papillata</i>	LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953.

FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE	REFERENCIAS
HYGROBATIDAE	<i>Hygrobates</i>	<i>Hygrobates ampliatus</i> <i>Hygrobates plebejus</i> <i>Hygrobates plebejus</i> var. <i>tamboensis</i> <i>Hygrobates obtusidens</i> <i>Hygrobates amplipalpis</i> <i>Hygrobates sterrodermus</i> <i>Hygrobates (Hygrobatides) distendens</i>	LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953.
	<i>Hygrobatella</i>	<i>Hygrobatella papillata</i> <i>Hygrobatella elegantulla</i> <i>Hygrobatella longigenitalis</i> <i>Hygrobatella longigenitalis</i> var. <i>elata</i> <i>Hygrobatella puberula montana</i> <i>Hygrobatella puberula</i> subsp. <i>validipalpis</i> <i>Hygrobatella puberula</i> var. <i>arcuata</i> <i>Hygrobatella puberula</i> subsp. <i>minuta</i> <i>Hygrobatella (Tetrahygrobatella) dictyoderma</i> <i>Hygrobatella (Polyhygrobatella) polypora</i> <i>Hygrobatella (Polyhygrobatella) polygramma</i>	LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953.
	<i>Australiobatella</i>	<i>Australiobatella vietsi</i>	LUNDBLAD, 1953.
	<i>Paraustaliobates</i>	<i>Paraustaliobates columbianus</i>	LUNDBLAD, 1953.
	<i>Hesperohygrobates</i>	<i>Hesperohygrobates torae</i>	LUNDBLAD, 1953.
	<i>Atractidella</i>	<i>Atractidella longidens</i> <i>Atractidella obtusidens</i>	LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953.
	<i>Neocorticacarus</i>	<i>Neocorticacarus validipalpis</i>	LUNDBLAD, 1953.
	<i>Motasia</i>	<i>Motasia placoderma</i>	LUNDBLAD, 1953.
	<i>Corticacarus</i>	<i>Corticacarus schadei</i> var. <i>columbianus</i> <i>Corticacarus (Polycorticacarellus) multiporus</i> <i>Corticacarus (Corticacarellus) vietsi</i> <i>Corticacarus (Paracorticacarus) longirostris</i> <i>Corticacarus (Paracorticacarus) multiscutus</i> <i>Corticacarus (Paracorticacarus) multiscutus</i> var. <i>divisus</i> <i>Corticacarus (Paracorticacarus) multiscutus</i> var. <i>reductus</i> <i>Corticacarus (Paracorticacarus) curvirostris</i> <i>Corticacarus (Paracorticacarus) curvirostris</i> var. <i>minutissimus</i> <i>Corticacarus (Paracorticacarus) testudo</i> <i>Corticacarus (Paracorticacarus) testudo</i> var. <i>aberratus</i> <i>Corticacarus (Paracorticacarus) motasi</i> <i>Corticacarus (Paracorticacarus) setipes</i>	LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953.
	<i>Atractides</i>	<i>Atractides (Megapodides) porosus</i> var. <i>columbianus</i> <i>Atractides (Megapodides) rostratus</i> <i>Atractides plaumanni</i> var. <i>novus</i> <i>Atractides plaumanni</i> var. <i>sinuatipes</i> <i>Atractides brasiliensis</i> <i>Atractides schadei</i>	LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953.

FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE	REFERENCIAS
UNIONICOLIDAE	<i>Koenikea</i>	<i>Koenikea (Recifella) columbiana</i> <i>Koenikea (Tamboella) multiseta</i>	LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953.
PIONIDAE	<i>Piona</i>	<i>Piona rotunda</i>	VIETS, 1956.
ATURIDAE	<i>Kongsbergia</i>	<i>Kongsbergia (Neokongsbergia) globipalpis</i>	LUNDBLAD, 1953.
	<i>Neoaturus</i>	<i>Neoaturus caudatus</i>	LUNDBLAD, 1953.
	<i>Aturus</i>	<i>Aturus andina</i>	LUNDBLAD, 1953.
	<i>Axonopsis</i>	<i>Axonopsis columbicola</i>	LUNDBLAD, 1953.
	<i>Axonopsella</i>	<i>Axonopsella andina</i>	LUNDBLAD, 1953.
	<i>Polyaxonopsella</i>	<i>Polyaxonopsella polypora</i>	LUNDBLAD, 1953.
	<i>Actinacarus</i>	<i>Actinacarus cardioporus</i> <i>Actinacarus affinis</i>	LUNDBLAD, 1953. LUNDBLAD, 1953.
	<i>Szalayella</i>	<i>Szalayella incisa</i>	LUNDBLAD, 1953.
ARRENURIDAE	<i>Dadayella</i>	<i>Dadayella walteri</i>	LUNDBLAD, 1953.
	<i>Arrenurus</i>	<i>Arrenurus (Megaluracarus) tamboensis</i>	LUNDBLAD, 1953.
		<i>Arrenurus imperator</i> var. <i>goliath</i>	LUNDBLAD, 1953.
		<i>Arrenurus triconicus</i>	VIETS, 1956.
<i>Wandesia</i>	<i>Wandesia (Partnuniella) lehmanni</i>	Pešić V., et al, 2010	

Durante la fase de contacto de las colecciones, se encontró que algunas universidades privadas, otras públicas y algunas compañías que realizan consultorías, tenían también especímenes de ácaros acuáticos en sus colecciones

En la tabla 2 se resumen las colecciones visitadas, su localización y el estatus en el proyecto: revisadas (revisadas

completamente), bajo revisión (material en proceso de separación) o no revisadas (colecciones en las cuales no se han recogido o reportado especímenes). En algunos casos las personas encargadas de las colecciones reportaron no tener especímenes y en otros casos fueron estudiantes los que colaboraron con la revisión, en total se han incluido 14 colecciones.

Tabla 2. Colecciones de invertebrados acuáticos contempladas en el proyecto.

Colecciones de Macroinvertebrados acuáticos	Depto.	Estado	Reporte
Universidad Pedagógica	Cund.	En revisión	
Universidad Javeriana	Cund.	Revisada	No se encontraron Ácaros
Universidad El Bosque	Cund.	Revisada	No se encontraron Ácaros
Universidad Industrial de Santander	Santand.	Revisada	No se encontraron Ácaros
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia	Boyacá	Revisada	No se encontraron Ácaros
Universidad de Antioquia	Antioqu.	Revisada	Ácaros Identificados
Universidad Nacional de Colombia, Bogotá	Cund.	En revisión	Ácaros Identificados
Universidad del Magdalena	Magdal.	Revisada	Ácaros Identificados
Universidad De los Andes	Cund.	No revisada	
Daphnia LTDA.	Cund.	Revisada	Ácaros Identificados
Universidad del Tolima	Tolima	Revisada	No se encontraron Ácaros
Universidad Nacional de Colombia, San Andrés	San An.	No revisada	
Universidad Nacional de Colombia, Amazonas	Amazon.	No revisada	
Universidad del Valle	Valle	En revisión	

En las colecciones revisadas hasta la actualidad se han encontrado especímenes en siete departamentos de Colombia: Atlántico, Antioquia, Caldas, Chocó, Cundinamarca, Meta, Tolima, en la tabla 3 se muestran los resultados de la presencia de familias en cada departamento encontrado y el número de individuos por familia. Se ha encontrado que la familia más abundante es Hygrobatidae con 344 individuos, seguida de Arrenuridae con

145 individuos y Unionicolidae con 146 individuos. Las familias menos abundantes son Krendowskiidae, Momoniidae y Oxydae con 2 individuos cada una.

Hygrobatidae es también la familia que se ha encontrado presente en más departamentos, seis departamentos de los siete encontrados, seguida por Anisitsiellidae, Aturidae y Unionicolidae en cuatro departamentos cada una.

Tabla 3. Familias de ácaros acuáticos con número de individuos presentes en los diferentes departamentos de Colombia.

Familia	Individuos	Departamentos
Anisitsiellidae	48	Caldas, Meta, Chocó, Antioquia
Arrenuridae	145	Caldas, Meta, Chocó
Aturidae	11	Caldas, Meta, Tolima, Chocó
Eylaidae	21	Chocó
Hydrachnidae	8	Chocó
Hydrodromidae	37	Chocó
Hydryphantidae	35	Caldas, Chocó, Cundinamarca
Hygrobatidae	344	Atlántico, Caldas, Chocó, Cundinamarca, Meta, Tolima
Krendowskiidae	2	Chocó
Limnesiidae	88	Chocó
Limnocharidae	7	Atlántico, Antioquia, Caldas
Momoniidae	2	Caldas
Oxydae	2	Cundinamarca
Pionidae	5	Meta, Chocó
Rhynchohydracaridae	3	Caldas, Cundinamarca
Torrenticolidae	17	Caldas, Cundinamarca, Meta
Unionicolidae	146	Caldas, Chocó, Cundinamarca, Meta
Indeterminados	21	Chocó, Cundinamarca
Total	942	

De los siete departamentos encontrados en este trabajo, el de mayor riqueza es Chocó con 12 familias y 25 géneros, seguido de Caldas con 10 familias y 18 géneros y Meta con 8 familias y 15

géneros. Los departamentos con menor riqueza son Antioquia con tres familias y 3 géneros, Tolima con tres familias y tres géneros y Atlántico con dos familias y 3 géneros, tabla 4.

Tabla 4. Familias y géneros de ácaros acuáticos por departamento.

Departamento	Familias	Géneros
Atlántico	Hygrobatidae Limnocharidae	Atractidella Zabobates Rhyncholimnochaes
Antioquia	Limnocharidae Anisitsiellidae Limnocharidae	Rhyncholimnochaes Nilotonia Rhyncholimnochaes
Caldas	Anisitsiellidae Arrenuridae Aturidae Hydryphantidae Hygrobatidae Limnesiidae Limnocharidae Momonidae Rhynchohydracaridae Torrenticolidae	Mamersellides Arrenurus Axonopsella Konsbergia Indeterminado o ninfas Hydryphantes Protzia Atractides Crenohygrobates Hygrobatella Hygrobates Megapella Zabobates Limnesia Neotorrenticola Rhyncholimnochaes Notomomonía Clathosperchon Torrenticola
Chocó	Anisitsiellidae Arrenuridae Aturidae Eylidae Hydrachnidae Hydrodromidae Hydryphantidae Hygrobatidae INDETERMINADOS Krendowskiidae Limnesiidae Pionidae Unionicolidae	Mamersellides Nilotonia Arrenurus Aturides Eylais Hydrachna Hydrodroma Hydryphantes Atractides Australiobatella Crenohygrobates Hygrobatella Hygrobates Mapuchacarus Indeterminado o ninfas INDETERMINADOS Geayia Centrolimnesia Limnesia Indeterminado o ninfas Piona Koenikea Recifella Unionicola Indeterminado o ninfas
Cundinamarca	Hydryphantidae Hygrobatidae INDETERMINADOS Limnesiidae Unionicolidae	Hydryphantes Atractides Crenohygrobates Hygrobatella Indeterminado o ninfas INDETERMINADOS Limnesia Indeterminado o ninfas

Departamento	Familias	Géneros
Meta	Anisitsiellidae Arrenuridae Aturidae Hygrobatidae Limnesiidae Pionidae Torrenticolidae Unionicolidae	Mamersellides Arrenurus Konsbergia Neoaturus Atractidella Atractides Crenohygrobatas Hygrobatella Hygrobatas Paraschizobates Zabobates Limnesia Piona Torrenticola Recifella
Tolima	Aturidae Hygrobatidae Limnesiidae	Axonopsis Hygrobatas Limnesia

Hasta la fecha se ha encontrado que los géneros más abundantes son Hygrobatella con 158 individuos, seguido de Arrenurus con 145 individuos y Koenikea con 109 (tabla 5).

En la tabla 5 se puede observar que Limnesia es el género con mayor

distribución pues se encuentra en cinco de los siete departamentos seguido de Hygrobatella, Crenohygrobatas y Atractides los cuales se encuentran en cuatro departamentos. En esta tabla 5 además se muestran los nuevos reportes de géneros y familias para Colombia encontrados en este proyecto.

Tabla 5. Géneros y familias de ácaros acuáticos de Colombia encontrados en el proyecto y su departamento de localización.

Familia	Géneros	No. Ind.	Departamento
Anisitsiellidae	Mamersellides	46	Caldas, Chocó, Meta
	Nilotonia*	2	Atlántico, Chocó
Arrenuridae	Arrenurus	145	Caldas, Chocó, Meta
Aturidae	Aturides*	2	Chocó
	Axonopsella	1	Caldas
	Axonopsis	1	Tolima
	Konsbergia	5	Caldas, Meta
	Neoaturus	1	Meta
	Indeterminado o ninfas	1	Caldas
Eylaidae**	Eylais*	21	Chocó
Hydrachnidae**	Hydrachna*	8	Chocó
Hydrodromidae**	Hydrodroma*	37	Chocó
Hydryphantidae	Hydryphantes*	29	Caldas, Chocó, Cundinamarca
	Neocalonyx	4	Cundinamarca
	Protzia*	2	Caldas

Familia	Géneros	No. Ind.	Departamento
Hygrobatidae	Atractidella	2	Atlántico, Meta
	Atractides	8	Caldas, Chocó, Cundinamarca, Meta
	Australiobatella	1	Chocó
	Corticacarus	103	Cundinamarca
	Crenohygrobates*	10	Caldas, Chocó, Cundinamarca, Meta
	Hygrobatella	158	Caldas, Chocó, Cundinamarca, Meta
	Hygrobates	42	Caldas, Chocó, Meta, Tolima
	Mapuchacarus*	1	Chocó
	Megapella*	1	Caldas
	Paraschizobates*	1	Meta
	Zabobates*	10	Atlántico, Caldas, Meta
	Indeterminado o ninfas	7	Chocó, Cundinamarca
Krendowskiidae**	Geayia*	2	Chocó
Limnesiidae	Centrolimnesia	1	Chocó
	Limnesia	81	Caldas, Chocó, Cundinamarca, Meta, Tolima
	Neotorrenticola	1	Caldas
	Protolimnesia*	2	Cundinamarca
	Indeterminado o ninfas	3	Chocó
Limnocharidae	Rhyncholimnochaes	7	Atlántico, Antioquia, Caldas
Momoniidae**	Notomomonía*	2	Caldas
Oxydae	Flabellifrontipoda	2	Cundinamarca
Pionidae	Piona	5	Chocó, Meta
Rhynchohydracaridae	Clathrosperchon	3	Caldas, Cundinamarca
Torrenticolidae	Torrenticola	17	Caldas, Cundinamarca, Meta
Unionicolidae	Koenikea	109	Chocó
	Recifella*	1	Chocó, Meta
	Unionicola*	29	Chocó
	Indeterminado o ninfas	7	Chocó, Cundinamarca
Indeterminados		21	

*Nuevos registros de géneros para Colombia

**Nuevos registros de familias para Colombia

Conclusiones

Se amplió el conocimiento de la distribución, abundancia y riqueza de los ácaros acuáticos de Colombia, pero aún hacen falta estudios complementarios en el ámbito molecular, ecológico, evolutivo, etc.

Se logró establecer una colección de referencia a pesar de la poca efectividad que se tiene cuando se trata de aplicar un protocolo de revisión de colecciones externas.

La falta de material en las colecciones y la ausencia de organismos en diferentes departamentos, hizo evidente que son necesarios más estudios, revisiones y

muestreos para este tipo de organismos en el país.

Se logró establecer una amplia base bibliográfica que en últimas ayudará a reducir el error en las identificaciones

Hay un gran vacío en cuanto al conocimiento específico y al conocimiento práctico y es por eso que se deben hacer publicaciones de guías de identificación rápidas y de campo para limnólogos, ecólogos, consultores, etc., que no estén familiarizados con la taxonomía del grupo, puedan identificar a grandes rasgos y procesar en forma adecuada este tipo de organismos ya que en últimas son ellos los que muchas veces colectan este tipo de material.

Se observó que en muchas de las colecciones el material se había votado o simplemente no se había colectado eficazmente, debido a la falta de conocimiento del grupo.

Agradecimientos

A la Fundación Pro Acarología Basiliensis por su apoyo en estos años, a los

profesores Rodulfo Ospina y Eduardo Flores por sus enseñanzas y compañía a lo largo de mi formación profesional, a mi esposa y mi hijo por darme fuerza y recargar mis baterías y finalmente a los integrantes del recién formado Grupo Colombiano de Acarología porque nos estamos encaminando hacia el desarrollo de esta disciplina en Colombia.

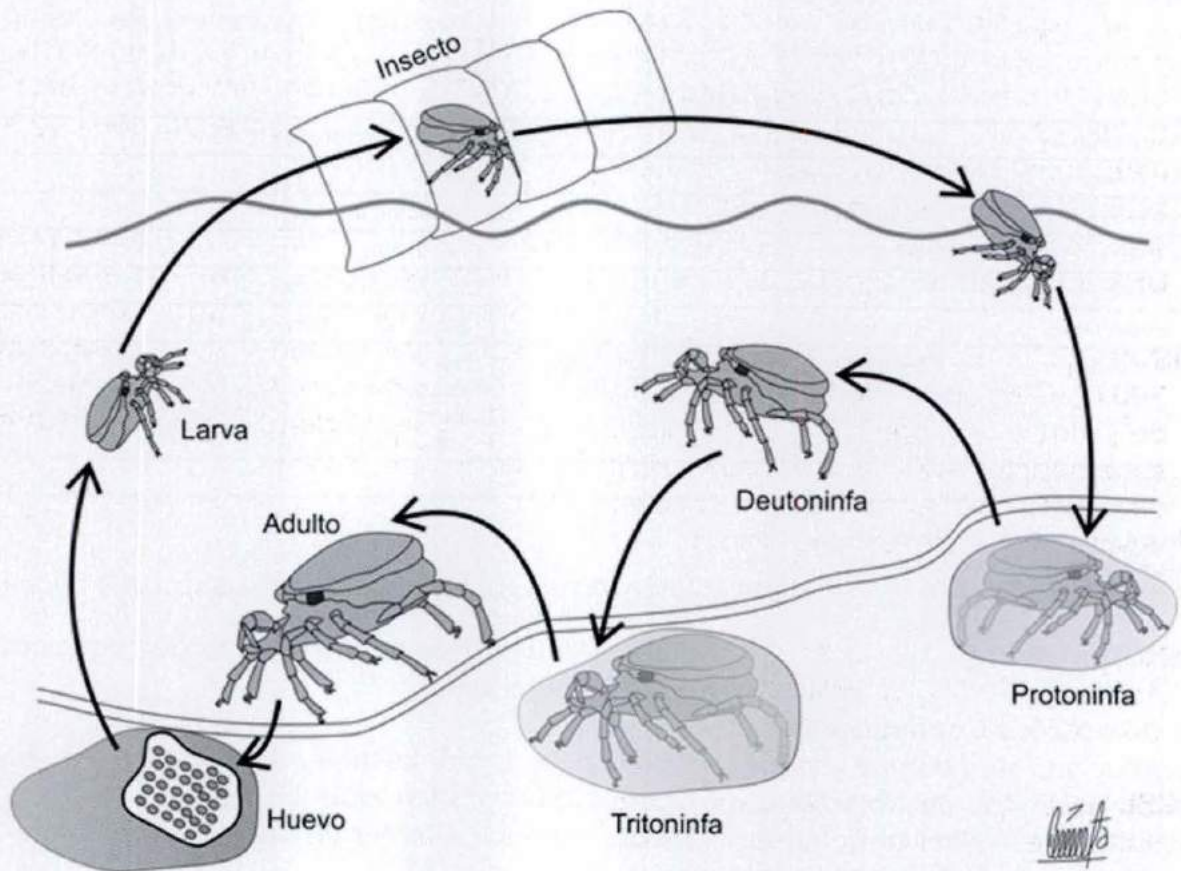


Figura 1. Ciclo de vida de los ácaros acuáticos.

Referencias Bibliográficas

- BERLESSE, A. 1888. Acari austro-americanani quos Collegit Aloysius Balzant *et al.* Bull. Soc. Ent. Ital. (Firenze) 20(1-4): 171-22. In: ROLDAN, G. 1996. Guía para la determinación de macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia. FEN. Colciencias. Universidad de Antioquia.
- COOK, D. R. 1981. Acari. In: S.H. Hurlbet *et al.* Aquatic Biota of Tropical South America. Part I. Arthropoda. San Diego State University, San Diego California. In: ROLDAN, G. 1996. Guía para la determinación de macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia. FEN. Colciencias. Universidad de Antioquia.
- FERNÁNDEZ, H. R., DOMÍNGUEZ, E. 2001. Guía para la determinación de los artrópodos bentónicos sudamericanos. Serie: Investigaciones de la UNT. Subserie: Ciencias Exactas y Naturales - Universidad Nacional de Tucumán.
- KRANTZ, G. (2009). *A Manual of Acarology*. Second Edition. Oregon: Oregon State University Bookstore.
- LUNBLAD, O. 1941a. Neue Wassermilben. Voläufige Mitteilung. Ent. Tidskr., (Upsala) 62(1-2): 97-121.
- LUNBLAD, O. 1941b. Neue Wassermilben aus Amerika, Afrika, Asien and Australien, Zool. Anz. 133 (7-8): 155-160.
- LUNDBLAD, O. 1953. Die Hydracarinafauna von Columbia. Arkiv fur Zoologie (series 2) 5(8): 435-585.
- PEŠIĆ, V., et al. Wandesia (Partnuniella) lehmanni - a new water mite species (Acari: Hydrachnidia, Hydryphantidae) from a high altitude lake in the Colombian Andes International Journal of Acarology, 36: 1, 53-58.
- ROLDÁN, G. 1996. Guía para la determinación de macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia. FEN. Conciencias. Universidad de Antioquia.
- SABATINO, A. GUERECKE, R. MARTÍN, P. 2000. The Biology and Ecology of Lotic Water Mites. Fresh Water Biology 44, 47-62.
- VIETS, K. 1956. Wassermilben (Hyrachnellae, Acari) aus Venezuela and Kolumbien. In: Ergebnisse der deutschen limnologischen Venezuela-Expedition 1952. Band 1. Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin, pp. 315-327.

El ácaro rojo de las palmas, *Raoiella indica* (ACARI: TENUIPALPIDAE), una plaga potencial para América Latina

Jorge E. Peña^{1,2}, Daniel Carrillo¹ y Rita E. Duncan¹

¹University of Florida, Tropical Research and Education Center, Homestead, FL, USA.
²jepe@ifas.ufl.edu

376

Memorias 38º Congreso Socolen

Resumen

El ácaro rojo de las palmas, *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae) invadió el nuevo mundo en el 2004. Desde ese entonces se ha esparcido por las islas del Caribe, Norte América y en norte de Sur América. *Raoiella indica* infesta arecaceas, jengibres y musaceas. Se presenta un resumen de estudios realizados en el Viejo mundo y en el Nuevo mundo. Estos estudios comprenden su distribución, dispersión, efecto de factores bióticos y abióticos así como también resultados de su control químico y biológico en ambas regiones del globo.

Introducción

El ácaro rojo de las palmas, *Raoiella indica* Hirst, conocido también con el nombre de ácaro del cocotero (Somchoudhoury & Sarkar, 1987) (Otro ácaro que lleva ese mismo nombre es el ácaro eriofido, *Aceria guerreronis* Keifer. *A. guerreronis* ataca los frutos (cocos) en muchos países tanto del hemisferio oriental como del occidental), ácaro rojo del cocotero (Jalaluddin & Mohanasundaran, 1980), ácaro rojo de los datiles (Elwan, 2000), arañita falsa de las hojuelas (FAO, 2005), ácaro escarlata (Gassouma, 2005). El ácaro rojo de las palmas (ARP) es una plaga muy importante de cocoteros, datiles y otras especies de palmas (Carrillo *et al.*, unpubl; PROSEA, 2006) y de banano, heliconias, jengibre y de

algunas musaceas en varias regiones del mundo. Antes de su llegada al nuevo mundo, el ARP se encontraba distribuido en la India, Las Filipinas, Mauritius, Reunión, Malasia, Israel y Egipto. En el nuevo mundo, ARP se encontró primero en la islas de Martinica y St. Lucía en el 2004, luego en el 2005 fue encontrado en Dominica y subsecuentemente en el año 2006, en Trinidad, Guadalupe, San Martín, Puerto Rico (Kane *et al.*, 2005; Etienne & Fletchmann, 2006; Rodrigues *et al.*, 2007) y en la República Dominicana y Haití (Calero-Toledo *et al.*, 2006). Durante el 2007 fue encontrado en Florida, USA y en Venezuela (Welbourn, 2007; Vásquez *et al.*, 2008; Gutiérrez *et al.*, 2007) y luego en el 2008 en Cuba (de la Torre Santanta *et al.*, 2008). ARP también se ha reportado en el estado de Roraima en Brazil (Marsaro jr. *et al.*, 2009; Navia *et al.*, manuscrito no publicado), en el estado de Quintana Roo en México y ultimamente en Colombia (Carrillo *et al.*, 2011).

Daño

Los cocoteros jóvenes parecen ser los más afectados. *Raoiella indica* vive colonias en el envés de las hojas de las palmas. Los ácaros depositan cerca de 110 hasta 330 huevos en la lámina foliar. (Jepson *et al.*, 1975; Etienne y Fletchmann, 2006). En Santa Lucía, Kane y Ochoa (2006) observaron que en los cocoteros, los ácaros estaban en

el envés de las hojas y las poblaciones más altas en las hojas más bajas de las palmeras, preferiblemente cerca a la vena principal de los foliolos. Los ácaros se encontraban en grupos de 20 a 300 individuos (huevos, larvas, protoninfas y deutoninfas). No hay ningún dato sobre la distribución espacial de los ácaros dentro de cada palmera. Sin embargo, Roda *et al.* (no publicado) han encontrado que ARP tiene una distribución esencialmente agregada en las partes bajas de la palma, pero a medida que la infestación avanza en áreas tropicales, ARP invade todas las hojas de la palma.

El daño a los cocoteros y bananos en las regiones tropicales del Caribe ha sido fuerte, y se considera que esta plaga está afectando económicamente la producción de coco en estas regiones. En la isla de Trinidad ocasiona la pérdida del 70% de producción de coco (Mr. Phipippe Agostini, Presidente, Asociación de Productores de Coco). En Florida, aun cuando los niveles de la plaga han sido menores, el costo de control por acciones reguladoras, se ha calculado en medio millón de dolares para los productores de palmas ornamentales. El daño en cocoteros se caracterizan por presentar una coloración bronceada-anaranjada la cual es seguida por una necrosis. Las hojas inferiores de los cocoteros son las que presentan un necrosamiento excesivo. Sin embargo, el daño causado por ARP puede ser confundido con deficiencias nutricionales, amarillamiento letal (Peña *et al.*, 2006). Una densidad muy alta de ARP, en presencia de condiciones secas y temperaturas altas, puede causar una disminución en el rendimiento como el observado en Trinidad. De la misma manera, palmeras jóvenes, si están sometidas a estas condiciones y no son fertilizadas regularmente pueden morir a causa del ataque de ARP. El manejo del ácaro en áreas donde se encuentra (control biológico, prácticas culturales

y si es necesario, control químico) es necesario con el fin de prevenir su dispersión a áreas libres del ácaro. El control químico se considera ineficaz y costoso tanto en la India como en Egipto, sin embargo en las áreas de Florida y Puerto Rico, se considera que aplicaciones con fin quarentenario y regulatorio son necesarias para evitar su dispersión a países con áreas donde el ARP no ha llegado.

Biología de *Raoiella indica*

El ciclo de vida de *R. indica* en cocoteros fue estudiado en la India (Nagesha Chandra *et al.*, 1984). *Raoiella indica* tiene 4 estados inmaduros (huevo, larva protoninfa, deutoninfa) y el estado de adulto. Los huevos son de coloración más clara que los estados móviles de los ácaros los cuales son rojo escarlata. Las colonias están caracterizadas por la presencia de exuvias las cuales circundan el área donde se colocan los huevos. Las hembras son de coloración roja, con manchas color carmín en el cuerpo, tienen una longitud de 0.32 mm. Los machos son más pequeños que las hembras y tienen forma casi triangular. Las setas dorsales se observan en ambos sexos. El primer par de setas en el histerosoma son más largas que las otras; el cuarto par de setas dorso-sublaterales son aserradas y en forma de maza (Sayed, 1942).

Bajo condiciones de laboratorio (24-26 C y 60% RH) las hembras que han copulado (reproducción sexual) producen hembras, pero aquellas hembras que no han copulado (reproducción asexual) producen machos. Las hembras completan su desarrollo en 24.5 ± 1.92 días, mientras que los machos lo hacen en 20.6 ± 0.72 días. La longevidad de las hembras es mayor que la del macho, siendo de 50.9 ± 11.4 días, mientras que los machos viven un promedio de 21.6 ± 1.95 días.

El rango de desarrollo está influenciado por los niveles de temperatura, humedad relativa y por la planta huésped (Zaher *et al.*, 1969; Gerson *et al.*, 1983).

Dispersión. Welbourn (2006) indica que la dispersión de *R. indica* es ayudada por las corrientes de viento y por el transporte de plantas u hojas infestadas. Kane y Ochoa (2006) hacen énfasis que las hembras son las que más se dispersan. Mendonca *et al.* (2005) sugieren que la forma más común de dispersión ocurre cuando las personas entran en contacto con palmeras infestadas las cuales están en los lugares turísticos.

Factores que afectan la dinámica poblacional de ARP

Varios factores intervienen en el aumento de las poblaciones del ácaro rojo. Estos factores son abióticos (régimen de temperaturas y lluvias) y bióticos (edad de las palmeras, especies de palmeras, variedad de palmeras y la presencia de controladores biológicos).

Factores Abióticos

Épocas del Año. Nagesha y Channabasavanna (1983) reportaron que un incremento en la población de mite was associated with periods of lower relative humidity, whereas Sakar *et al.* (1989) indicated that population growth is positively correlated with leaf moisture.

Estos ácaros son abundantes desde Marzo a Septiembre en la isla de Mauritius y las poblaciones disminuyen durante los periodos lluviosos de Noviembre a Enero. Este patrón de poblaciones bajas continúa hasta Agosto (Moutia, 1958). En el verano, las plantas afectadas parecen enfermizas y amarillentas, lo cual es el

resultado combinado de la alimentación del ácaro y de la estación seca (Jepson *et al.*, 1975). Howard *et al.*, (2001) citan a Sakar y Somchoudhury (1989) e indican que el aumento poblacional del ácaro está relacionado con humedad de las hojas, proteína cruda y niveles de nitrógeno en varias variedades de cocoteros.

Los análisis climáticos iniciados por EPPO (EPPO, 2010) demuestran que aquellas regiones en el neotrópico con clima promedio de 30°C tendrán una mayor población de ARP que aquellas con un promedio menor de temperatura. Por ejemplo, Trinidad donde las poblaciones son de aproximadamente, 175 a 800 ácaros por foliolo de cocotero (Roda *et al.*, no publicado), se caracterizan por un promedio de temperatura de 32°C y una época de lluvias desde Junio a Diciembre, con un promedio de 200 cm de lluvia al año. El sur de Florida con una temperatura promedio de 11 a 12°C durante los meses de invierno y de 22 a 31°C durante los meses de verano, presenta una población de 23 a 300 ácaros por foliolo al iniciar la infestación y una reducción, mostrando niveles de 0 a 60 ácaros por foliolo después de las temperaturas de invierno (Roda *et al.*, no publicado). De la misma forma, ARP está presente en Israel, con temperaturas promedio de 18 a 32°C durante el verano y de 9-14°C durante el invierno, pero los niveles son tan bajos, que no se le considera una plaga económica en ese país. En condiciones del neotrópico, se considera que el ácaro puede ser un problema en áreas con clima tropical y puede tener una menor repercusión en aquellas áreas con un clima subtropical como el de Florida. Carrillo *et al.* (unpublished), consideraron que disminuciones en las poblaciones de ARP en Trinidad eran debidas a la acción de las fuertes lluvias de verano en esa isla.

Factores Bióticos

Plantas Hospederas. Las plantas hospederas más importantes para el ARP son *Cocos* sp., y *Musa* sp. Dentro de las Aracaceas se encuentran los siguientes hospederos importantes, *Areca catechu*, *Caryota mitis*, *Dypsis decaryi*, *Dypsis lutescens*, *Phoenix canariensis*, *Phoenix dactilifera*, *P. reticulata* (EPPO, 2010). Carrillo *et al.* (unpubl.) determinaron que en las áreas infestadas del neotrópico (Trinidad y Florida) había una gran variabilidad de población de *R. indica* en varias especies de plantas. Estos autores encontraron que además de *Cocos* sp., en Florida otras palmeras presentan densidades de ARP similares a las encontradas en los cocoteros, citando los siguientes géneros, *Arenga*, *Adonidia*, *Livistona*, *Phoenix*, *Washingtonia*.

Sin embargo, los mismos autores consideran que el ARP no es una amenaza para varias especies de palmeras nativas, como la palma sabal en Florida. En la familia Heliconiaceae el género *Heliconia* presenta una densidad considerable de ARP comparada con otros generos de heliconias y plantas de la familia Strelitziaceae. Sin embargo, Carrillo *et al.* (unpublished) consideran que dada la gran variedad de especies de palmeras en el neotrópico, el rango de hospederos susceptible para ARP está por descubrirse y previenen que nuevos hospederos nativos de las áreas tropicales del nuevo mundo serán afectados por esta plaga.

Carrillo *et al.* (no publicado) consideran que 6 años después de la detección inicial de ARP en el Caribe, esta especie ha expandido su rango de hospederos, lo cual representa un aumento del 30% del número reportado en el nuevo mundo.

Hay la necesidad de una gran cantidad de estudios para determinar el daño causado a hospederos dentro de las

familias Musaceae, Heliconiaceae y Strelitziaceae.

Agentes de Control Biológico

Enemigos Naturales en el Viejo Mundo. En India se han descubierto varios depredadores de *R. indica*. El fitoseído, *Amblyseius channabasavani* y el coccinelido *Stethorus keralicus* Kapur se consideran como las especies depredadoras más importantes (Daniel 1981). Puttaswamy y Rangaswamy (1976) informan que *S. keralicus* se alimenta todo el año de *R. indica* cuando está infestando cocoteros y palmas areca en India. En los Emiratos Arabes, Gassouma (2005) indicó que hay enemigos naturales de este ácaro, pero no reportó los nombres de estos. La biología y hábitos de *A. channabasavani* fueron determinadas por Daniel (1981). El determinó que las hembras de *A. channabasavani* consumían efectivamente los huevos y hembras de *R. indica*. Este fitoseido también depredaba *Tetranychus fijiensis*, huevos y estados móviles de escamas y cochinillas que estaban infestando las palmas de areca.

Moutia (1958) observó que en Mauritius el depredador principal de *R. indica* en plantaciones de coco era *Typhlodromus caudatus* Chant (*Amblyseius caudatus* Berlese). El ciclo de este ácaro dentro de un rango de temperaturas de 18° a 24.3°C era de 15 a 6 días respectivamente. Los adultos y ninfas de este ácaro pueden consumir un promedio de 10.6 huevos por día y un total de 493 huevos durante su ciclo de vida. Gupta (2001) cita *Amblyseius longispinus* (= *Neosiulus longispinus* Evans 1952) (Acari: Phytoseiidae) y *Stethorus parcompunctatus* y *Jauravia* spp. (Coleoptera: Coccinellidae) en el área de Karmanka, mientras que en el área de Kerala, los depredadores prevalentes son *A. channabasavanni* y *Stethorus tetranychii*

Kapur. En la India, *Amblyseius raoiellis* depreda *R. indica*. Sin embargo se la biología de esta especie es desconocida. El fitoseido, *Amblyseius* near *raoiellis* se ha colectado en limón persa y en mango en el sur de la Florida, probablemente depredando en *Brevipalpus phoenicis* (Peña, datos no publicados).

Enemigos Naturales en el Neotrópico. Muestreos de la fauna de enemigos naturales de este ácaro en Florida demostraron que en cocoteros los depredadores, *Amblyseius largoensis* (Muma) (Acari: Phytoseiidae), *Ceraeochrysa claveri* Navas (Neuroptera: Chrysopidae), *Stethorus utilis* (Horn) (Coleoptera: Coccinellidae), *Bdella distincta* (Barker and Bullock) (Acari: Bdellidae) y *Aleurodothrips fasciapennis* (Franklin) (Thysanoptera: Phlaeothripidae) se observaron consumiendo ARP. De todos estos depredadores, *A. largoensis* aumentó significativamente en número después de la llegada de *R. indica* al sur de Florida (Peña *et al.*, 2009). Cruz *et al.* (2009) demonstrated that *A. largoensis* was an important predator in Puerto Rico. Carrillo *et al.* (2010) evaluó el desarrollo y la reproducción de *A. largoensis* en polen y *R. indica*, y en otros microartropodos que habitan cocoteros en Florida. Carrillo *et al.* (2010) demostró que la tasa intrínseca de desarrollo (r_m) de *A. largoensis* cuando se alimenta de *R. indica* es significativamente más alta que cuando se alimenta de otras fuentes alimenticias. Carrillo *et al.* (2010) también demostró que otros depredadores nativos de Florida no se reproducen o desarrollan completamente cuando se alimentan de *R. indica* indicando que *A. largoensis* es el depredador que juega un papel importante en el control de *R. indica* en Florida. El mismo depredador se ha encontrado tanto en las islas del Caribe como en Colombia (Cruz, 2009; Carrillo *et al.*, 2011). Estudios adicionales determinaron que *A. largoensis* muestra

preferencia por consumir huevos de ARP sobre los otros estadios y también sobre otros artrópodos nativos de Florida como *Tetranychus gloveri* (Acari: Tetranychidae) (Carrillo *et al.*, unpub). También se estudió la respuesta funcional y numérica de *A. largoensis* a incrementos en la población de ARP (Carrillo and Peña, unpub.). El depredador presenta una respuesta funcional tipo dos en la cual la depredación incrementa con un aumento en la densidad de ARP hasta alcanzar un máximo consumo diario de aproximadamente 45 huevos por día. A estos niveles de consumo la reproducción del depredador se maximiza alcanzando una tasa de oviposición aproximada de 2.5 huevos/día. Posteriormente se determinó que poblaciones de *A. largoensis* de Florida son capaces de reducir las poblaciones de *R. indica* hasta en un 50 % (Carrillo *et al.*, unpub.).

Control Químico

Experimentos Realizados en el Viejo Mundo. El control químico se efectuó cuando las densidades de esta plaga son bastante altas en dátiles (Gassouma, 2005). En la India, la aplicación en cocoteros, de aceite de neem combinado con azufre dio buenos resultados. El extracto fué aplicado sobre la copa de las palmas, 5 y 6 veces al año. Esta aplicación dio como resultado que el rendimiento aumentara en un 25%. En el Asia, no se recomienda el perforar el tronco de las palmas de coco y el inyector a travez de esta perforación insecticidas sistémicos, pues trae como consecuencia, infecciones fungosas (Anónimo, 2006). Saradama (1972) determinó que 14 días después de la aplicación de parathion había una disminución de la población de ácaros, pero después había un aumento drástico de esta. Los resultados de pruebas de control químico en la India indican que el control se realiza en palmas jóvenes o

en viveros (Etienne y Fletchmann, 2006; Jalaluddin y Mohanasundraram, 1990; Jayaraj *et al.*, 1991).

Nadarajan *et al.* (1990) reportaron que fosfamidon, fué superior a monocrotofos, dimetoato, formation y demeton-metil.

Experimentos Realizados en Florida y Puerto Rico. En Puerto Rico, los acaricidas, Ultiflora, Tetrasan, Floramite, Shuttle, Keltane y Forbid presentaron poblaciones más bajas de ARP en comparación con el testigo durante 21 días de evaluación. En Florida, los acaricidas, Azufre mojable, Tetrasan, Avid en mezcla con aceite o con Silwet y Sanmite, dieron un control aceptable durante 42 días de evaluación.

Referencias Bibliográficas

- ANONYMOUS. 2006. *Raoiella indica*. Management and Biological Control. Downloaded as: http://ecoport.org/e/p?Arthropod=363195&entityType=A R****&entityDisplayCategory=A
- CALERO-TOLEDO LM, PÉREZ J., MEDINA R., GIL DE RUBIO Y., BENÍTEZ L. 2006. *Raoiella indica* Hirst (Acari: Prostigmata: Tenuipalpidae) a new menace to the *Musa* sp. industry in Puerto Rico. Available via DIALOG <http://136.145.83.33:8000/jspui/bitstream/10476/164/1/pag.55.pdf>
- CARRILLO D, PEÑA JE, HOY MA, FRANK JH. 2010. Development and Reproduction of *Amblyseius largoensis* (Acari: Phytoseiidae) feeding on Pollen, *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae), and other Micro-arthropods inhabiting Coconuts in Florida, USA. *Exp Appl Acarol* 52: 119-129.
- CARRILLO D., AMALIN D., HOSEIN F., RODA A., DUNCAN R., PEÑA JE. 2010. Host plant range of *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae) in areas of invasion of the new world. Submitted to *Experimental and Applied Acarology*.
- CARRILLO, D., NAVIA, D., FERRAGUT, F., AND PEÑA, J. E. 2011. First report of *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae) in Colombia. *Fla Entomol* 94(2): 370-371.
- CARRILLO, D., DE COSS M.H AND PEÑA, J. E. 2011. Prey-stage preference, functional and numerical responses of *Amblyseius largoensis* (Acari: Phytoseiidae) to *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae). To be submitted to *Environ. Entomol.*
- CARRILLO, D., AND PEÑA, J. E. 2010. Studies on the biology of native predators associated with *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae) in Florida, USA: Implications on their potential as biological control agents of this exotic species. *International Congress of Acarology, Recife, Brazil, August 21-27, 2010 (Abstract)*.
- CRUZ, S., J. MARENGO, L. COLÓN, DE MORAES, G., PEÑA, J. E., AND RODRIGUES, J 2009. Dinámica poblacional de *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae) y su predación por *Amblyseius largoensis* (Muma) (Acari: Phytoseiidae) en palmas de coco de Puerto Rico. *Reunión Científica Annual SOPCA*, p. 58.
- DANIEL, M. 1981. Bionomics of the predaceous mite *Amblyseius channabasavanni* (Acari: Phytoseiidae), predaceous on the palm mite *Raoiella indica*. In: 1st Indian Symposium in Acarology (G. P. Channabasavanna, ed.). April 23-25, Bangalore, India. pp: 167-173.

- DE LA TORRE PE, SUÁRES A., IRIS A. 2010. Presencia del ácaro *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae) en Cuba. Rev. Protección veg. 25 (1): 1-4.
- ELWAN, A. 2000. A survey of the insect and mite pests associated with date palm trees in Al-Dakhliya region, Sultanate of Oman. Egyptian J. Agric. Res. 78:653-664. EPPO. 2008. Report of a risk pest analysis for *Raoiella indica*. Downloaded as: www.eppo.org/.../09-15197%20PRA_report%20Raoiella%20indica.doc
- ETIENNE J., AND FLECHTMANN CHW 2006. First record of *Raoiella indica* (Hirst, 1924) (Acari: Tenuipalpidae) in Guadeloupe and Saint Martin, West Indies. Int J Acarol 32: 331-332.
- FAO - International Phytosanitary Portal. Official Pest Report Dominica (2005-11-16). Report of *Raoiella* mite. *Raoiella indica* in the Americas. Downloaded as: <https://www.ippc.int/id/nppodm?language=en>
- GASSOUMA, S.M. 2005. Pests of Date Palm (*Phoenix dactylifera*). Downloaded as: www.uae.gov.ae/uaeagricent/palmtree2/chap8.stm
- GERSON, U., A. VENEZIAN AND D. BLUMBERG. 1983. Phytophagous mites on date palms in Israel. Fruits 38:133-135.
- GUPTA, Y. N. 2001. A conspectus of natural enemies of phytophagous mites and mites as potential biocontrol agents of agricultural pests in India. In: International Congress of Acarology, , R. Halliday, D. Walter, H. Proctor, R. Norton and M. Colloff, eds. 10. Collingwood, Australia. CSIRO Publishing. Pp. 484-497.
- GUTIÉRREZ B., NOHELIA N., GARCÍA A. 2007. Situación actual del cocotero in al municipio Valdez del estado Sucre. In: Producción y Negocio. Available via DIALOG. http://www.produccionynegocio.com/edicion_20/cocotero.htm. Accessed 29 Sept 2009.
- HOWARD, F. W., D. MOORE, R. M. GIBLIN DAVIS AND R. G. ABAD. 2001. Insects on palms. CABI Publishing, Walingford, UK, 400 pp.
- JEPSON, L. R., KEIFER, H., AND E. W. BAKER. 1975. Mites injurious to economic plants. Berkeley, University of California Press, 614 p.
- JALALUDDIN, S. M. AND M. MOHANASUNDARAN. 1990. Control of the red coconut mite *Raoiella indica* Hirst. (Tenuipalpidae: Acari) in the nursery. Indian Coconut Journal, Cochin 21:7-8.
- JAYARAJ, J., K., NATARAJAN, AND G. RAMASUBRAMANIAN. 1991. Control of *Raoiella indica* Hirst (Tenuipalpidae:Acari) on coconut with pesticides. Indian Coconut Journal. Cochin 22:7-9.
- KANE, E. C., R. OCHOA, AND E. F. ERBE. 2005. *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae): An island-hopping mite pest in the Caribbean. Abstract. ESA Meeting, Fort Lauderdale, December - 2005.
- KANE, E., AND R. OCHOA. 2006. Detection and identification of the red palm mite *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae). USDA, ARS, Beltsville, MD, 6 pp.
- MENDONCA, R.S., D. NAVIA, C. FLETCHMANN. 2005. *Raoiella indica* Hirst (Prostigmata:Tenuipalpidae), o

- acaros vermelho das palmeiras-uma ameaça para as Américas. Embrapa, Documentos 146, 37 pp.
- MOUTIA, L. A. 1958. Contribution to study of some phytophagous acarina and their predators in Mauritius. Bull. Entomol. Res/ 49:59-75.
- NADARAJAN, L., G. CHANNABASAVANNA AND B.K. CHANDRA. 1990. Control of coconut pests through stem injection of systemic insecticides. Mysore J. Agric. Sci. 14;355-364.
- NAGESHA-CHANDRA, B. K. N., AND G.P., CHANNABASSANNA. 1984. Development and ecology of *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae) on coconut. In: Chichester, E., and Horwood, publ. Acarology VI: 2: 785-790.
- PEÑA, J.E., MANNION, C., HOWARD, W., AND M. HOY. 2006. *Raoiella indica* (Protigmata: Tenuipalpidae): The red palm mite: A potential invasive pest of palms and bananas and other tropical crops in Florida. University of Florida, IFAS Extension, EDIS ENY 837, 8 p.
- PEÑA, J. E., J. C. RODRIGUES, L. OSBORNE AND A. RODA. 2009. The red palm mite, *Raoiella indica*: Effect of Resident and Commercially Produced predators against a recently introduced pest in Florida, USA. Proc. 3rd International Symposium on Biological Control of Arthropods, Christchurch, New Zealand, pp.
- PEÑA, J. E., RODRIGUES, J. C., RODA, A., CARRILLO, D. AND L. OSBORNE. 2009. Predator-prey dynamics and strategies for control of the red palm mite (*Raoiella indica*) (Acari: Tenuipalpidae) in areas of invasion in the Neotropics. *Integrated Control of Plant-Feeding Mites, IOBC/wprs Bulletin* Vol. 50, 2009 pp. 69-79.
- PEÑA, J. E., CARRILLO, D., DUNCAN, R., AND ANA BARRIOS. 2010. Dynamics of *Raoiella indica* in Florida on coconuts. Florida Entomol. Soc., Annual Meeting (Abstract)
- RODRIGUES JCV, OCHOA R., KANE EC 2007. First report of *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae) and its damage to coconut palms in Puerto Rico and Culebra Island. *Int J Acarol* 33: 3-5
- PROSEA. 2006. Areca catechu. Agroforestry Tree Database. Downloaded as: <http://www.worldagroforestry.org/sea/Products/AFDbases/af/asp/SpeciesInfo.asp?SpID=233>
- PUTTASWAMY, AND H. R., RANGASWAMY. 1976. *Stethorus keralicus* Kapur (Coleoptera: Coccinellidae), a predator of the areca palm mite. *Current Research*. 5: 27-28.
- REISI, P., NETO, M., FRANCO AND A. VIERA. 2003. *Control of Brevipalpus phoenicis and Oligonychus ilicis* (Acari: Tenuipalpidae) in coffee plants and the impact on beneficial mites. *Ciencia e Agrotecnologia*. Downloaded as: http://www.editora.ufla.br/revista/28_2/art04.htm
- RODA, A., PEÑA, J. E., F. HOSSEIN AND J. C. RODRIGUES. 2010. Dispersion indices and sampling plans for the red palm mite, *Raoiella indica* on coconut. Submitted to *Exp. And Appl., Acarolol*.
- ROSAS-ACEVEDO, J.L., AND L. SAMPEDRO-ROSAS. 2006. Variability of *Hirsutella thompsonii* strains, isolated from phytophagous mites from three terrestrial systems in the State of Colima, México. *Rev. Mexicana de Biodiversidad*. 77: 7-16.

- SAKAR, P. K., AND A. K., SOMCHODHURY. 1988. Evaluation of some pesticides against *Raoiella indica* Hirst on coconut palm in West Bengal. Pesticides. 22: 21-22.
- SAKAR, P. K., AND A. K., SOMCHODHURY. 1989. Interrelationship between plant characters and incidence of *Raoiella indica* Hirst on coconut. Indian Journal of Entomology 51: 45-50.
- SARADAMA, K. 1972. Evaluation of toxicity of some pesticides to the red mite on coconut, *Raoiella indica* (Hirst) Phytotipalpidae. Agricultural Res. J. India. 10: 61-62.
- SAYED, T. 1942. Contribution to the knowledge of acarina in Egypt: The genus *Raoiella* Hirst (Pseudotetranychinae: Tetranychidae). Bull. Soc. Fouad ler D'Entomologie. 26: 81-91.
- SOMCHOUDHRY, A.K., AND SARKAR, P.K. 1987. Observations on natural enemies found in association with coconut mite, *Raoiella indica* Hirst. Bulletin of Entomology. 28: 104-107.
- ZAHER, M. A., A. K., Wafa AND A. A. YOUSEF. 1969. Biological studies on *Raoiella indica* Hirst and *Phyllozettranychus aegyptiacus* Sayed infesting date palm trees in U.A. R. (Acarina: Tenuipalpidae). Zeitschrift für angewandte Entomologie.
- VÁSQUEZ C., QUIRÓS DE G. M, APONTE O., SANDOVAL DMF. 2008. First report of *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae) in South América. Neotrop Entomol 37: 739-740.
- WELBOURN, C. 2006. Red Palm Mite *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae). Pest Alert. DPI-FDACS; 4pp. Downloaded as: <http://www.doacs.state.fl.us/pi/enpp/ento/r.indica.html>