



Sociedad Colombiana  
de Entomología

# 44

CONGRESO

SOCOLEN

# ENTOMOLOGÍA DE IMPACTO

Solución de Problemas  
Integrando Disciplinas

## MEMORIAS Y RESÚMENES

**5 al 7 de julio de 2017**

Universidad El Bosque  
Bogotá, Colombia



## ORGANIZAN



Sociedad Colombiana  
de Entomología

**SOCOLEN**



UNIVERSIDAD  
**EL BOSQUE**

---

FACULTAD DE CIENCIAS  
Programa de Biología



Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

PATROCINADOR OFICIAL



PATROCINADORES





**Sociedad Colombiana de Entomología  
SOCOLEN**

**MEMORIAS Y RESÚMENES**

**44° Congreso  
Sociedad Colombiana de Entomología**

**Bogotá, D.C., 5, 6 y 7 de julio de 2017**

**Compiladores**

Diego Fernando Rincón Rueda

Yesica Paola Ardila Ríos

Daniel Acosta

**Organización de textos**

Claudia Inés Martínez

David Camilo Martínez

Diego Fernando Vásquez Mendieta

---

**Diseño de portada y diagramación**

Simbiosis Ciencia y Publicidad Ltda.

<http://www.simbiosis.co>

[comunicaciones@simbiosis.co](mailto:comunicaciones@simbiosis.co)

---

© Copyright Sociedad Colombiana de Entomología

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

Julio 2017

ISBN: 2389-7694

**Citación sugerida:**

Rincón R., D. F.; Ardila R., Y. P.; Acosta, D. (Comp.). 2017. Congreso Sociedad Colombiana de Entomología, Memorias & Resúmenes. 44 Congreso SOCOLEN. Bogotá, D.C., 5, 6 y 7 de julio de 2017. USB. Sociedad Colombiana de Entomología – SOCOLEN, Bogotá, D.C., Colombia. 560 + XXV p.



## **SOCIEDAD COLOMBIANA DE ENTOMOLOGÍA**

### **Junta Directiva 2016 – 2018**

#### **Presidente**

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

#### **Vicepresidente**

Pablo Benavides  
CENICAFE

#### **Secretaria**

Adriana Vilorio  
Dow AgroSciences de Colombia S.A.

#### **Tesorera**

Amanda Varela Ramírez  
Pontificia Universidad Javeriana

#### **Vocal Principal**

Alex Bustillo Pardey  
CENIPALMA

#### **Vocal Principal**

Juan Humberto Guarín  
CORPOICA C. I. La Selva

#### **Vocal Principal**

Patricia Chacón de Ulloa  
Profesor Universidad del Valle

#### **Vocal Suplente**

Zulma Nancy Gil  
Cenicafé

#### **Vocal Suplente**

Nancy Barreto  
Corpoica, Tibaitatá

#### **Vocal Suplente**

Nelson Canal  
Universidad del Tolima



## 44 CONGRESO DE LA SOCIEDAD COLOMBIANA DE ENTOMOLOGÍA

### COMITÉ ORGANIZADOR

#### **Presidente**

Carlos Espinel  
Corpoica, Tibaitatá

#### **Secretaria**

Yesica Paola Ardila Ríos  
Dirección ejecutiva Socolen

#### **Comisión Académica**

Diego Fernando Rincón Rueda (Coordinador)  
Corpoica, Tibaitatá

#### **Nancy Barreto**

Corpoica, Tibaitatá

#### **Daniel Acosta**

UniMinuto, Zipaquirá

Claudia Inés Martínez Martínez

Yesica Paola Ardila Ríos  
Dirección ejecutiva Socolen

#### **Tesorera**

Amanda Varela Ramírez  
Pontificia Universidad Javeriana

#### **Comisión Financiera**

Edison Torrado  
Naturavisión

#### **Efraín Becerra**

Dow AgroSciences de Colombia S.A.

#### **Comisión de Recursos Físicos y Eventos**

Daniel Ricardo Castillo (Coordinador)  
Universidad El Bosque

#### **Clara Santafé Millán**

Universidad El Bosque

#### **Comunicaciones**

Elizabeth Martín M.  
Simbiosis Ciencia y Publicidad

Ana Cecilia Platero  
Secretaria Socolen

### **Coordinadores de Simposios**

Gloria Barrera (Corpoica)

Carlos Espinel (Corpoica)

Carolina Camargo (University of Florida) y Efraín Becerra (Dow AgroSciences)

Juliana Durán y Alexander Bustos (Jardín Botánico de Bogotá)

Diana Maritza Basto (Scientia Colombia)

Nancy Barreto (Corpoica)

Amanda Varela (Pontificia Universidad Javeriana) y Diana Rueda (Universidad de Sao Paulo)

Catalina Alfonso y Frank W. Avila (Universidad de Antioquia – Sociedad Max Planck)

Fredy Palacino y Mariano Altamiranda (Universidad El Bosque)

Adriana Sáenz (Pontificia Universidad Javeriana)



## CONTENIDO

Presentación .....	xxiv
<b>Conferencias magistrales.....</b>	<b>1</b>
<b>From pest to agroecosystem management, and resilient food security.....</b>	<b>2</b>
<i>Casey W. Hoy</i>	
<b>Hacia un manejo integrado del complejo PYVV-mosca blanca en cultivos de papa en Colombia</b> .....	<b>10</b>
<i>Diego F. Rincón, H. Fernando Rivera, Carlos E. Beltrán, Anngie K. Hernández y Diana M. Torres</i>	
<b>Solución de problemas entomológicos integrando disciplinas .....</b>	<b>22</b>
<i>Luis A. Cañas</i>	
<b>Control biológico del Dengue, Zika y Chikungunya con el uso de la bacteria <i>Wolbachia</i> en el vector <i>Aedes aegypti</i> .....</b>	<b>28</b>
<i>Iván Darío Vélez Bernal, Sandra Uribe Soto y Juan David Suaza Vasco</i>	
<b>Transferencia horizontal de información genética en la naturaleza: el caso de nucleopoliedrovirus de <i>Spodoptera frugiperda</i> .....</b>	<b>38</b>
<i>Mariano Nicolás Belaich, Gloria Patricia Barrera; Manuel Alfonso Patarroyo; Laura Fernanda Villamizar y Pablo Daniel Ghiringhelli</i>	
<b><i>Diaphorina citri</i> (Hemiptera: Psyllidae) y el futuro de la industria citrícola en Estados Unidos</b> .....	<b>54</b>
<i>Alejandro A. Calixto y Alistair H. Mckay</i>	
<b>La contribución de los insectos a la seguridad alimentaria.....</b>	<b>64</b>
<i>Diego Cruz Fagua</i>	
<b>Sperm storage and seminal fluid proteins: Novel targets of vector control .....</b>	<b>76</b>
<i>Frank William Avila</i>	
<b>Simposios .....</b>	<b>84</b>
<b>Simposio 1. Uso de herramientas biotecnológicas para la investigación en entomología y áreas relacionadas del conocimiento .....</b>	<b>85</b>
<b>Coordinadora: Gloria Patricia Barrera Cubillos .....</b>	<b>86</b>
<b>Uso de herramientas moleculares para la aplicación en investigación y desarrollo de bioplaguicidas.....</b>	<b>88</b>
<i>Gloria Patricia Barrera y Laura Fernanda Villamizar</i>	
<b>Uso de herramientas moleculares para la caracterización de <i>Beauveria bassiana</i> y el entendimiento de la interacción <i>Beauveria bassiana</i> broca del café .....</b>	<b>95</b>



<i>Carmenza E. Góngora B.</i>	
<b>Moscas blancas: determinación y caracterización de sus biotipos y virus transmitidos (Crinivirus y Begomovirus) en el cultivo de tomate de mesa (<i>Solanum lycopersicum</i>) en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá .....</b>	<b>100</b>
<i>Jorge Evelio Ángel Díaz, Maikol Y. Santamaría Galindo, Sandra Milena Parada Pire, Julián Martínez Henao y Everth E. Ebratt Ravelo</i>	
<b>Investigación en virus entomopatógenos, caso baculovirus y su aplicación .....</b>	<b>107</b>
<i>Mariano Nicolás Belaich</i>	
<b>Simposio 2. Vigilancia oficial de plagas de alto impacto en sistemas agrícolas y forestales .....</b>	<b>111</b>
<b>Coordinador: Carlos Espinel Correal..... 112</b>	
<b>Vigilancia oficial de plagas de alto impacto en sistemas productivos agrícolas de Colombia</b>	<b>113</b>
<i>Emilio Arévalo Peñaranda, María Fernanda Díaz Niño, Angela Patricia Castro Avila, Ana Milena Caicedo Vallejo y Jorge Hernán Palacino Córdoba</i>	
<b>Vigilancia fitosanitaria forestal oficial en Colombia: Nuevos reportes de insectos plaga en plantaciones forestales .....</b>	<b>119</b>
<i>Mariluz Rodas Avalos, Mónica Viviana Romero Vargas, Luz Yenifer Vizcaíno Morales, Rosa Elena Ramos Castiblanco y Emilio Arévalo Peñaranda</i>	
<b>Simposio 3. Aplicación de nuevas tecnologías para entender la evolución de resistencia a diferentes estrategias de manejo de plagas .....</b>	<b>127</b>
<i>Coordinadores: Carolina Camargo y Efraín Becerra..... 128</i>	
<b>Monitoreo de la Susceptibilidad a tecnologías Bt y Vip en algodónero y Maíz en Colombia</b>	<b>130</b>
<i>Jairo Rodríguez Ch.</i>	
<b>Mecanismos moleculares de la mosca de Hess <i>Mayetiola destructor</i> (Diptera: Cecydomyiidae) involucrados en la evasión de resistencia en trigo .....</b>	<b>137</b>
<i>Lucio Navarro-Escalante</i>	
<b>Metodología para evaluar la susceptibilidad de poblaciones de <i>Spodoptera frugiperda</i> a tejidos de maíz con apilamiento genético (PowercoreTM).....</b>	<b>140</b>
<i>Efraín Becerra Contreras</i>	
<b>Aplicación de ARNi para entender resistencia en cultivos transgénicos.....</b>	<b>142</b>
<i>Carolina Camargo, Blair D. Siegfried</i>	
<b>Simposio 4. Microcosmos urbano: saberes sobre los insectos en las ciudades .....</b>	<b>146</b>
<b>Coordinadores: Juliana Durán y Alexander Bustos .....</b>	
<b>Principales agentes entomológicos que afectan el arbolado urbano de Bogotá, D. C. ....</b>	<b>150</b>
<i>Marcela Serrano*, Marcela Albornoz, Gustavo Ardila y José Castro</i>	
<b>Situación fitosanitaria de los árboles urbanos del valle de México.....</b>	<b>154</b>
<i>David Cibrián Tovar</i>	
<b>Mariposas en paisajes urbanizados: caso de estudio en los nodos de biodiversidad de Bogotá región.....</b>	<b>159</b>

<i>Juliana Durán Prieto</i>	
<b>Abejas en los ambientes urbanos .....</b>	<b>165</b>
<i>Guiomar Nates-Parra</i>	
<b>Simposio 5. Modelos de simulación aplicados al estudio de insectos .....</b>	<b>170</b>
<b>Coordinador: Alexander Bustos R. . . . .</b>	
<b>171</b>	
<b>Modelos ecológicos y la transición entre escalas espaciales .....</b>	<b>173</b>
<i>Diego F. Rincón</i>	
<b>Simulating triatomine population dynamics in the Orinoco basin, in Chagas disease infection risk context.....</b>	<b>181</b>
<i>Diana Erazo y Juan Cordovez</i>	
<b>Modelos de simulación para el estudio de insectos: dos ejemplos de aplicación de modelos .....</b>	<b>190</b>
<i>Alexander Bustos R.</i>	
<b>Simposio 6. Avances e integración del control biológico en la agricultura .....</b>	<b>192</b>
<b>Coordinadora: Diana Maritza Basto Diaz.....</b>	
<b>193</b>	
<b>¿Qué tan efectivos son los ácaros depredadores (Phytoseiidae) en el manejo de arañas (Tetranychidae) en ornamentales? .....</b>	<b>194</b>
<i>Edison Torrado-León</i>	
<b>Interacciones biológicas entre enemigos naturales y otras alternativas de manejo .....</b>	<b>202</b>
<i>Luz Stella Fuentes Quintero</i>	
<b>Los entomopatógenos: una alternativa segura para el control biológico de plagas agrícolas.....</b>	<b>206</b>
<i>Julianan Gómez-Valderrama y Laura Villamizar-Rivero</i>	
<b>Integración del control biológico en sistemas de producción agrícola con fines de exportación en Centroamérica y Colombia .....</b>	<b>212</b>
<i>Diana Maritza Basto Diaz</i>	
<b>Simposio 7. Ecología química de insectos.....</b>	<b>218</b>
<b>Coordinadora: Nancy Barreto-Triana .....</b>	
<b>219</b>	
<b>Olores complejos: Interacciones entre semioquímicos de diferentes fuentes.....</b>	<b>221</b>
<i>Felipe Borrero-Echeverry</i>	
<b>Semioquímicos de picudos (Coleoptera: Curculionidae): Un aporte al desarrollo de la fruticultura en Colombia .....</b>	<b>226</b>
<i>Alicia Romero Frías</i>	
<b>Bacterias asociadas al intestino de <i>Spodoptera frugiperda</i> regulan defensas en plantas ....</b>	<b>232</b>
<i>Flor Edith Acevedo, Michelle Peiffer y Gary Felton</i>	
<b>La importancia de los hongos endófitos en la modulación de las interacciones planta-insecto .....</b>	<b>233</b>
<i>Sandra Aragón</i>	
<b>Simposio 8. Experiencias exitosas de manejo integrado de plagas.....</b>	<b>236</b>

<b>Coordinadoras: Amanda Varela Ramírez y Diana Rueda Ramírez.....</b>	<b>237</b>
<b>Aplicación de la Biotecnología Moderna a la Agricultura en Colombia .....</b>	<b>238</b>
<i>Diego Fernando Villanueva-Mejía</i>	
<b>Lineamiento para el manejo de plagas en cultivos de frutales .....</b>	<b>247</b>
<i>Martha Eugenia Londoño Zuluaga</i>	
<b>Alternativas de manejo ecológico de insectos en el cultivo del arroz en Colombia .....</b>	<b>258</b>
<i>Cristo Rafael Pérez Cordero</i>	
<b>Simposio 9. Biología y comportamiento de insectos vectores de enfermedades infecciosas .....</b>	<b>271</b>
<b>Coordinadores: Catalina Alfonso-Parra y Frank W. Avila.....</b>	<b>272</b>
<b>Biología y comportamiento de vectores.....</b>	<b>273</b>
<i>Sebastián Gómez, Hoover Pantoja, Viviana Vélez, Freddy Ruiz, Francisco Vargas y Catalina Alfonso-Parra</i>	
<b>Elucidating the molecular basis of the reproduction of the main African malaria vector.....</b>	<b>279</b>
<i>Priscila Bascuñán</i>	
<b>El papel de las antenas como receptores para iniciar comportamientos en <i>Rhodnius prolixus</i> (Hemiptera: Reduviidae) .....</b>	<b>284</b>
<i>Laura Bibiana Ospina, Melanie Ramírez Casallas, Mario Iván Ortiz, Jorge Molina</i>	
<b>Vector competence and immune responses to dengue virus in <i>Stegomyia aegypti</i> (Diptera, Culicidae).....</b>	<b>289</b>
<i>Idalba Mildred Serrato Pomar, Paola Andrea Caicedo Burbano, Yenifer Orobio, Carl Lowenberger and Clara Beatriz Ocampo Durán</i>	
<b>Simposio 10. Estudios contemporáneos en odonatos de Colombia.....</b>	<b>295</b>
<b>Coordinadores: Fredy Palacino-Rodríguez y Mariano Altamiranda-Saavedra .....</b>	<b>296</b>
<b>La distribución del género Neotropical <i>Erythemis</i> (Odonata: Libellulidae) en América:.....</b>	<b>298</b>
<b>Escenarios de cambio actual y futuro.....</b>	<b>298</b>
<i>Mariano Altamiranda-Saavedra, Fredy Palacino-Rodríguez y Alejandro Córdoba-Aguilar</i>	
<b>Descifrando el hábitat en odonatos: estudio de caso con dos especies de libelúlidos .....</b>	<b>303</b>
<b>(Odonata: Libellulidae).....</b>	<b>303</b>
<i>Leonardo Rache-Rodríguez</i>	
<b>Pigmentación corporal y su papel en la regulación de la temperatura corporal en el zigóptero <i>Mesamphiagrion laterale</i> (Odonata: Coenagrionidae).....</b>	<b>308</b>
<i>Laura Pulido Ríos, Fredy Palacino-Rodríguez y Alex Córdoba-Aguilar</i>	
<b>La contaminación ambiental deteriora la salud de los organismos asociados: Un estudio de caso en <i>Mesamphiagrion laterale</i> (Odonata: Coenagrionidae) .....</b>	<b>313</b>
<i>Fredy Palacino-Rodríguez, Diego Medina Gaitán y Roberto Munguía-Steyer</i>	
<b>Simposio 11. Experiencias con entomopatógenos como alternativa en Manejo Integrado de Plagas.....</b>	<b>319</b>
<b>Coordinadora: Adriana Sáenz Aponte .....</b>	<b>320</b>

<b>Perspectivas de <i>Photorhabdus</i> spp. (Enterobacteriales: Enterobacteriaceae) como bacteria entomopatógena</b> .....	<b>321</b>
<i>Julián David Salazar Gutiérrez, Adriana Sáenz Aponte y María Ximena Rodríguez</i>	
<b>Control biológico de <i>Leptopharsa gibbicarina</i> plaga de la palma de aceite en Colombia</b> .....	<b>326</b>
<i>Alex Enrique Bustillo Pardey Carlos Enrique Barrios Trilleras y Luis Guillermo Montes Bazurto</i>	
<b>Combinación de hongos y nematodos entomopatógenos: uso alternativo de entomopatógenos</b> .....	<b>332</b>
<i>Adriana Sáenz Aponte</i>	
<b>Evaluación del producto vercani en el control de ninfas de mosca blanca (<i>Trialeurodes vaporariorum</i>) en el cultivo de rosas</b> .....	<b>336</b>
<i>Dario León</i>	

## RESÚMENES

<b>BIOLOGÍA Y COMPORTAMIENTO</b> .....	<b>341</b>
<b>PRESENTACIONES ORALES</b> .....	<b>342</b>
<b>BC1-O. Ciclo de vida de <i>Glycaspis brimblecombei</i> (Hemiptera: Aphalaridae) en plantaciones de <i>Eucalyptus camaldulensis</i></b> .....	<b>342</b>
<i>César Augusto Betancur Osorio, Mariluz Rodas Ávalos, Adelaida María Gaviria Rivera, Emilio Arevalo Peñaranda</i>	
<b>BC2-O. Geoestadística aplicada a la dinámica espacio-temporal de <i>Glycaspis brimblecombei</i> (Hemiptera: Psyllidae) en plantaciones de <i>Eucalyptus camaldulensis</i></b> .....	<b>343</b>
<i>César Augusto Betancur Osorio, Mariluz Rodas Ávalos, Darío Antonio Castañeda</i>	
<b>BC3-O. Efectos en ciclo de vida y comportamiento selectivo en <i>Drosophila melanogaster</i> (Diptera: Drosophilidae) por presencia de parásito</b> .....	<b>344</b>
<i>María Fernanda Quiceno Vallejo, Laura Natali Afanador Barajas</i>	
<b>BC4-O. Biología y parámetros poblacionales del morfotipo andino de <i>Anastrepha fraterculus</i> (Diptera: Tephritidae) en Colombia</b> .....	<b>345</b>
<i>Nelson A. Canal, Francy E. Gaitán P., Jeferson Saavedra-Díaz</i>	
<b>BC5-O. Biología y parámetros poblacionales de <i>Anastrepha obliqua</i> (Diptera: Tephritidae) en Colombia</b> .....	<b>346</b>
<i>Jeferson Saavedra-Díaz, Francy E. Gaitán P., Nelson A. Canal</i>	
<b>BC6-O. Comportamiento reproductivo de <i>Comadia redtenbacheri</i> (Lepidoptera: Cossidae)</b> 347	
<i>Celina Llanderal-Cázares, Ricardo Castro-Torres, Arturo Ramírez-Cruz, Kalina Miranda-Perkins</i>	
<b>BC7-O. Estudios biológicos de <i>Nystalea nyseus</i> (Lepidoptera: Notodontidae) en <i>Eucalyptus tereticornis</i> en Cauca (Antioquia)</b> .....	<b>348</b>
<i>Sergio Andrés Sanabria Pardo, Magnolia del Pilar Cano Ortiz</i>	
<b>BC8-O. Uso de tablas de vida de <i>Hypothenemus hampei</i> (Coleoptera: Curculionidae) como una estrategia de manejo</b> .....	<b>349</b>
<i>Yobana Mariño-Cárdenas, José Carlos Verle Rodríguez, Paul Bayman</i>	

<b>BC9-O. Daño de <i>Strategus aloeus</i> (Coleoptera: Scarabaeidae) en híbrido Coari x Lame de palma de aceite</b> .....	<b>350</b>
<i>Luis Guillermo Montes Bazurto, Alex Enrique Bustillo Pardey</i>	
<b>BC10-O. Tabla de vida de <i>Oligonychus punicae</i> (Acari: Tetranychidae) sobre aguacate variedad Lorena</b> .....	<b>351</b>
<i>Yeimy García Valencia, Cristian Camilio Guetio, Nora Cristina Mesa</i>	
<b>BC11-O. Biología y caracterización del daño de <i>Eotetranychus tremae</i> (Acari: Tetranychidae) sobre aguacate</b> .....	<b>352</b>
<i>Yeimy García Valencia, Angel Mauricio Herrera, Nora Cristina Mesa</i>	
<b>BC12-O. Evaluación de conductas fototácticas en el escorpión <i>Chactas</i> sp. (Scorpionida: Chactidae)</b> .....	<b>353</b>
<i>Daniel Gutiérrez Kemenes; Andre J. Riveros</i>	
<b>CARTELES</b> .....	<b>354</b>
<b>BC1-P. Evaluación ciclo biológico de <i>Synoza cornutiventris</i> (Hemiptera: Carsidaridae) bajo condiciones de laboratorio, plaga asociada a <i>Ficus americana</i></b> .....	<b>354</b>
<i>Jhony Alejandro Chica Venegas, Carlos Andres Polania, Katherin Yulieth Cubillos</i>	
<b>BC2-P. Distribución de <i>Haplaxius crudus</i> (Hemiptera: Cixiidae) vector de la marchitez letal en palma de aceite en Colombia</b> .....	<b>355</b>
<i>Natalia Julieth Castillo Villarraga, Luis Jorge Sierra Moreno, Carlos Enrique Barrios Trilleras, Carlos Andres Sendoya Corrales, Luis Guillermo Montes Bazurto, Alex Enrique Bustillo Pardey</i>	
<b>BC3-P. Expandiendo el conocimiento de plagas del ají en Colombia: Identificación y biología de áfidos (Hemiptera: Aphididae)</b> .....	<b>356</b>
<i>William Tálaga Taquinas, Yorley Lagos, Clara Inés Melo Cerón Diana Duque Nelson Toro María R. Manzano</i>	
<b>BC4-P. Ataque de <i>Frankliniella williamsi</i> (Thysanoptera: Thripidae), en tres variedades de yuca <i>Manihot esculenta</i> en Tabasco, México</b> .....	<b>357</b>
<i>Dante Sumano López, Víctor Hugo Arias López, Mario Rodríguez Cuevas Rutilo López López</i>	
<b>BC5-P. The role of ants (Hymenoptera: Formicidae) in Membracidae (Hemiptera) parental care</b> .....	<b>358</b>
<i>Maria Fernanda Castillo Montoya</i>	
<b>BC6-P. Parámetros poblacionales de <i>Strategus aloeus</i> (Coleoptera: Scarabaeidae), barrenador de la palma de aceite</b> .....	<b>359</b>
<i>Rosa Cecilia Aldana de la Torre, Mauren Gisella Cabra, Jessica Pineda Alex Enrique Bustillo Pardey</i>	
<b>BC7-P. Incidencia de <i>Leptostylus hilaris</i> (Coleoptera: Cerambycidae) en lima ácida Tahití para el departamento del Tolima</b> .....	<b>360</b>
<i>Buenaventura Monje Andrade</i>	
<b>BC8-P. Biología y descripción morfológica de <i>Copturomimus hustachei</i> (Coleoptera: Curculionidae), perforador de tallos del aguacate</b> .....	<b>361</b>
<i>Julián Mauricio Moreno Gaviria, Arturo Carabalí Muñoz</i>	

<b>Morfología, Sistemática y Evolución .....</b>	<b>362</b>
<b>PRESENTACIONES ORALES .....</b>	<b>34264</b>
<b>MSE1-O. La oología en estudios taxonómicos del orden Ephemeroptera .....</b>	<b>363</b>
<i>Jhon Faber Marulanda, Lucimar Gomes Dias</i>	
<b>MSE2-O. Efecto de variables ambientales sobre la forma y tamaño alar de dos especies de libélulas (Odonata) .....</b>	<b>364</b>
<i>Leonardo Rache-Rodríguez</i>	
<b>MSE3-O. Evolution of the trophobiotic relationships in <i>Enchenopa</i> (Hemiptera: Membracidae) .....</b>	<b>365</b>
<i>Juanita Rodríguez Serrano, Dimitri Forero</i>	
<b>MSE4-O. <i>Exitianus atratus</i> (Hemiptera: Auchenorrhyncha: Cicadellidae): análisis morfométrico de adultos .....</b>	<b>366</b>
<i>Andrés Felipe Silva-Castaño, Liliana Franco-Lara, Helena Luisa Brochero</i>	
<b>MSE5-O. Revisión de <i>Mallophora</i> (Asilidae: Diptera) para Colombia .....</b>	<b>367</b>
<i>Sol Andrea Yepes Vivas</i>	
<b>MSE6-O. Aproximación al conocimiento taxonómico de las moscas Tachinidae (Diptera) de Colombia .....</b>	<b>368</b>
<i>Daniel Mauricio Bautista Zamora, Juan Manuel Perilla López, Francisco Serna</i>	
<b>MSE7-O. Descripción histológica de inmaduros <i>Chironomus columbiensis</i> (Diptera: Chironomidae): aproximación al uso de biomarcadores histopatológicos .....</b>	<b>369</b>
<i>Oscar Ivan Campeón Morales, Erika Mayerly Ospina Pérez, Vinicius Sobrinho Richardi, Fredy Arvey Rivera Páez</i>	
<b>MSE8-O. Dejando de ser un fantasma taxonómico: Sobre la identidad taxonómica de <i>Tapinoma melanocephalum</i> (Formicidae: Dolichoderinae) .....</b>	<b>370</b>
<i>Roberto J. Guerrero</i>	
<b>MSE9-O. Hormigas (Hymenoptera: Formicidae) asociadas a insectos escama (Hemiptera: Coccoidea) en la rizósfera de cafetales colombianos .....</b>	<b>371</b>
<i>Diana Mireya Suárez González, Francisco Javier Serna Cardona, Luis Alejandro Caballero Redondo, Amalia Ramos Portilla</i>	
<b>MSE10-O. Un tesoro desconocido: Lepidoptera no-Papilionoidea de la colección entomológica de la Pontificia Universidad Javeriana .....</b>	<b>372</b>
<i>Laura Velásquez Díaz, Sergio Vargas, Dimitri Forero</i>	
<b>MSE11-O. Identificación de <i>Diatraea</i> spp. (Lepidoptera: Crambidae) y sus parasitoides de larvas en Colombia .....</b>	<b>373</b>
<i>Edgar Mauricio Quintero Quintero, Gloria Patricia Barrera Cubillos, Emilio ArévaloPablo Iglesias, Germán Tarazona, John Jairo Alarcón, Germán Andrés Vargas Orozco</i>	
<b>MSE12-O. Especies de escarabajos (Coleoptera: Melolonthidae) asociadas al daño en el cultivo de aguacate en Antioquia .....</b>	<b>374</b>
<i>Rosa Helen Mira, Luis Fernando Vallejo, Jhon César Neita, Claudia M. Holguin A.</i>	

<b>MSE13-O. Primer registro de solífugos (Solifugae: Ammotrechidae) para bosques de manglar del caribe colombiano.....</b>	<b>375</b>
<i>Maira Alejandra Acosta Berrocal, Gustavo Salleg Pérez, Edwin Bedoya Roqueme, Jorge Quiros Rodríguez</i>	
<b>MSE14-O. Estudio taxonómico de la odonatofauna (Odonata) en la región de Araracuara, Caquetá, Colombia.....</b>	<b>376</b>
<i>Jenilee Maarit Motes Fontalvo, León Andrés Pérez Gutiérrez, Miguel Ángel Stand Pérez</i>	
<b>CARTELES .....</b>	<b>377</b>
<b>MSE1-P. El material tipo de la Colección Taxonómica Nacional de Insectos Luis María Murillo (CTNI) .....</b>	<b>377</b>
<i>Erika Valentina Vergara-Navarro, Nancy Barreto-Triana</i>	
<b>MSE2-P. Tres nuevas especies de ácaros (Acari: Mesostigmata) asociados a escarabajos (Coleoptera: Scarabaeidae) de Caldas, Colombia.....</b>	<b>378</b>
<i>Edwin Javier Quintero Gutiérrez, Beatriz Elena García Vallejo, José Orlando Combita Heredia</i>	
<b>MSE3-P. Identificación morfológica de especies nativas de nematodos entomopatógenos asociados a cultivos de musáceas en Colombia .....</b>	<b>379</b>
<i>Mabell Rocío Orobio Mosquera, Ana Milena Caicedo, Lyda Patricia Mosquera Sánchez Sandra Carlina Rivas Zúñiga, Miguel Uribe Londoño, Donald Heberth Riascos Ortiz, Jaime Eduardo Muñoz Flórez</i>	
<b>Biodiversidad, Ecología y Conservación.....</b>	<b>380</b>
<b>PRESENTACIONES ORALES .....</b>	<b>381</b>
<b>BEC1-O. Valoración de géneros de Odonata como indicadores de calidad del agua en ríos de Colombia .....</b>	<b>381</b>
<i>Laura Leandra Garzón Salamanca, Carlos A. Rivera-Rondón, Hernán Aristizábal, Igor Dimitri Forero Fuentes</i>	
<b>BEC2-O. Interacción Miridae (Hemiptera)-planta asociada a tres niveles de contaminación por material particulado en Bogotá, Colombia .....</b>	<b>382</b>
<i>Valentina Ocampo, Dimitri Forero, Juliana Durán, Ángela R. Amarillo-Suárez</i>	
<b>BEC3-O. Hemípteros (Hemiptera) acuáticos y semiacuáticos del Neotrópico.....</b>	<b>383</b>
<i>Hernán A. Aristizábal-García</i>	
<b>BEC4-O. Composición y estructura de Thripidae (Thysanoptera) en tres regiones geográficas en Colombia .....</b>	<b>384</b>
<i>Everth Emilio Ebratt-Ravelo, Jessica Lorena Vaca-Uribe, Arturo Goldaracena Lafuente, Angela Patricia Castro-Ávila, Astrid Pulido Herrera, Helena Brochero</i>	
<b>BEC5-O. Relación de Simuliidae (Diptera) y variables ambientales de la cuenca alta del Río Bogotá.....</b>	<b>385</b>
<i>Luz Angélica Cuadrado Argel, Aura Isabel Sotelo Londoño, Peter Adler, Aitor Larrañaga Arrizabalaga, Gabriel Antonio Pineda Agudelo, Ligia Inés Moncada Álvarez</i>	
<b>BEC6-O. Distribución espacial y temporal de la familia Chironomidae (Diptera) en el río Anchique, Tolima-Colombia .....</b>	<b>386</b>

*Mayra Geraldine Rojas Céspedes, Adriana Marcela Forero Céspedes, Gladys Reinoso Flórez*

**BEC7-O. Impacto del beneficio húmedo del café en la morfología de larvas de *Simulium metallicum* (Diptera)..... 387**  
*Cristian David Corrales Muñoz, Camilo Andrés Llano, Lucimar Gomes Dias*

**BEC8-O. Aproximación a la mirmecofauna (Hymenoptera: Formicidae) de tres zonas del municipio de Choachí (Cundinamarca-Colombia) ..... 388**  
*Dahiana Alietta Chinome Mogollón, William Fernando Rincón Forero*

**BEC9-O. Richness and structure of ant assemblies (Hymenoptera: Formicidae) in Atlantic forest in southern Brazil ..... 389**  
*Junir Antônio Lutinski, Cladis Juliana Lutinski, Carin Guarda, Maria Assunta Busato*

**BEC10-O. Ant assemblages (Hymenoptera: Formicidae) of a rural property in the Santa Catarina State, Brasil..... 390**  
*Junir Antônio Lutinski, Cladis Juliana Lutinski, Juliane Freitag Beling, Maria Assunta Busato*

**BEC11-O. Patrones de distribución altitudinal en parasitoides tropicales (Hymenoptera: Braconidae: Braconinae y Doryctinae) ..... 391**  
*Helmuth Aguirre, Scott Richard Shaw; Andrea Rodríguez-Jiménez*

**BEC12-O. Ensamblaje de hormigas (Hymenoptera: Formicidae) en tres elementos del paisaje en fincas ganadera del departamento del Atlántico ..... 392**  
*Lady Emelina Morelo Sánchez, Yamileth Domínguez Haydar*

**BEC13-O. Apifauna (Hymenoptera: Apiformes) de un área hortícola de Villa María, Caldas 393**  
*Carlos Augusto Martínez Martínez*

**BEC14-O. Importancia de las colecciones de docencia: Hormigas (Hymenoptera: Formicidae) de la Universidad de los Llanos, Villavicencio, Meta ..... 394**  
*Deyli Suta-Chisica, Geraldine Porras-Rivera, Natalia Ladino- López, Claudia Yara Ortíz*

**BEC15-O. Efecto del paisaje sobre la comunidad de hormigas (Hymenoptera: Formicidae) en sabana inundable de Arauca ..... 395**  
*Juan Carlos Agudelo Martínez, Néstor Pérez-Buitrago*

**BEC16-O. Identificación de polinizadores himenópteros (Hymenoptera) asociados a café *Coffea arabica* L. Var. Castillo en Pasuncha, Cundinamarca ..... 396**  
*Daniel Augusto Acosta Leal, Camilo José González Martínez, Laura Vanesa Vergara Arrieta*

**BEC17-O. Comunidad de Trichoptera en dos zonas de la quebrada La Vieja en Bogotá, Colombia ..... 397**  
*Paula Andrea Ramírez Lozano*

**BEC18-O. Estructura Poblacional de la endémica y en Peligro de extinción *Morpho rhodopteron* (Lepidoptera: Nymphalidae)..... 398**  
*Jesus Arturo Ochoa Santana, Keila Patricia Escorcía Dominguez, Jefferson Alexis Duran Fuentes, Carlos Humberto Prieto Martinez*

**BEC19-O. Patrones nocturnos del ensamblaje de bomboideos (Lepidoptera: Saturniidae y Sphingidae) de un bosque alto-andino colombiano ..... 399**  
*Daniella Cualla, Ángela R. Amarillo-Suárez, Dimitri Forero*



<b>BEC20-O. Composición de mariposas diurnas asociadas a bosques naturales e intervenidos en el piedemonte de Casanare .....</b>	<b>400</b>
<i>Fernanda Millán, Paula Gaitán, Catalina Ariza, Enith Mesa, Daniela Blanco, Plutarco Urbano</i>	
<b>BEC21-O. Ciclo de vida de <i>Leptophobia eleone</i> (Lepidoptera: Pieridae) .....</b>	<b>401</b>
<i>María Fernanda Cogollos Blanco, María José Morales Sandoval, Daniela Ternera Aya, Gonzalo Fajardo, Angela R. Amaillo-Suárez</i>	
<b>BEC22-O. Diversidad y composición de la comunidad de mariposas diurnas (Lepidoptera: Papilionoidea) en Jardín Botánico del Quindío .....</b>	<b>402</b>
<i>Luis Fernando Henao Patiño Rodrigo Iván Romero Zuñiga, Héctor Favio Manrique Fierro</i>	
<b>BEC23-O. Mariposas (Lepidoptera) de bosque seco tropical del sur del departamento del Tolima .....</b>	<b>403</b>
<i>Andrea Catherine Rodríguez Toro, Leonardo Alberto Ospina López, Gladys Reinoso Flórez</i>	
<b>BEC24-O. Escarabajos fitófagos (Coleoptera: Scarabaeidae) en un fragmento de bosque seco tropical en el caribe colombiano.....</b>	<b>404</b>
<i>Iván Mendoza Pérez, Sandy García Atencia, Neis Martínez Hernández</i>	
<b>BEC25-O. Escarabajos coprófagos (Coleoptera: Scarabaeinae, Aphodiinae) asociados a zonas urbanas de la ciudad de Sincelejo, Colombia.....</b>	<b>405</b>
<i>Julián Candamil Baños, Carlos Sermeño Correa, Yuly Bravo Vergara</i>	
<b>BEC26-O. Aspectos ecológicos de <i>Heterelmis</i> y <i>Neoelmis</i> (Coleoptera: Elmidae) en tres microcuencas del departamento del Tolima .....</b>	<b>406</b>
<i>Lozano Bravo Jaime Leonardo, Guevara Cardona Giovany, Reinoso Flórez Gladys</i>	
<b>BEC27-O. Composición y estructura de insectos asociados a bosques del corregimiento Santa Ana Condoto – Chocó.....</b>	<b>407</b>
<i>Karina Machado Sarria, Sandra Victoria Mena Córdoba, Geiner Ramírez Rentería, Donovan García Palacios</i>	
<b>BEC28-O. Análisis espacial de insectos visitantes florales de poblaciones silvestres de <i>Elaeis oleífera</i> (Arecaceae) en Colombia .....</b>	<b>408</b>
<i>María Isabel Castro Rebolledo, Luis Alberto Núñez Avellaneda</i>	
<b>BEC29-O. Aproximación a la biodiversidad de artropofauna del Páramo de Guerrero en Zipaquirá, Cundinamarca .....</b>	<b>409</b>
<i>Camilo José González Martínez, Sandra Milena Parada Pire, Nhorida Lizzeth Triana Lozano, Elkin Leandro Orjuela González</i>	
<b>BEC30-O. Biomasa de insectos en áreas impactadas por agricultura en la cuenca del río Chinchiná (Caldas-Colombia) .....</b>	<b>410</b>
<i>Camilo Andrés Llano Arias, Giovany Guevara Cardona</i>	
<b>BEC31-O. Dietas de macroinvertebrados acuáticos en un gradiente altitudinal de un río neotropical del norte colombiano .....</b>	<b>411</b>
<i>Cesar E. Tamaris-Turizo, Gabriel A. Pinilla-A, Cristian J. Guzmán-Soto, Cristian E. Granados-Martínez</i>	

<b>BEC32-O. Evaluación de la calidad ecológica de quebradas andinas en la cuenca del río Magdalena, Colombia .....</b>	<b>412</b>
<i>Esnedy María Galeano-Rendón, Lina María Monsalve-Cortes, Néstor Javier Mancera-Rodríguez</i>	
<b>BEC33-O. Diversidad de macroinvertebrados acuáticos en cuatro quebradas andinas en la cuenca del río Magdalena, Colombia .....</b>	<b>413</b>
<i>Esnedy Galeano-Rendón, Lina María Monsalve-Cortes, Néstor Javier Mancera-Rodríguez</i>	
<b>BEC34-O. Respuestas ecológicas y genéticas de macroinvertebrados acuáticos en la evaluación de calidad del agua .....</b>	<b>414</b>
<i>Lucimar Gomes Dias, Ana María Meza Salazar, Sebastián Villada-Bedoya, Milton Montaña Campaz, Javier Mantilla, Camilo Andrés Llano Giovany Guevara Cardona, Beatriz Toro Restrepo</i>	
<b>BEC35-O. Arácnidos (Arachnida) asociados a hojarasca en dos fragmentos de Bosque Seco Tropical en el Caribe Colombiano .....</b>	<b>415</b>
<i>Natalia De Moya Guerra, Dayanna Venencia Sayas</i>	
<b>BEC36-O. Ensamblaje de arañas (Araneae) de Isla Tortuguilla, departamento de Córdoba, caribe colombiano .....</b>	<b>416</b>
<i>María Raquel Pastrana Montiel, Maira Alejandra Acosta Berrocal, Edwin De Jesús Bedoya Roqueme, Alexander Quiroz Rodríguez</i>	
<b>BEC37-O. Arañas (Araneae) asociadas a plantas del género <i>Tillandsia</i> (Bromeliaceae) en un paisaje Altoandino, Quindío .....</b>	<b>417</b>
<i>Camila Peña Vergara, Lorena García Hernández, Eduardo Flórez Daza</i>	
<b>BEC38-O. Diversidad de arañas (Arachnida: Araneae) presentes en distintos micro hábitat de ecosistemas conservados y fragmentados .....</b>	<b>418</b>
<i>Carlos Mauricio Tarazona Suárez, Daniel Fernando Duarte Agudelo, William Mauricio Duran Mejía</i>	
<b>BEC39-O. Ácaros Mesostigmata (Acari) edáficos asociados a cultivos de cebolla de bulbo <i>Allium cepa</i>.....</b>	<b>419</b>
<i>Mayerly Alejandra Castro López, Diana Rueda Ramírez Augusto Ramírez-Godoy</i>	
<b>BEC40-O. Redes ecológicas de artrópodos asociados a semillas de leguminosas exóticas y nativas en Bs-T.....</b>	<b>420</b>
<i>Mariana Camacho-Erazo, Ángela R. Amarillo-Suárez</i>	
<b>BEC41-O. Los guadales, recurso genético importante son reservorio de nematodos entomopatógenos .....</b>	<b>421</b>
<i>Miguel Uribe Londoño, Jaime Eduardo Muñoz, Ana Milena Caicedo .....</i>	
<b>CARTELES .....</b>	<b>422</b>
<b>BEC1-P. Estudio preliminar de la colección de libélulas (Odonata) presentes en el Museo de la Salle .....</b>	<b>422</b>
<i>José Alejandro Cuéllar Cardozo, María Fernanda Lozano Bernal, José Warles Díaz Guamán</i>	

<b>BEC2-P. Identidad taxonómica de los grillos (Orthoptera: Phalangopsidae y Trigonidiidae) de la Isla Malpelo, Colombia .....</b>	<b>423</b>
<i>Alejandra Jiménez-Agudelo, Mateo López-Victoria</i>	
<b>BEC3-P. Issidae (Hemiptera: Auchenorrhyncha) de Colombia: Aportes a la distribución del género <i>Thionia</i>.....</b>	<b>424</b>
<i>Camilo Andrés Llano Arias, Giovany Guevara Cardona</i>	
<b>BEC4-P. Influencia de insectos depredadores en poblaciones <i>Aphis gossypii</i> (Hemiptera: Aphididae) en cultivos de ají <i>Capsicum frutescens</i>.....</b>	<b>425</b>
<i>Clara Inés Melo Cerón, María R. Manzano</i>	
<b>BEC5-P. Ant assemblies (Hymenoptera: Formicidae) in urban school environments .....</b>	<b>426</b>
<i>Carin Guarda, Junir Antônio Lutinski, Maria Assunta Busato</i>	
<b>BEC6-P. Distribución actual y modelación del nicho de la hormiga <i>Tapinoma atriceps</i> (Formicidae: Dolichoderinae) .....</b>	<b>427</b>
<i>Mayron E. Escárraga, Roberto J. Guerrero, John E. Lattke, Marcio R. Pie</i>	
<b>BEC7-P. Estudio de abejas (Hymenoptera: Apidae) nativas como estrategia de conservación y aprendizaje en un bosque seco tropical .....</b>	<b>428</b>
<i>María Angélica Vasquez Rodríguez, Sandra Patricia Bernal León, Maikol Santamaría Galindo Jessica Vaca-Uribe</i>	
<b>BEC8-P. Análisis temporal de la comunidad de mariposas (Lepidoptera) diurnas en la cuenca la Calabozza, Yopal, Casanare .....</b>	<b>429</b>
<i>Plutarco Urbano, Luisa Fernanda Ospina</i>	
<b>BEC9-P. <i>Caligo telamonius</i> (Lepidoptera): ciclo de vida, cría en condiciones semi-controladas y modelo de bioprospección en educación .....</b>	<b>430</b>
<i>Oscar Reinel Alfonso Castillo, Diana Carolina Piracón Lozano, Luz Stella Fuentes Quintero</i>	
<b>BEC10-P. Mariposas (Lepidoptera) diurnas del Agro Parque Sabio Mutis, Jardín Botánico de UNIMINUTO (Tena, Cundinamarca) .....</b>	<b>431</b>
<i>Jessica Morales Perdomo, Paola Marcela Triviño Cruz, Michael Santamaría Galindo</i>	
<b>BEC11-P. Efecto de la actividad antrópica sobre las poblaciones de Lepidoptera en un Bosque Húmedo Premontano.....</b>	<b>432</b>
<i>Erik Joham Gómez-Pereira, Johanna Andrea Obando-Bedoya</i>	
<b>BEC12-P. Estandarización de la técnica de obtención de cromosomas de <i>Tecia solanivora</i> (Lepidoptera: Gelechiidae) .....</b>	<b>433</b>
<i>Tatyana Margarita Ruano Aranda, Yenni Elizabeth Tumbaquí Toro, Sonia Mahecha Vahos Luz Estela Lagos</i>	
<b>BEC13-P. Conectividad funcional y estructura poblacional de cuatro especies de Scarabaeinae (Coleoptera) en un paisaje andino cafetero .....</b>	<b>434</b>
<i>Jeniffer C. García-López, Carlos A. Cultid-Medina, Bedir G. Martínez-Quintero Lucimar Gomes-Dias</i>	
<b>BEC14-P. Primer registro de <i>Acanthoscelides macrophthalmus</i> (Coleoptera: Chrysomelidae) en leguminosas nativas de Bosque Seco Tropical Colombiano .....</b>	<b>435</b>

<i>Daniela Jaramillo Castillo, Valeria Castro, Mariana Camacho Erazo Angela Rocio Amarillo</i>	
<b>BEC15-P. Coccinellidae (Coleoptera) colectados en una zona boscosa de la Universidad de Sucre (Sincedejo, Sucre Colombia).....</b>	<b>436</b>
<i>Maria Fernanda Zapata Araujo, Karolay Susana Rodriguez Montes</i>	
<b>BEC16-P. Evaluación de ensamblajes de escarabajos (Coleoptera) coprófagos asociados a borde e interior de bosque, río Manso, Caldas.....</b>	<b>437</b>
<i>Israel Navarro Quintero, Luis Fernando Salazar Salinas</i>	
<b>BEC17-P. Funcionamiento de un sistema de atracción y repulsión para la broca del café....</b>	<b>438</b>
<i>Ana María Castro, Pablo Benavides, Carmenza E. Góngora B.</i>	
<b>BEC18-P. Inventario de las especies de Dynastinae (Coleoptera: Scarabaeidae) del departamento del Quindío, andes colombianos.....</b>	<b>439</b>
<i>Geraldine Palchukán-C., Cristian Gaviria-Londoño, Margarita M. López-García Andrea Lorena García-Hernández</i>	
<b>BEC19-P. Creencias mágicas religiosas asociadas a los insectos en el municipio de Quibdó, Chocó.....</b>	<b>440</b>
<i>Donoban García Palacios, Sandra Victoria Mena Córdoba, Geiner Ramírez Rentería, Karina Machado Sarria</i>	
<b>BEC20-P. Conservación de recursos entomológicos asociados a relictos de vegetación natural y cultivos caducifolios .....</b>	<b>441</b>
<i>Diana Marcela Santamaria Galindo, Maikol Santamaría Galindo, Jessica Lorena Vaca-Urbe</i>	
<b>BEC21-P. Bioprospección de arañas: Evaluación computacional de venenos de Araneidae (Arachnida, Araneae) sobre enfermedades neurodegenerativas .....</b>	<b>442</b>
<i>Laura Bonilla, Laura Girón, Felipe Rojas, Dimitri Forero</i>	
<b>BEC22-P. Aportes al conocimiento de los Decápodos (Brachyura) en Agroecosistemas de Montaña (Villamaría, Colombia).....</b>	<b>443</b>
<i>Juan Mateo Rivera Pérez; Camilo Llano Arias; Giovany Guevara</i>	
<b>Biología Molecular y Genética .....</b>	<b>444</b>
<b>PRESENTACIONES ORALES .....</b>	<b>445</b>
<b>BMG1-O. Contribución a la filogenia del género <i>Anastrepha</i> (Diptera: Tephritidae) con muestras colombianas .....</b>	<b>445</b>
<i>Sandra M. Velasco-Cuervo, Elkin Aguirre-Ramírez, Jenny J. Gallo-Franco, Nancy Carrejo, Ranulfo González5, Nelson Toro-Perea</i>	
<b>BMG2-O. Aspectos genómicos de <i>Hypothenemus hampei</i> (Coleoptera: Curculionidae) para el diseño de estrategias de control.....</b>	<b>446</b>
<i>Lucio Navarro, Erick Hernández, Flor Acevedo, Jonathan Núñez, Alejandro Berrio, Claudia Carareto, Rita Fernandez, Ricardo Acuña</i>	
<b>Entomología Agrícola y Control biológico.....</b>	<b>447</b>
<b>PRESENTACIONES ORALES .....</b>	<b>448</b>

<b>ACB1-O. Parasitoides de áfidos (Hemiptera: Aphididae) en el Valle del Cauca: el caso del cultivo de ají .....</b>	<b>448</b>
<i>Laura Marcela Martínez-Chávez, Diana Nataly Duque-Gamboa, Nelson Toro-Perea</i>	
<b>ACB2-O. Escamas hipógeas (Hemiptera: Coccomorpha) del agroecosistema cafetero de Chiapas (México) .....</b>	<b>449</b>
<i>Alejandro Caballero; Andrea Amalia Ramos-Portilla</i>	
<b>ACB3-O. Insectos escama (Hemiptera: Coccomorpha) asociados a raíces de café de Colombia .....</b>	<b>450</b>
<i>Alejandro Caballero; Andrea Amalia Ramos-Portilla</i>	
<b>ACB4-O. Insectos escama (Hemiptera: Coccoidea) asociados a plantas crasas ornamentales en Colombia .....</b>	<b>451</b>
<i>Alejandro Caballero; Andrea Amalia Ramos-Portilla</i>	
<b>ACB5-O. Resistencia genética de la caña de azúcar a las ninfas del salivazo <i>Aeneolamia varia</i> (Hemiptera).....</b>	<b>452</b>
<i>Gerson Ramirez, Germán Vargas</i>	
<b>ACB6-O. Caracterización molecular de la comunidad de áfidos (Hemiptera: Aphididae) en el agroecosistema del ají.....</b>	<b>453</b>
<i>Diana N. Duque-Gamboa, Joel Quijano Mera, Clara Inés Melo Ceron, Maria del Rosario Manzano, Nelson Toro-Perea</i>	
<b>ACB7-O. Evaluación de la eficacia de Safermix WP como biocontrolador de <i>Diaphorina citri</i> (Hemiptera: Psyllidae).....</b>	<b>454</b>
<i>Sebastián Alfonso Guzmán Cabrera, Juan Esteban Echeverry Ortiz, Isabel Cristina Luna Piña, Elkín Darío López Arismendy</i>	
<b>ACB8-O. Control biológico de cochinillas <i>Puto barberi</i> (Hemiptera: Putoidae) en almácigos de café con hongos entomopatógenos .....</b>	<b>455</b>
<i>Carmenza E. Góngora B., Zulma Nancy Gil Palacio</i>	
<b>ACB9-O. Eficacia del insecticida sulfoxaflor para control de adultos de <i>Haplaxius crudus</i> (Hemiptera: Cixiidae) en palma de aceite .....</b>	<b>456</b>
<i>Luis Jorge Sierra Moreno, Natalia Julieth Castillo Villarraga, Alex Enrique Bustillo Pardey</i>	
<b>ACB10-O. Nivel de daño económico causado por <i>Potato Yellow Vein Virus</i> PYVV y su vector <i>Trialeurodes vaporariorum</i> en cultivos de papa .....</b>	<b>457</b>
<i>Diego Fernando Vásquez-Mendieta, Carlos Eduardo Beltrán-Escobar, Fernando Rivera-Trujillo, Diego Fernando Rincon-Rueda</i>	
<b>ACB11-O. Selección de hongos entomopatógenos para el control de <i>Haplaxius crudus</i> (Hemiptera: Cixiidae) .....</b>	<b>458</b>
<i>Miriam Rosero Guerrero, Angie Marcela Barragán Ferreira, Alex Enrique Bustillo Pardey</i>	
<b>ACB12-O. Búsqueda de depredadores de <i>Monalonion velezangeli</i> (Hemiptera: Miridae) en el Huila.....</b>	<b>459</b>
<i>Laura Alexandra Laiton Jiménez, Zulma Nancy Gil Palacio, Ferney López, Marisol Giraldo Jaramillo, Luis Miguel Constantino, Dimitri Forero Pablo Benavides Machado</i>	

<b>ACB13-O. Preferencia de <i>Puto barberi</i> (Hemiptera: Putoidae) a especies de arvenses de ecosistemas cafeteros.....</b>	<b>460</b>
<i>Zulma Nancy Gil Palacio, Pablo Benavides Machado</i>	
<b>ACB14-O. Dinámica del <i>Potato Yellow Vein Virus</i> (PYVV) en relación con fluctuación poblacional de su vector .....</b>	<b>461</b>
<i>Carlos Eduardo Beltrán Escobar, Hugo Fernando Rivera Trujillo, Diego Fernando Rincón Rueda</i>	
<b>ACB15-O. Manejo integrado de moscas blancas (Hemiptera: Aleyrodidae) en cultivos de plátano <i>Musa sp.</i> en Risaralda.....</b>	<b>462</b>
<i>Juan Pablo Bustamante Moreno, Sirley Palacios Castro</i>	
<b>ACB16-O. Metodología para obtención de estados edáficos de <i>Frankliniella occidentalis</i> (Thysanoptera: Thripidae) como herramienta de manejo.....</b>	<b>463</b>
<i>Diana Marcela Ríos Malaver, Diana Marcela Rueda Ramirez, Amanda Varela Ramirez</i>	
<b>ACB17-O. Compatibilidad de <i>Beauveria bassiana</i> y <i>Metarhizium anisopliae</i> con el depredador <i>Chrysoperla externa</i> (Neuroptera: Chrysopidae) .....</b>	<b>464</b>
<i>Mayerly Alejandra Castro López, John Wilson Martínez Osorio</i>	
<b>ACB18-O. Desarrollo biológico de <i>Lydella minense</i> y <i>Billaea claripalpis</i> (Diptera: Tachinidae) sobre <i>Diatraea spp.</i> (Lepidoptera: Crambidae).....</b>	<b>465</b>
<i>Viviana Marcela Aya Vargas, James Montoya Lerma, Claudia Echeverri Rubiano, Germán Andrés Vargas Orozco</i>	
<b>ACB19-O. Parasitismo en campo de <i>Pachycrepoides vindemmiae</i> (Hymenoptera: Pteromalidae) sobre <i>Drosophila suzukii</i> (Diptera: Drosophilidae) .....</b>	<b>466</b>
<i>Cristina Eugenia Andrade Loarca, María Dolores García Cancino, Jorge Antonio Sánchez González, Hugo Arrendondo Bernal</i>	
<b>ACB20-O. Importancia de las hormigas (Hymenoptera: Formicidae) en los cafetales de sombrío en (Quipile, Cundinamarca) .....</b>	<b>467</b>
<i>Ricardo Martinez Gamba</i>	
<b>ACB21-O. Evaluación de trampas de feromona y tela para el control de <i>Spodoptera frugiperda</i> (Lepidoptera: Noctuidae) .....</b>	<b>468</b>
<i>Cristo Rafael Pérez Cordero</i>	
<b>ACB22-O. Potenciación de conidios de <i>Beauveria bassiana</i> para el control de <i>Diatraea saccharalis</i> (Lepidoptera: Crambidae).....</b>	<b>469</b>
<i>Cindy Nayibe Mejía Maldonado, Carlos Espinel Correal, Pedro Filipe De Brito Brandão, Laura Fernanda Villamizar Rivero</i>	
<b>ACB23-O. Evaluación de extractos vegetales para el control de <i>Plutella xylostella</i> (Lepidoptera: Iponomeutidae) en laboratorio.....</b>	<b>470</b>
<i>Dante Bobadilla Guzmán, Yoett López Marca, Bárbara Santos Zamorano</i>	
<b>ACB24-O. Enemigos nativos de <i>Sagalassa valida</i> (Lepidoptera: Glyphipterigidae) en plantaciones de palma de aceite .....</b>	<b>471</b>
<i>Carlos Andres Sendoya Corrales, Jesús Arvey Matabanchoy Solarte, Jose Luis Pastrana Sanchez, Alex Enrique Bustillo Pardey</i>	

<b>ACB25-O. Evaluación de la resistencia en caña de azúcar al ataque de <i>Diatraea saccharalis</i> (Lepidoptera: Crambidae) .....</b>	<b>472</b>
<i>Claudia Echeverri Rubiano, Héctor Alberto Chica Ramírez, Germán Andrés Vargas Orozco</i>	
<b>ACB26-O. Franjas vegetales como estrategia de control biológico por conservación en cañaduzales del Valle del Cauca .....</b>	<b>473</b>
<i>Juan Sebastián Posada Montoya, Inge Armbrecht, Germán Vargas, Leonardo Rivera</i>	
<b>ACB27-O. Actividad insecticida de nuevas triazolquinolinas en <i>Spodoptera frugiperda</i> (Lepidoptera: Noctuidae) .....</b>	<b>474</b>
<i>Doris Natalia Rosado Solano, Mario Alberto Barón Rodríguez, Carlos Eduardo Puerto Galvis, Leonor Yamile Vargas Méndez, Vladimir V. Kouznetsov</i>	
<b>ACB28-O. Biología de una población de <i>Tecia solanivora</i> (Lepidoptera: Gelechiidae) resistente y otra susceptible a carbofuran .....</b>	<b>475</b>
<i>Lady del Socorro Zambrano E., Tania A. Jurado Ch., Yamileth Domínguez Haydar</i>	
<b>ACB29-O. Efectos subletales maíz 30F35HR sobre parámetros demográficos en adultos de <i>Spodoptera frugiperda</i> (Lepidoptera: Noctuidae).....</b>	<b>476</b>
<i>Miguel S. Tenorio, Alejandra Rivas, Sandra J. Valencia C., Jairo Rodríguez Ch, Nora C. Mesa</i>	
<b>ACB30-O. Zonificación de minador del café <i>Leucoptera coffeella</i> (Lepidoptera: Lyonetiidae) para São Paulo-Brasil .....</b>	<b>477</b>
<i>Marisol Giraldo-Jaramillo, Adriano Gomes Garcia, José Roberto Postali Parra</i>	
<b>ACB31-O. Efecto de dietas sobre infomquímicos y aspectos biológicos de <i>Copitarsia uncinata</i> (Lepidoptera: Noctuidae) .....</b>	<b>478</b>
<i>Lina Yagüe, Pilar Altamar, Diana Pérez, Ericsson Coy, Fernando Cantor</i>	
<b>ACB32-O. Parasitoides de <i>Diatraea</i> spp. (Lepidoptera: Crambidae) en caña para panela en Boyacá y Santander .....</b>	<b>479</b>
<i>Zaida Xiomara Sarmiento-Naizaque, Pablo Andrés Osorio-Mejía, Yuly Paola Sandoval-Cáceres, Orlando Ildelfonso Insuasty Burbano, Yajaira Romero Barrera, Nancy Barreto-Triana</i>	
<b>ACB33-O. Potencial de <i>Pseudomonas</i> entomopatogenas para el manejo de <i>Tecia solanivora</i> (Lepidoptera: Gelechiidae) .....</b>	<b>480</b>
<i>Natalia Frye, Jeferson Saavedra-Díaz, Pedro E. Galeano-Olaya, Nelson A. Canal</i>	
<b>ACB34-O. Selección de cruzamientos de papa (nativas X comerciales) por su resistencia a <i>Tecia solanivora</i> (Povolny) (Lepidoptera: Gelechiidae) .....</b>	<b>481</b>
<i>Germán David Sánchez León, Nubia Liliana Cely Pardo, Nancy Barreto-Triana, Aquiles Enrique Darghan Contreras</i>	
<b>ACB35-O. Sensibilidad a agroquímicos de un bioinsecticida a base de <i>Beauveria bassiana</i> .</b>	<b>482</b>
<i>Erika Paola Grijalba, Jennifer Lorena Garcia Riaño</i>	
<b>ACB36-O. Efecto de tres especies de entomofagos en huevos de <i>Compsus</i> sp. (Coleoptera: Curculionidae) en laboratorio.....</b>	<b>483</b>
<i>Diego Alonso Pinzón Hamon, John Wilson Martínez Osorio</i>	
<b>ACB37-O. Selección de hongos entomopatógenos para el control de adultos de <i>Cephaloleia vagelineata</i> (Coleoptera: Chrysomelidae) .....</b>	<b>484</b>

*Carlos Enrique Barrios Trilleras, Alba Judith Viecco Morón, Angie Marcela Barragán, Alex Enrique Bustillo Pardey*

**ACB38-O. Evaluación de feromonas para el control de picudos (Coleoptera: Curculionidae) en plátano y banano ..... 485**  
*Marcos Delgado Vásquez, Juan Gabriel Osorio; Andrés Fernando Solarte, Jaime Eduardo Muñoz, Ana Milena Caicedo*

**ACB39-O. Evaluación de la patogenicidad de *Beauveria Bassiana* sobre larvas de *Metamasius hemipterus sericeus* in vitro..... 486**  
*Rubén Darío Rojas Pantoja, Fernando Solarte, Dorian Otavo Fiscal, Jorge Luis Pineda, Jaime Eduardo Muñoz*

**ACB40-O. Efecto de aceite de *Clinopodium nubigenum* y *Ambrosia arborescens* en *Pagiocerus frontali* (Coleoptera: Scolytidae)..... 487**  
*Evelyn Gómez, Julia Prado, María Cristina Echeverría, Lenys Berutti, Sania Ortega*

**ACB41-O. Respuesta comportamental de *Hippodamia convergens* (Coleoptera: Coccinellidae) y *Chrysoperla rufilabris* (Neuroptera: Chrysopidae) al metil salicilato ..... 488**  
*Jordano Salamanca, Brígida Souza, Jonathan G. Lundgren, Cesar Rodriguez-Saona*

**ACB42-O. Establecimiento del parasitoide de la broca del café *Prorops nasuta* en el norte del Tolima ..... 489**  
*Luis S. Caicedo, Tito Bacca, Luis Miguel Constantino*

**ACB43-O. Generaciones de broca del café *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae) Colombia en escenarios enos ..... 490**  
*Marisol Giraldo-Jaramillo, Audberto Quiroga, Juan Carlos Garcia, Pablo Benavides-Machado*

**ACB44-O. Nuevas tecnologías de aplicación para el manejo de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae) ..... 491**  
*Aníbal Arcila Moreno, Pablo Benavides Machado*

**ACB45-O. Manejo de *Rhynchophorus palmarum* (Coleoptera: Dryophthoridae) y el Anillo Rojo en palma de aceite..... 492**  
*Jorge Aldana de la Torre, Rosa Cecilia Aldana de la Torre, Edwar Guerrero, Alexander Vega*

**ACB46-O. Capacidad depredadora de hormigas sobre *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae) en condiciones de campo ..... 493**  
*Luis Miguel Constantino Chuairé, Pablo Benavides Machado, Selene Escobar Ramírez, Inge Armbrrecht*

**ACB47-O. Picudos rayados *Metamasius* spp. (Coleoptera: Dryophthoridae) del banano y plátano en Colombia..... 494**  
*Ignacio Rafael Acosta Epieyu; Andrea Amalia Ramos-Portilla, Paula Andrea Sepúlveda Cano*

**ACB48-O. Los picudos negros (Coleoptera: Dryophthoridae) del banano y plátano en Colombia ..... 495**  
*Wynis Verusca Neme Morales; Andrea Amalia Ramos-Portilla, Paula Andrea Sepúlveda Cano*

**ACB49-O. Evaluación de metabolitos secundarios y análogos para el control de *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae) ..... 496**



Johanna Tapias Isaza, Sebastián González

<b>ACB50-O. Grupos funcionales de organismos no objetivos en cultivo de algodón Bt y convencional .....</b>	<b>497</b>
<i>Karol Darío Pérez García, Claudio Fernández Herrera</i>	
<b>ACB51-O. Insectos plaga asociados a pitahaya amarilla <i>Selenicereus megalanthus</i> en el municipio de Inzá, Cauca, Colombia.....</b>	<b>498</b>
<i>María Del Mar González Trujillo; Andrés Ricardo Peraza Arias, Helena Luisa Brochero</i>	
<b>ACB52-O. Efecto del silicio en el incremento de respuestas defensivas en plantas contra insectos herbívoros.....</b>	<b>499</b>
<i>Flor E. Acevedo, Michelle Peiffer, Gary Felton</i>	
<b>ACB53-O. Caracterización técnica del sistema productivo mora sin espina <i>Rubus glaucus</i> en el departamento de Risaralda .....</b>	<b>500</b>
<i>Andrés Alfonso Patiño Martínez</i>	
<b>ACB54-O. Insectos plaga y entomofauna asociada al cultivo de achira <i>Canna edulis</i> (Scitamidales: Cannaceae) en Colombia.....</b>	<b>501</b>
<i>María Camila Ortega, Sindy Lorena Mojica, Erika Valentina Vergara, Paola Andrea Sotelo-Cardona *</i>	
<b>ACB55-O. Organismos benéficos en cultivo de algodón Bt y convencional (<i>Gossypium hirsutum</i>).....</b>	<b>502</b>
<i>Karol Darío Pérez García; Claudio Fernández Herrera</i>	
<b>ACB56-O. Impacto causado por <i>Tetranychus urticae</i> (Acari: Tetranychidae) al cultivo de papaya (<i>Carica papaya</i> L.) .....</b>	<b>503</b>
<i>Yuri Mercedes Mena Pérez, Nora Cristina Mesa Cobo, Lina Marcela González Cano, Santiago Pérez Mora, Alejandra Rivas Cano</i>	
<b>ACB57-O. Evaluación del efecto insecticida del aceite esencial de <i>Cannabis sativa</i> sobre artrópodos plaga (<i>Tetranychus urticae</i> y <i>Frankliniella occidentalis</i>) .....</b>	<b>504</b>
<i>Camilo Andrés Rincón Bohórquez, Juan Felipe Vélez González</i>	
<b>ACB58-O. Insectos asociados a <i>Musa paradisiaca</i> (plátano) del corregimiento de Salero – Unión panamericana Chocó .....</b>	<b>505</b>
<i>Geiner Ramírez Rentería, Sandra Victoria Mena Córdoba, Donoban García Palacios Karina Machado Sarria</i>	
<b>ACB59-O. Nematodos entomopatógenos como alternativa en el control biológico en el cultivo del plátano y banano .....</b>	<b>506</b>
<i>Miguel Uribe L., Mabell Rocío Orobio, Jorge Mario Londoño, Lina Marcela Gonzales, Marcos Ovidio Delgado, Juan Gabriel Osorio, Jaime Eduardo Muñoz, Ana Milena Caicedo</i>	
<b>CARTELES .....</b>	<b>507</b>
<b>ACB1-P. Presencia del chinche <i>Ischnodemus</i> sp. (Hemiptera: Blissidae) en el cultivo de achira, <i>Canna edulis</i> .....</b>	<b>507</b>
<i>Maria Camila Ortega y Paola Sotelo-Cardona</i>	

<b>ACB2-P. Distribución espacial de <i>Aphis gossypii</i> (Hemiptera: Aphididae) y sus depredadores coccinélidos en ají.....</b>	<b>508</b>
<i>William Tálaga Taquinas, María R. Manzano</i>	
<b>ACB3-P. Cría masiva de <i>Haplaxius crudus</i> (Hemiptera: Cixiidae) para el suministro de insectos con fines experimentales .....</b>	<b>509</b>
<i>Ivette Johana Beltrán Aldana, Alex Enrique Bustillo Pardey</i>	
<b>ACB4-P. Interacción entre controladores biológicos y extractos vegetales para manejo ecológico de <i>Trialeurodes vaporariorum</i> (Hemiptera: Aleyrodidae) .....</b>	<b>510</b>
<i>Claudia Bibiana Barragán Sierra; Miguel Herrera Aranguren; Luz Stella Fuentes Quintero</i>	
<b>ACB5-P. Diversidad de trips (Thysanoptera: Thripidae) asociados a cultivos frutales caducifolios en Nuevo Colón, Boyacá.....</b>	<b>511</b>
<i>Carlos Alberto Vicente Arenas, Jully Viviana Ramos Manrique, Jessica Vaca-Urbe Maikol Santamaría Galindo</i>	
<b>ACB6-P. Compatibilidad entre enemigos naturales y extractos vegetales sobre <i>Frankliniella occidentalis</i> (Thysanoptera: Thripidae) en tomate .....</b>	<b>512</b>
<i>Claudia Bibiana Barragán Sierra; Miguel Herrera Aranguren; Luz Stella Fuentes Quintero</i>	
<b>ACB7-P. Riesgo del establecimiento de <i>Anastrepha striata</i> (Diptera: Tephritidae) en Colombia bajo escenarios de cambio climático.....</b>	<b>513</b>
<i>Mariano Altamiranda-Saavedra, Fernanda Londoño, Eduardo Amat, Luz Miryam Gómez-Piñerez</i>	
<b>ACB8-P. Microbiota intestinal de dos vectores principales de malaria recolectados en el Pacífico Colombiano .....</b>	<b>514</b>
<i>Paula Andrea Urrea, Stefani Andrea Piedrahita, Yadira Galeano Castañeda, Priscila Bascuñán-García, Margarita Correa</i>	
<b>ACB9-P. Compatibilidad de plaguicidas sobre <i>Encarsia formosa</i> (Hymenoptera: Aphelinidae) y <i>Amitus fuscipennis</i> (Hymenoptera: Platygasteridae) .....</b>	<b>515</b>
<i>C. Alejandra Garzón Espinosa, Luz Stella Fuentes Quintero, Luis A. Arias Rodríguez</i>	
<b>ACB10-P. Adaptación de <i>Cotesia flavipes</i> (Hymenoptera: Braconidae) en el valle del río Cauca .....</b>	<b>516</b>
<i>Viviana M. Aya Vargas, Claudia Echeverri, Gloria P. Barrera, Germán A. Vargas Orozco</i>	
<b>ACB11-P. Efecto de plaguicidas sobre la polinización de tomate bajo invernadero por <i>Apis mellifera</i> (Hymenoptera: Apidae) .....</b>	<b>517</b>
<i>Fabián A. Rodríguez Rojas, C. Alejandra Garzón Espinosa, Luis A. Arias Rodríguez</i>	
<b>ACB12-P. Identificación y síntesis de la feromona sexual de <i>Tecia solanivora</i> (Lepidoptera: Gelechiidae) .....</b>	<b>518</b>
<i>Valentina Vidal Medina, Silvio Alejandro López, César Augusto Sierra, Alicia Romero Frías</i>	
<b>ACB13-P. Primer reporte de <i>Bedellia</i> (Lepidoptera: Bedelliidae) en batata (<i>Ipomoea batatas</i>) del Caribe Seco .....</b>	<b>519</b>
<i>Tatiana Sánchez Doria, Leonardo Villalba Campo, José Antonio Rubiano-Rodríguez</i>	

<b>ACB14-P. Protocolo para efecto subletal de materiales de maíz GM sobre <i>Spodoptera frugiperda</i> (Lepidoptera: Noctuidae)</b> .....	<b>520</b>
<i>Alejandra Rivas, Miguel S. Tenorio, Sandra J. Valencia C., Jairo Rodríguez Ch. Nora C. Mesa</i>	
<b>ACB15-P. Quimiotipo asociado a volátiles de la glándula sexual de hembras de <i>Copitarsia uncinata</i> (Lepidoptera: Noctuidae)</b> .....	<b>521</b>
<i>Lina Yagüe, Pilar Altamar, Diana Pérez, Ericsson CoyFernando Cantor</i>	
<b>ACB16-P. Grandisol: componente de la feromona del picudo del aguacate <i>Heilipus lauri</i> (Coleoptera: Curculionidae)</b> .....	<b>522</b>
<i>Christian Felipe Jimenez, Diana Cristina Sinuco, José Mauricio S. Bento, Alicia Romero Frías</i>	
<b>ACB17-P. Bruchidae (Coleoptera) asociados a <i>Caesalpinia coriaria</i> en el municipio Sampedro, departamento de Sucre</b> .....	<b>523</b>
<i>Maria Fernanda Zapata Araujo, Karolay Susana Rodriguez Montes</i>	
<b>ACB18-P. Dietas artificiales como suplemento alimenticio en la cría de <i>Anovia punica</i> (Coleoptera: Coccinellidae)</b> .....	<b>524</b>
<i>Yenifer Campos Patiño, Takumasa Kondo</i>	
<b>ACB19-P. Parasitismo forzado de larvas de <i>Rhynchophorus palmarum</i> por la mosca <i>Billaea claripalpis</i> (Diptera: Tachinidae)</b> .....	<b>525</b>
<i>Jackeline Gaviria Vega, Bernhard Lohr</i>	
<b>ACB20-P. Metodologías para la evaluación de la actividad biocontroladora de bioplaguicidas a base de hongos entomopatógenos</b> .....	<b>526</b>
<i>Lisette Torres Torres, Ivonn Marcela Gelvez Pardo, Carlos Espinel CorrealAdriana Marcela Santos Diaz</i>	
<b>ACB21-P. Capacidad de búsqueda de <i>Steinernema</i> sp. UNPR52 (Rhabditida: Steinernematidae) sobre <i>Metamasius hemipterus</i> (Coleoptera: Curculionidae) en condiciones de laboratorio</b> .....	<b>527</b>
<i>Lina Marcela González, Miguel Uribe L., Fernando Solarte, Jaime Eduardo Muñoz</i>	
<b>ACB22-P. Nematodos y bacterias entomopatógenas para controlar <i>Rhynchophorus palmarum</i> (Coleoptera: Curculionidae) en condiciones de laboratorio</b> .....	<b>528</b>
<i>Andrés Mauricio González Tobón, Luis Miguel Uribe Londoño, Bernhard Leo Löhr, Jaime Eduardo Muñoz Flórez</i>	
<b>ACB23-P. Análisis geostadístico de factores edafoclimáticos sobre la distribución espacial de <i>Conotrachelus psidii</i> (Coleoptera: Curculionidae)</b> .....	<b>529</b>
<i>Ever Camilo Pinchao, Arturo Carabalí Muñoz</i>	
<b>ACB24-P. Extractos de mejorana, nim y paraíso contra <i>Eriophyes hibisci</i> (Acarina: Eriophyidae) en <i>Hibiscus rosa-sinensis</i></b> .....	<b>530</b>
<i>Luis Carlos Gómez Vallejo, Semillero SIAGRE</i>	
<b>ACB25-P. Respuesta olfativa del ácaro depredador <i>Balaustium leanderi</i> (Acari) a volátiles de plantas aromáticas</b> .....	<b>531</b>
<i>Rosa N. Pachón Rodríguez, Liud M. Rodríguez Pedraza, Luz Stella Fuentes Quintero C. Alejandra Garzón Espinosa</i>	

Entomología Médica, Forense y Veterinaria .....	532
<b>PRESENTACIONES ORALES</b> .....	<b>533</b>
<b>MFV1-O. Parámetros biológicos de los híbridos de dos especies de triatomíneos del género <i>Meccus</i> (Hemiptera: Reduviidae) .....</b>	<b>533</b>
<i>José Alejandro Martínez-Ibarra, Benjamín Noguera-Torres, Vincenzo Carnevali, Oziel Dante Montañez-Valdez</i>	
<b>MFV2-O. Genotipado de <i>Trypanosoma cruzi</i> y susceptibilidad de <i>Rhodnius pallescens</i> (Reduviidae: Triatominae) silvestre a Deltametrina .....</b>	<b>534</b>
<i>Juan Pablo Orduz Villarreal, Bladimiro Rincón Orozco, Martha Lucía Díaz, Clara Isabel González Rugeles, Ruth M. Castillo, Juliana Cuadros, Víctor M. Angulo, Jonny E. Duque</i>	
<b>MFV3-O. Análogos sintéticos de girsensohnina, agentes biocidas sobre huevos y ninfas de <i>Rhodnius prolixus</i> (Hemiptera: Reduviidae) .....</b>	<b>535</b>
<i>Juan Pablo Pabón González, Aurora Liseth Carreño, Vladimir V. Kouznetsov, Jonny Edwar Duque</i>	
<b>MFV4-O. Análisis retrospectivo de la relación entre índices aélicos y transmisión de dengue en Medellín, Colombia .....</b>	<b>536</b>
<i>Marcela Quimbayo Forero, Celeny Ortiz Restrepo, Raúl Rojo Ospina, Enrique Henao Corre, Patricia Fuya Oviedo, Guillermo L. Rúa-Uribe</i>	
<b>MFV5-O. Efecto del PermaNet® 2.0 sobre el comportamiento de dos vectores de malaria en Colombia .....</b>	<b>537</b>
<i>David Alonso Calle Londoño, Martha Liliana Ahumada Franco, Guillermo León Rúa Uribe, Sócrates Herrera Valencia, Martha Lucía Quiñones Pinzón</i>	
<b>MFV6-O. Sarconesina, nuevo péptido antimicrobiano derivado de larvas de <i>Sarconesiopsis magellanica</i> (Diptera: Calliphoridae) .....</b>	<b>538</b>
<i>Andrea Díaz-Roa, Manuel A. Patarroyo Gutiérrez, Pedro I. da Silva Junior, Felio J. Bello García</i>	
<b>MFV7-O. Evaluación del gen COI “código de barras” en mosquitos de importancia médica en Córdoba, Colombia .....</b>	<b>539</b>
<i>Angie Toro-Cantillo, Nelson Fernández, Richard Hoyos-López</i>	
<b>MFV8-O. Variabilidad genética de <i>Anopheles nuneztovari</i> y <i>Anopheles albimanus</i> (Diptera) en municipios del departamento de Córdoba, Colombia .....</b>	<b>540</b>
<i>Maria Atencia-Pineda, Richard Hoyos-López</i>	
<b>MFV9-O. Taxonomía integrativa para <i>Aedes aegypti</i> (Diptera) en dos poblaciones endémicas de dengue en Colombia.....</b>	<b>541</b>
<i>Jesús Eduardo Escobar, Oscar Javier Ramos, Lizeth Dayan Martínez</i>	
<b>MFV10-O. Análisis de tabla de vida de una población de <i>Aedes aegypti</i> (Diptera) bajo condiciones de Bogotá .....</b>	<b>542</b>
<i>María Angélica Dorado Gracia, Ligia Inés Moncada Alvarez, Jesús Eduardo Escobar Castro</i>	
<b>MFV11-O. Evaluación toxicológica del R-(+)-limoneno, y sus propiedades como larvicida frente al <i>Aedes aegypti</i> (Diptera: Culicidae) .....</b>	<b>543</b>

*Víctor Mario Jaramillo Pérez, Carlos Eduardo Puerto Galvis, Mario Alberto Barón Rodríguez, Vladimir V. Kouznetsov\*, Leonor Yamile Vargas Méndez\**

<b>MFV12-O. Identificación molecular de las especies de <i>Chrysomya</i> (Diptera: Calliphoridae) en la región neotropical</b> .....	544
<i>Natalia Torres, Giovan F. Gómez; Andrés López-Rubio, Luz Miryam Gomez-Piñerez, Adriana Pérez-Hoyos, Eduardo Amat</i>	
<b>MFV13-O. Mapa de riesgo de malaria en la región endémica Urabá-Bajo Cauca and Alto Sinú –Colombia</b> .....	545
<i>Mariano Altamiranda-Saavedra, Miguel Alvarez, Ximena Porcasi, Carlos Marcelo Scavuzzo, Margarita M. Correa</i>	
<b>MFV14-O. Análisis de la microbiota bacteriana asociada a dos vectores de malaria en Colombia</b> .....	546
<i>Priscila Bascuñán-García, Stefani A. Piedrahita, Yadira Galeano-Castañeda, Juan Pablo Niño-García, David Serre, Margarita M. Correa</i>	
<b>MFV15-O. Leg loss in <i>Lutzomyia longipalpis</i> (Diptera: Psychodidae) due to pyrethroid exposure</b> .....	547
<i>Erika Santamaría, Olga Lucía Cabrera, José Avendaño, Raúl Hernando Pardo</i>	
<b>MFV16-O. Distribución potencial de dos vectores de malaria en la Costa Pacífica colombiana</b> .....	548
<i>Yilmar Espinosa-Vélez, Julián Rodríguez-Zabala, Sair Arboleda, Mariano Altamiranda-Saavedra, Margarita M. Correa</i>	
<b>MFV17-O. Selección de nematodos entomopatógenos para el control de larvas de <i>Cephaloleia vagelineata</i> (Coleoptera: Chrysomelidae)</b> .....	549
<i>Carlos Enrique Barrios Trilleras, Alba Judith Viecco Morón, Miriam Rosero Guerrero, Alex Enrique Bustillo Pardey</i>	
<b>MFV18-O. Entomología de productos almacenados: Producto de trigo contaminado por <i>Tribolium castaneum</i> (Coleoptera: Tenebrionidae)</b> .....	550
<i>Leonardo Téllez Guio, Daniel Ramírez Pulgarin</i>	
<b>CARTELES</b> .....	551
<b>MFV1-P. Estrategia para el control en cuba del mosquito <i>Aedes aegypti</i> (Diptera: Culicidae)</b> .....	551
<i>Madeleine Rivera Sánchez</i>	
<b>MFV2-P. Espiropiperidinas como larvicidas frente al mosquito <i>Aedes aegypti</i> (Diptera: Culicidae)</b> .....	552
<i>Erika Amparo Torres Reyes, Aura Cristina Alvarado Vargas, Pedro Luis Sanabria Flórez, Carlos Eduardo Puerto Galvis, Mario Alberto Barón Rodríguez, Vladimir V. Kouznetsov, Leonor Yamile Vargas Méndez</i>	
<b>MFV3-P. Flebótomos (Diptera: Psychodidae), en una zona endémica de leishmaniasis cutánea al occidente de Boyacá, Colombia</b> .....	553
<i>David Camilo Martínez, Julián Leonardo Ávila, Fredy Molano Rendón</i>	

<b>MFV4-P. Actividad nocturna de <i>Nyssomyia yuilli</i> y <i>Nyssomyia trapidoi</i> (Diptera: Psychodidae) al occidente de Boyacá, Colombia .....</b>	<b>554</b>
<i>David Camilo Martínez, Julián Leonardo Ávila, Fredy Molano Rendón</i>	
<b>MFV5-P. Estructura del paisaje y diversidad de <i>Anopheles</i> (Diptera: Culicidae) en la región del Bajo Cauca.....</b>	<b>555</b>
<i>Juan C. Hernández, Daniel S. Rincón, Juan D. Sánchez Rodríguez, Stiven Quintero, Nelson Naranjo-Díaz, Alba L. Marín Valencia, Margarita M. Correa</i>	
<b>MFV6-P. Identificación de larvas (Diptera) productoras de miasis del cepario de la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca.....</b>	<b>556</b>
<i>Ruth Páez Díaz, Luisa Carolina Villa Arteta</i>	
<b>MFV7-P. Comparación transestadial de la microbiota de <i>Anopheles (Nyssorhynchus) albimanus</i> en la Costa Pacífica colombiana .....</b>	<b>557</b>
<i>Yadira Galeano-Castañeda, Paula A. Urrea, Stefani A. Piedrahita, Priscila Bascuñán-García, Margarita M. Correa</i>	
<b>MFV8-P. Ants (Hymenoptera: Formicidae) as indicators of hygienic-sanitary conditions in urban schools .....</b>	<b>558</b>
<i>Carin Guarda, Junir Antônio Lutinski, Carla Rosane Paz Arruda Teo</i>	
<b>MFV9-P. Síndrome hemorragiparo causado por toxinas de larvas de <i>Lonomia achelous</i> y <i>Lonomia obliqua</i> (Lepidoptera) .....</b>	<b>559</b>
<i>Servio Oña Montoya, Steven Alejo Espinosa</i>	
<b>MFV10-P. Escorpiones (Arachnida: Scorpiones) de Importancia Médica en Panamá, y su mantenimiento en cautiverio .....</b>	<b>560</b>
<i>Jairo Sánchez, Eunice Tapia, Hildaaura A. de Patiño Jhon Cleghorn, Karla Mendoza, Marcos Salazar</i>	

## Presentación

Para la XLIV edición del Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología, el comité organizador eligió el eslogan “Entomología de Impacto: Solución de problemas integrando disciplinas”. El eslogan implica una visión de la entomología como una disciplina que aborda preguntas de investigación con impacto nacional, y que convoca otras disciplinas y campos de la ciencia para la búsqueda del conocimiento. En este sentido, me complace, como coordinador de la comisión académica, presentar un congreso que seguramente incrementará nuestra visibilidad como entomólogos comprometidos con el avance y la difusión de la ciencia.

Para Socolen es un placer contar, una vez más, con la Universidad El Bosque como aliado estratégico para la organización del congreso de 2017. Esta alianza no sólo garantiza la disponibilidad de espacios, auditorios, y salones de primer nivel, sino que nos pone en contacto con un grupo de profesores y estudiantes de excelentes calidades humanas y profesionales. Asimismo, la participación de Corpoica, como entidad pública, en la organización del congreso tiene un significado especial en el contexto histórico colombiano. Nuestro país se encuentra en los inicios de una transformación sin precedentes que impactará las generaciones venideras. Decenas de miles de ciudadanos iniciarán un proceso de reinserción social, en el que la agricultura jugará un papel fundamental. Corpoica, como entidad encargada de la investigación agropecuaria, tiene la responsabilidad de proporcionar las herramientas para la construcción de una agricultura sostenible en su dimensión económica y ecológica, y con responsabilidad social. La alianza entre Corpoica y Socolen materializa la apuesta en la ciencia y el conocimiento para impulsar el desarrollo, la equidad y la paz en Colombia.

El cartel de conferencistas magistrales se diseñó meticulosamente teniendo en cuenta la actualidad nacional. El Dr. Casey Hoy, director del programa de transformación agro-alimentaria de la Universidad Estatal de Ohio (EEUU), inaugura el congreso con su percepción acerca del manejo de los agroecosistemas y de las estrategias más eficaces para incrementar su resiliencia y la seguridad alimentaria. El tema de la seguridad alimentaria es también abordado desde el uso de insectos como alimento en la conferencia del Dr. Diego Cruz (director de ArthroFood, Colombia). Otros conferencistas como el Dr. Luis Cañas (Universidad Estatal de Ohio, EEUU), el Dr. Alejandro Calixto (Dow AgroSciences, EEUU) y yo presentamos nuestros avances en el desarrollo de programas de manejo de diferentes plagas de impacto nacional. El Dr. Mariano Belaich (Universidad Nacional de Quilmes, Argentina) nos comparte sus hallazgos acerca del uso de herramientas de biotecnología para el desarrollo de estrategias basadas en el uso de virus para el control de plagas. Los avances sobre el desarrollo de estrategias para el manejo de insectos vectores de enfermedades infecciosas de humanos correrán por cuenta de dos conferencistas de renombre internacional. Por un lado, el Dr. Ivan Darío Velez, director del Programa de Estudio y Control de Enfermedades Tropicales de la Universidad de Antioquia, presenta los avances y alcances de su programa de investigación en el uso de la bacteria *Wolbachia* para el control de

*Aedes aegypti*, vector del dengue, zika, y chikunguña. En otro frente, el Dr. Frank Avila (líder del grupo Tandem Max Planck-Universidad de Antioquia en biología reproductiva de mosquitos) nos compartirá sus apuestas en nuevos blancos para el control de *A. aegypti*, basados en la fisiología de las hembras para el almacenamiento de esperma.

El cartel de simposios refleja la originalidad y el desarrollo de la entomología en Colombia. Entre ellos se destacan temas como la biología de vectores de enfermedades infecciosas transmitidas por insectos, el modelamiento de sistemas, y las técnicas para comprender la evolución de resistencia a estrategias de control de plagas. Otros simposios, más tradicionales, acerca de temas como el control biológico, los entomopatógenos, la vigilancia de especies invasoras, y la biotecnología, agrupan científicos de gran renombre nacional e internacional que sin duda generarán discusiones del más alto nivel.

Es un honor, pues, para mí como entomólogo, presentar y fungir como coordinador académico del congreso anual de una de las sociedades científicas más tradicionales y robustas del continente. Espero, en especial, que los estudiantes y entusiastas incursionando en la entomología disfruten tanto como yo disfruto los congresos de Socolen desde mis épocas más tempranas de mi carrera.

Diego F. Rincón  
Coordinador académico del congreso



# **Conferencias magistrales**

---

## From pest to agroecosystem management, and resilient food security

Del manejo de plagas al manejo de agroecosistemas y una seguridad alimentaria resiliente

Casey W. Hoy

Department of Entomology. Ohio Agricultural Research and Development Center. 1680 Madison Ave.;  
Wooster, OH 44691. [hoy.1@osu.edu](mailto:hoy.1@osu.edu)

---

**Abstract.** Our food and agricultural system includes sophisticated management of rapidly evolving technology, unprecedented abundance of agricultural commodities, unsustainable resource use; inequitable access to food and the resources for its production that leave 1 in 9 people in the world chronically malnourished. Our future challenges, heightened by climate change impacts that are already beginning, mean that a transformation in food and agriculture is needed locally and globally; it may already have begun. The Initiative for Food and Agricultural Transformation at The Ohio State University is based on a vision of transformation that is based on healthy agroecosystems, which include good food for all. This paper will describe the background for this unprecedented University initiative; particularly the conceptual framework in agroecosystem health and resilience, the vision and approach for building the initiative; the emerging areas of action toward bringing the vision to life. The roots of the initiative are in the holistic thinking we apply to integrated management of insect pests. Expanding this systems thinking to the management of agroecosystems and agroecosystem health provides a robust conceptual framework for resilient and sustainable food security.

**Key words:** Sustainability. Resilience. Systems. Transdisciplinary. Transformation.

**Resumen.** Nuestro sistema agrícola y alimentos incluye una gestión sofisticada de la rápida evolución de la tecnología, la abundancia sin precedentes de productos agrícolas, uso insostenible de los recursos y desigual acceso a los alimentos y los recursos para su producción que deja desnutrición crónica en una de cada 9 personas en el mundo. Nuestros retos para el futuro, agudizado por los impactos del cambio climático que ya están empezando, significa que es necesario una transformación en la alimentación y la agricultura local y global, puede ya haber comenzado. La Iniciativa para la Transformación de la Agricultura y los Alimentos, define como agri- el suelo y otras recursos natural – y cultura, en la Universidad Estatal de Ohio se basa en una visión de transformación con agroecosistemas saludables, que incluyen buena comida para todos. Esta presentación rastreará los antecedentes de esta iniciativa sin precedentes de la Universidad y particularmente el marco conceptual acerca de la salud y la resiliencia del agroecosistema, la visión y enfoque para la construcción de la iniciativa, y las áreas emergentes de acción para darle vida a esta visión. Las raíces de la iniciativa son el pensamiento holístico que se aplica al manejo integrado de plagas de insectos. Ampliando este sistema de pensamiento para el manejo y la salud de los agroecosistemas proporciona un marco conceptual sólido para la seguridad alimentaria sostenible y resiliente.

**Palabras clave:** Sostenibilidad. Resiliencia. Sistemas. Transdisciplinario. Transformación.

## Introduction

This paper will trace the evolution of systems thinking about insect pest management to systems thinking about sustainable and resilient food security. Pest management is nested within the production dimension of a complex human food chain. Understanding how pest management contributes to and can serve as an important entry point into the ultimate goal of human food security requires a systems point of view about food and agriculture. Fortunately, systems thinking is relatively well developed in pest management and food system research.

Because sustainability and resilience are key goals in this paper, a definition of each would be helpful at the outset. Sustainability has been defined by many in the past and the key elements are a balance between economic, environmental and social considerations and the capacity for the system to function without loss of key outcomes, like sufficient food supply, across many human generations. Until a few decades ago, sustainability dominated conversation about food and agriculture, with the idea that the environment, particularly the natural environment in climate, soils and geology, was essentially fixed. Given a fixed set of environmental conditions, sustainability was a matter of finding agroecosystem function with cycles of production that could continue indefinitely without diminished human benefits over time. But the view of a constant environment was challenged by more careful analysis of the historical nature of ecosystem change and predictions of future alteration in the environment, such as a changing climate. The idea behind resilience is that environmental change does occur and at times becomes sufficient to render the previous structure and function of the system either poorly adapted to the new conditions or impossible. Resilience includes stability in the face of small disturbances, but more importantly describes the capacity of a system to reorganize into a new and very different set of system structure and function relationships when tipping points in the environment are exceeded (Levin *et al.* 1998; Gunderson and Holling 2002; Biggs *et al.* 2012). Managing for sustainability means a thorough understanding of system function sufficient to ensure that the benefits we receive can continue undiminished, under the observable environment and predictable amount of change in it. But managing for resilience means preparing the system for adaptation to environmental change that cannot be predicted, ready for anything including complete reorganization, while still maintaining key functions.

## Pest Management and Systems Approaches

Integrated pest management (IPM) strategies at the individual field level often focus primarily on improved pesticide use. But it often takes management of the agroecosystem at regional scale to successfully manage pest populations; the associated challenges for agricultural production, as outlined in a case study involving broccoli production and diamondback moth, *Plutella xylostella* L. (Hoy *et al.* 2007). To give a brief history in the Bajío region of Mexico, a typical pesticide treadmill with insecticide resistance problems in the late 1980's resulting from calendar-based application of broad-spectrum pesticide mixtures for diamondback moth, led to a search for better pesticide and resistance management. A progression to IPM tactics began with field sampling and action thresholds that permit relatively large populations early in the development of the crop but call for strict control as harvest approaches. The use of synthetic insecticides was frequent, but the number of applications was reduced from approximately 12-14 to 4-5 applications per crop from

1987 to 1992. A continued reduction in number of applications and a gradual shift from synthetic insecticides to biological controls, primarily *Bacillus thuringiensis* insecticide products and *Diadegma insulare* parasitism (Salas, 1998) but with contributions from more generalist predators and parasites as well. Cultural controls; in particular host-free periods throughout the region, during which no cruciferous host crops were planted for approximately six weeks, were additional foundations of the IPM approach. After 2000, however, three new and very effective insecticides became available (indoxacarb, emamectin benzoate; spinosad), so that many growers used no insecticides at all during the first approximately 45 days of crop development and then used one or more of these newer materials close to harvest to achieve thorough control of the population. Only 3-4 applications were generally sufficient for control in each field and biological control of diamondback moth, particularly parasitism, remained high, particularly during the early phases of crop development.

Cultural controls for diamondback moth were instituted at the regional level by broccoli processors. Most of the broccoli crops in the region were grown from transplants; these are typically produced in centralized facilities owned by processing companies. Facility managers gave more attention to exclusion and control of diamondback moths in these facilities, with resulting decreases in initial populations in newly planted fields over a wide area. The periodic host free period resulted in both perceived and documented decreases in diamondback moth populations and improvement in diamondback moth control for a few months after planting resumed. Insecticide rotations, one of the key strategies for preventing insecticide resistance, were agreed upon by processing companies and their field crews. Finally, techniques for mechanical removal of diamondback moth pupae and silk from the broccoli florets in the processing plants were improved, relieving some of the pressure to achieve strict control in the field.

A time series analysis, based on pheromone trap samples in multiple locations from 1987-2005, documented that, despite the improvements in IPM within fields and the decrease in pest problems in the finished product, the population of diamondback moth increased significantly and the variation in its pattern of fluctuations became more pronounced. The most likely explanation is the change in area planted to broccoli in the Bajío. For 1988-1991, between 17,000 and 20,000 ha/year were planted in cruciferous crops. In 1992-1995, the area planted increased to between 20,000 and 30,000 ha/year; from 1996-1999 the area planted increased to 45,000 ha/year and the increase likely continued with increasing fresh market production. Cross correlation analysis suggested that the pattern of rainfall, particularly during the months of May and August, rather than the availability of new and effective insecticides, was responsible for an increase in populations during 1992-2000 and reduced populations during 2001-2004. The increases in area planted in host crops apparently increased the carrying capacity for diamondback moth in this agroecosystem.

The changes in broccoli production lead to additional challenges beyond a new pattern of abundance and fluctuation of diamondback moth. Decreases in the water table in the Bajío (Castellanos *et al.* 1998) signal that lack of water may limit production of crops like broccoli because it requires so much irrigation. Declining availability and quality of water and other resources could limit crucifer production in the Bajío and encourage production of other crops that require less irrigation. Likewise, labor is neither as available nor as inexpensive as it once was and

global markets will continue to change the economics of production for the Bajío, as with any other production region. Finally, as processing companies choose the most skilled growers for their somewhat reduced area planted, the remainder grow for the fresh market where quality standards, support for pest management decision making and pressure for cooperation at the regional level all are greatly reduced. Anecdotaly, this increase in fresh market production, with very different concerns and constraints from those facing processors, is one of the key challenges to regional cooperation on pest management to the present. In the long term, producing alternative crops, particularly those that fit the production and marketing capabilities of the Bajío agroecosystem, may be the best option for lowering diamondback moth populations at the least cost, socially, environmentally (particularly by increasing biological diversity) and economically, thereby contributing to sustainability. The added diversity, coupled with the kind of self-organization represented by the cooperation among processors in el Bajío, would contribute to resilience in this agroecosystem (Hoy 2015).

### **Agroecosystems Management for Agroecosystem Health**

Agroecosystem health derives from a combination of biophysical and socioeconomic conditions that jointly influence a set of properties: productivity, sustainability, stability; equitability (Conway 1987). We developed methods to quantify agroecosystem health through a combination of geographically referenced data at various spatial scales (Vadrevu *et al.* 2008). Six key variables were hypothesized to provide the minimum set of conditions required to quantify agroecosystem health: soil health, biodiversity, topography, farm economics, land economics; social organization. Each of these key variables was quantified by one or more attributes of a study area near Wooster, Ohio, USA. Data sources included remote sensing, digital elevation models, soil maps, county auditor records; a structured questionnaire of landowners in the study area. Using analytical hierarchy process, a team of researchers combined these variables into an agroecosystem health index, which was then mapped across the study area. Spatial patterns in agroecosystem health were an emergent property of combined socioeconomic and biophysical conditions not apparent in any of the underlying data or key variables. Several of the variables, such as soil health and biodiversity, would be important in IPM, especially at regional scales as seen in the previous example. However, it takes a combination of socioeconomic and biophysical conditions to improve the properties described above. When all four properties of productivity, sustainability, stability; equitability are present, however, food security for all people is one of the expected qualities that arise from agroecosystems. This connection between agroecosystem health, resilience and food security has recently been described in greater detail (Hoy 2015).

### **A Systems Approach to Food Systems and Resilience**

Global food security (“when all people at all times have access to sufficient, safe, nutritious food to maintain a healthy and active life”; WHO World Food Summit 1996) has never been attained and progress towards it has slowed. Technologies strain to balance humanity’s dietary demands, profit’s motivating force; the planet’s limited resources, challenging food security even as policies struggle to balance complex local and global economic and social needs. In the US, approximately 12,7 % of households are food insecure (Coleman-Jensen *et al.* 2016) while obesity is at epidemic

proportions. Worldwide, a host of diverse norms and culturally distinct preferences influence tradeoffs in production, distribution; consumption. The food security needs of local populations and the goals of national and international economic development do not always match. Changing patterns of precipitation and temperature continue to alter the levels of water tables worldwide. Advances in agriculture have produced huge increases in crop yields, but are reaching points of diminishing returns. Recent decades have seen soil loss and land use changes that limit our ability to sustain current yields, especially as climate becomes more unpredictable. Food production has become quite specialized and centralized into production regions with potentially fragile distribution networks creating global interdependencies. Finding the optimal balance in local, regional and global scales of food production and distribution while managing risks at all of these scales due to predicted climate change is one of the greatest political, economic; cultural challenges of our era. The interrelated nature of all these elements is the essence of the challenge to future food production and security.

Food systems include agricultural production, the set of businesses and steps that lead from field to fork (preparation, processing, distribution, etc.); the social and cultural environment that governs or at least influences each of these steps. The key functional dimensions of food systems, therefore, have been described as availability or what is produced where, access or how people acquire it; utilization or how people use it (Ericksen 2008, APLU 2017). Drivers of these functions, however, include many capital stocks underlying these functions including natural, human, social, physical or built; financial capitals (Rao and Rogers 2006). And properties such as diversity in these capitals, self-organization within the system; learning capacity that draws on both diversity and self organization are key characteristics of resilient systems. (Levin *et al.* 1998).

In general, resilience in systems of any kind relies upon qualities that contribute both to stability in the face of perturbations that are within the range of variation of environmental conditions experienced in the past; to the capacity for reorganization when environmental conditions enter a new range that changes basic system structure and function (Levin *et al.* 1998; see [resiliencealliance.org](http://resiliencealliance.org)). We hope to manage food systems in ways that contribute to their capacity for reorganization while maintaining key functions, such as food production and security. The characteristics that lead to resilience in agriculture and food systems are also the characteristics of healthy agricultural ecosystems, as defined above (Vadrevu *et al.* 2008). Therefore, we see strong alignment between healthy agroecosystems, resilient food systems; food security (Hoy 2015).

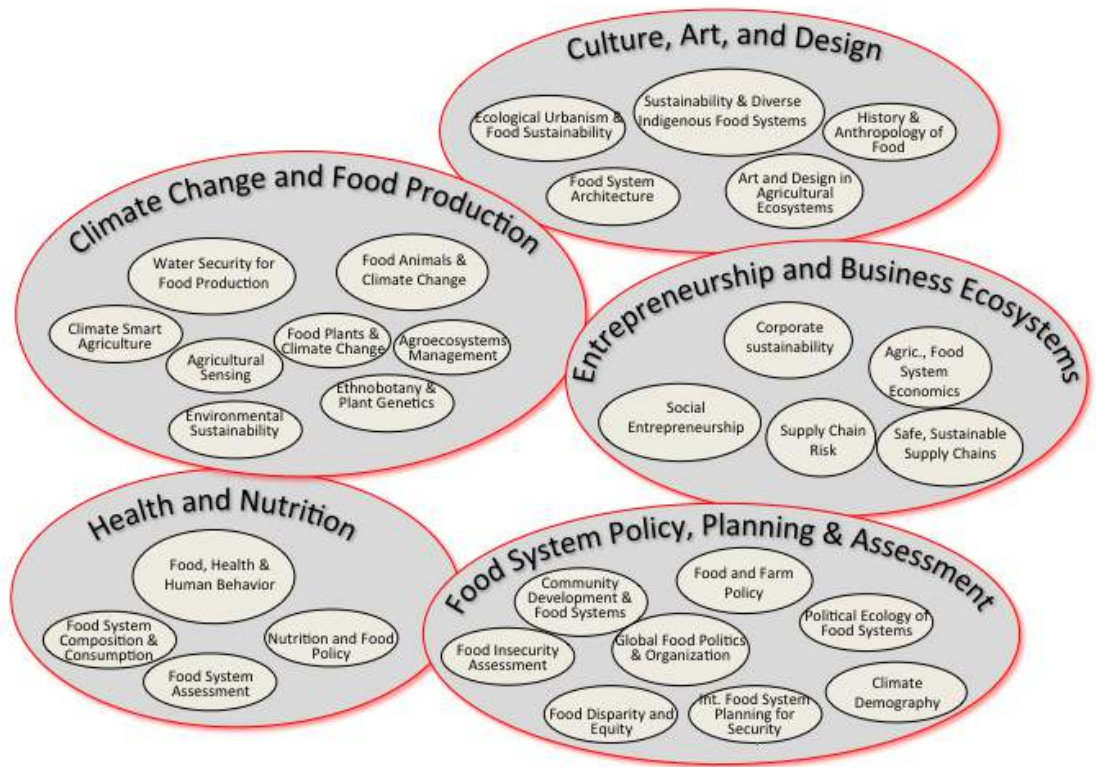
### **The Initiative for Food and AgriCultural Transformation, InFACT, at Ohio State**

The Ohio State University is one of the largest universities in the USA, with six campuses across the state; extension offices in all 88 Ohio counties; international gateways in India, China and Brazil; and collaborations that extend throughout the world. In 2012, the University Board of Trustees targeted three large societal challenges that they considered Ohio State University to be well positioned to address with solutions: Health and Well Being, Energy and the Environment; Food Production and Security. Naming these the Discovery Themes ([discovery.osu.edu](http://discovery.osu.edu)), they have invested boldly in these three areas, using an open and faculty-driven process to arrive at strategy



for their investments. One of these investments, amounting to approximately \$100 million over the next 10 years in hiring 30 new faculty and combining their efforts with over 100 existing faculty, is the Initiative for Food and AgriCultural Transformation, InFACT (discovery.osu.edu/infact).

A distinguished team of 50 faculty members from across The Ohio State University collaborated on the proposal for InFACT, a comprehensive, transformative approach to achieving global food security. All humanity depends on food security. As described above, needed are resilient food systems to assure the health and well-being of a growing world population in the face of unprecedented environmental change and constraints. Three critical dimensions of this challenge are: 1) Production: food system technologies and enterprises must function within agroecological capacities and limits, a key role for those in crop protection; 2) Distribution: economic gain and social justice must be balanced to assure good food for all; and 3) Adaptability: the physical design and social organization of food systems must be locally adapted, globally interconnected; grounded quality in culture, technology and science.



**Figure 1.** Planned positions for new hires in the Initiative for Food and AgriCultural Transformation

The vision and approach is to use OSU's campuses and lands as living laboratories; create new physical and social models of food systems that promote human health while balancing technology, ecological capacities, economics, justice and equity. This requires collaboration and balance across the sciences, engineering; humanities, as well as a willingness to engage many partners including students, Ohioans, business and industry, policy makers; many more, seeking holistic approaches to improved agroecosystem health. The University will be building on strengths in: agroecology (an holistic approach that balances the social, economic and environmental dimensions of agriculture), climatology and water; food systems from production to consumption; and culture, justice and policy. The plan is to strengthen activity within these areas, but even more importantly to strengthen connections among them to enhance human health through local and global food system resilience. The new faculty hires will be in five broad areas: climate change and food production; health and nutrition; food system policy and planning; entrepreneurship and business ecosystems; culture, art and design (Fig. 1). Ohio State will serve as a living laboratory. Our campuses, both land and people, will pioneer new physical, ecological, cultural and social models of food systems that promote health while balancing technology, ecological capacities, economics, justice and equity.

## References

- APLU. 2017. The Challenge of Change: Harnessing University Discovery, Engagement; Learning to Achieve Food and Nutrition Security. Accessed June 8, 2017 <http://www.aplu.org/library/the-challenge-of-change/File>.
- BIGGS, R.; SCHLÜTER, M.; BIGGS, D.; BOHENSKY, E.; BURNSILVER, S.; CUNDIL, G.; DAKOS, V.; DAW, T.; EVANS, L.; KOTSCHY, K.; LEITCH, A.; MEEK, C.; QUINLAN, A.; RAUDSEPP-HEARNE, C.; ROBARDS, M.; SCHOON, M.; SCHULTZ, L.; WEST, P. 2012. Toward principles for enhancing the resilience of ecosystem services. *Annual Review of Environmental Resources* 37: 421–48.
- CASTELLANOS, J. Z.; HURTADO, B.; VILLALOBOS, S. 1993. Cambios en la calidad del agua subterránea debido al abatimiento de los niveles piezométricos en el Estado de Guanajuato. pp. 137-152 *In* Proceedings of the International Symposium on Soil Water, México City.
- CONWAY, G. 1987. The properties of agroecosystems. *Agricultural Systems* 24: 95-117.
- COLEMAN-JENSEN, A; RABBITT, M; GREGORY, C; SINGH, A. 2016. Household Food Security in the United States in 2015. Economic Research Service, USDA. Economic Research Report Number 215.
- ERICKSEN, P. J. 2008. Conceptualizing food systems for global environmental change research. *Global Environmental Change* 18 (1): 234-245.
- GUNDERSON, L. H.; HOLLING, C. S. 2002. *Panarchy: Understanding Transformations in Human and Natural Systems*. Island Press, Washington.
- LEVIN, S. A.; BARRETT, S.; ANIYAR, S.; BAUMOL, W.; BLISS, C.; BOLIN, B.; DASGUPTA, P.; EHRLICH, P.; FOLKE, C.; GREN, I.; HOLLING, C.; JANSSON, A.; JANSSON, B.; MÄLER, K.; MARTIN, D.; PERRINGS, C.; SHESHINSKI, E. 1998. Resilience in natural and socioeconomic systems. *Environment and Development Economics* 3 (1998): 222-235.



- HOY, C. W.; MCCULLY, J. E.; LABORDE, J.; VARGAS, A.; BUJANOS, R.; RANGEL, E. 2007. The linkage between integrated pest management and agroecosystem management: a case study in the Bajío, México. *American Entomologist* 53: 174-183.
- HOY, C. W. 2015. Agroecosystem health, agroecosystem resilience; food security. *Journal of Environmental Studies and Sciences*. Published online September 23, 2015. DOI 10.1007/s13412-015-0322-0
- RAO, N.; ROGERS, P 2006. Assessment of agricultural sustainability. *CurrentScience* 91: 438-448
- SALAS, M. D.; SALAZAR, E. 1998. Parasitismo natural de lepidopteros plagas de brocoli en el Bajío, México. *Manejo integrado de Plagas (Costa Rica)*, 50: 1-8.
- VADREVU, K.; CARDINA, J.; HITZHUSEN, F.; BAYOH, I.; MOORE, R.; PARKER, J.; STINNER, B.; STINNER, D.; HOY, C. 2008. Case study of an integrated framework for quantifying agroecosystem health. *Ecosystems* 11: 283-306.

## Hacia un manejo integrado del complejo PYVV-mosca blanca en cultivos de papa en Colombia

Diego F. Rincón<sup>1</sup>, H. Fernando Rivera<sup>1</sup>, Carlos E. Beltrán<sup>2</sup>, Anggie K. Hernández<sup>1</sup> y Diana M. Torres<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). Centro de investigación Titaitatá. Km 14 vía Bogotá-Mosquera, Mosquera (Cundinamarca) 250047, Colombia

<sup>2</sup>Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Facultad de Ciencias Agrarias, Carrera 30 No. 45-03, Edificio 500, Bogotá D.C. 111321, Colombia

---

**Resumen.** La enfermedad del amarillamiento de las venas de la papa (PYVD) se observó por primera vez en Colombia en 1943, desde donde se ha dispersado a Venezuela, Ecuador, y Perú. Aunque la plena identificación del virus causal (PYVV) no fue posible sino hasta principios del siglo XXI, desde 1970 se sabe que su dispersión se da por adultos de la mosca blanca de los invernaderos (MBI), *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Hemiptera: Aleyrodidae), y a través de tubérculos-semilla infectados. La epidemia de PYVD se ha caracterizado por la reemergencia esporádica y generalizada de brotes asociados a incrementos en las poblaciones de MBI, en los que se reportan reducciones en rendimiento de 25-50 %. El 4 de Diciembre de 2014 el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) declaró la Emergencia Fitosanitaria en Colombia para el complejo PYVV- moscablanca, en la que Corpoica fue encargado de adelantar investigación básica y aplicada pertinente para atender la epidemia. Desde entonces, se han llevado a cabo una variedad de estudios a diferentes escalas espaciales con el fin de comprender la dinámica de la enfermedad y de su vector. Esta revisión compila el conocimiento recolectado antes y después de la declaración de Emergencia Fitosanitaria del ICA relevante para el desarrollo de un programa nacional de manejo integrado del complejo PYVV-MBI. Se señalan los vacíos de información que deben ser abordados para este fin, y se hace énfasis en la exploración de las causas últimas de la reemergencia de la enfermedad y en las posibles medidas de prevención y control.

**Palabras clave.** Manejo Integrado de Plagas. Moscablanca de los invernaderos. Virus del amarillamiento de las venas de la papa. *Trialeurodes vaporariorum*.

**Abstract.** The Potato Yellow Vein Disease (PYVD) was first observed in Colombia by 1943, from where it has been dispersed to Venezuela, Ecuador; Peru. Although the full identification of the causal virus (PYVV) was not possible until early XXI century, it is known since 1970 that PYVV dispersion is fostered by both adults of the greenhouse whitefly (GWF), *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Hemiptera: Aleyrodidae); infected seed-tubers. The PYVD epidemic has been described as re-emergent, sporadic and widespread outbreaks associated with unusually high GWF population sizes, which cause potato yield reductions of 25-50 %. On December 4<sup>th</sup>, 2014, the Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) issued a Phytosanitary Emergency in Colombia due to a high incidence of the PYVV-GWF complex, in which Corpoica was designated as the institution in charge of carrying out the basic and applied research necessary to deal with the PYVD epidemic. Since then, a variety of studies at different spatial scales have been performed in order to understand the dynamics of the virus and its insect vector. This review gathers the knowledge that has been acquired before and after the Phytosanitary Emergency issued by ICA relevant to the

development of a country-wide integrated PYVV-GWF management program. We highlight the knowledge gaps which might have to be approached to this end; focus on the search of the ultimate causes for the re-emergence of the disease; on the potential prevention and control measures.

**Key words.** Integrated Pest Management. Greenhouse whitefly. Potato Yellow Vein Virus. *Trialeurodes vaporariorum*.

## Introducción

El concepto moderno de Manejo Integrado de Plagas incluye el manejo de cualquier tipo de animal plaga, así como de enfermedades y malezas que afectan cultivos agrícolas (Gray *et al.* 2008). Las interacciones de las poblaciones plaga (en el sentido amplio, incluyendo insectos, enfermedades y malezas) con el agroecosistema son complejas y, con frecuencia, varias plagas tienen que manejarse simultáneamente en un mismo cultivo. Sin embargo, el esfuerzo por maximizar los rendimientos y la rentabilidad usualmente conlleva a simplificar los problemas fitosanitarios al control de plagas individuales, ignorando la compleja matriz de interacciones entre estas y con el ambiente. Los sistemas compuestos por virus fitopatógenos, sus vectores, y hospederos vegetales alternos, constituyen un ejemplo de la necesidad de comprender las interacciones entre las especies que componen el sistema para diseñar las estrategias de manejo más adecuadas.

La enfermedad del amarillamiento de las venas de la papa (PYVD), cuyo agente causal es el virus conocido como PYVV, fue reportada por primera vez en Colombia en 1943 (Salazar *et al.* 2000). Los síntomas son descritos como amarillamiento de las venas con espacios inter-venales verdes, asociado con reducción de capacidad fotosintética, vigor, y senescencia temprana (Salazar *et al.* 2000, Chavez *et al.* 2009). Las plantas infectadas producen tubérculos más pequeños y en menor cantidad que plantas sanas, reduciendo el rendimiento en un 25-50 % (Tzanetakakis *et al.* 2013). El PYVV ha permanecido por más de seis décadas como una epidemia re-emergente, esporádica, local y sin mayores efectos sobre la producción regional de papa (Salazar *et al.* 2000). Sin embargo, durante los últimos 20 años, los brotes re-emergentes han afectado regiones enteras en Venezuela, Colombia, y Ecuador, y se ha observado un avance significativo de la epidemia hacia el sur del continente, al punto que recientemente se reportó la presencia del virus en el centro del Perú (CIP, datos no publicados). En 2014, el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) decretó la Emergencia Fitosanitaria en Cundinamarca, Boyacá, Nariño, y Antioquia a causa del incremento significativo de la incidencia del PYVV y las poblaciones de su vector, y de las pérdidas en rendimiento asociadas (ICA 2014).

Las razones del incremento en la tasa de dispersión del PYVV no se conocen, pero se cree que el clima cambiante y el incremento de la temperatura en las zonas donde se produce la papa han favorecido el contagio y la prevalencia del virus. El PYVV es transmitido horizontalmente por adultos de la moscablanca de los invernaderos (MBI), *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Hemiptera: Aleyrodidae), y verticalmente por tubérculos-semilla infectados. La asociación entre la epidemia de PYVV y el incremento en las poblaciones de la MBI ha favorecido la hipótesis de que la MBI es la causa principal de la re-emergencia del virus. Se cree que el aumento en la

temperatura promedio de las zonas de producción de papa ha beneficiado la sobrevivencia y reproducción de la MBI en zonas en las que su distribución solía ser restringida. En consecuencia, la mayor parte de los recursos y esfuerzos para controlar y prevenir la epidemia de PYVV se han concentrado en el control de las poblaciones de la MBI (Tzanetakis *et al.* 2013; ICA 2014). Sin embargo, las causas últimas del incremento en la incidencia y tasa de dispersión del PYVV no son del todo claras. Por un lado, la MBI no es una plaga común del cultivo de la papa, y la planta de papa no es uno de sus hospederos preferidos (DAFWA 2014; CIP 2016; UC-IPM 2016). Además, la MBI es descrita como una especie de bajas tasas de migración y de reducida movilidad entre cultivos (van Roermund *et al.* 1997; Brown y Czosnek 2002). La comprensión de las interacciones entre la MBI, el PYVV y el ambiente es fundamental para el desarrollo de un programa nacional de Manejo Integrado de PYVV, especialmente para determinar contribución del vector y del movimiento de semilla infectada en la epidemia.

La presente revisión tiene por objeto presentar el conocimiento relacionado con la ecología de la epidemia del complejo PYVV-MBI, relevante para el desarrollo de un programa nacional de manejo integrado para el virus y su vector. Se presenta un breve resumen de los antecedentes de la investigación acerca del complejo, y se hace énfasis en los enfoques de la investigación que se encuentra en curso en Colombia para atender la epidemia. Se presentan algunos resultados preliminares y otros finales acerca de la investigación que se ha llevado a cabo en Corpoica, luego de la declaratoria de Emergencia Fitosanitaria del ICA en 2014. Nuestra revisión evidencia que la investigación acerca del complejo PYVV-MBI se ha centrado, con algunas excepciones, en la descripción de las pérdidas ocasionadas por la enfermedad, y en el desarrollo de métodos de detección, y de variabilidad genética del virus. Estudios de transmisión, comportamiento del vector, y de epidemiología del virus son más escasos. Se presentan algunos datos preliminares que indican que los factores que controlan la epidemia de PYVV son dependientes de la escala de observación. Estos resultados, aunque preliminares, indican que las políticas para la prevención y el control de la epidemia de PYVV deben considerar la escala de la intervención, y que estudios relacionados con el comportamiento del vector pueden ayudar a generar metodologías para informar decisiones de control a nivel nacional y local.

### **Antecedentes**

Cuando la enfermedad PYVD empezó a considerarse como un problema para el cultivo de la papa en las décadas de los años 70s y 80s, la mayor parte de los estudios se enfocaron en establecer las pérdidas en el rendimiento en papas de año (*Solanum tuberosum* Grupo Andígena) (Vega 1970; Perez y Estrada 1987; Saldarriaga *et al.* 1988). En todos los estudios se reportó reducciones en el rendimiento de alrededor del 50 % en lotes donde todas las plantas estuvieron infectadas (Salazar *et al.* 2000). Recientemente, Guzman-Barney *et al.* (2012) reportaron pérdidas de entre el 33 % y 48 % en el rendimiento de papa criolla, *S. phureja*.

En la última década, la mayor parte de las investigaciones se han centrado en aspectos relacionados con la biología molecular del virus. Un importante foco de atención es el desarrollo de metodologías de detección en tejidos vegetales y del insecto vector. López *et al.* (2006) reportan el uso de la transcripción reversa en la reacción en cadena de la polimerasa (RT-PCR) convencional y la RT-PCR en tiempo real para la detección del virus en material vegetal (hojas).

Más tarde, Hernandez y Guzman (2014) realizaron la detección del virus en diferentes órganos de la planta en *S. phureja* a través de las técnicas de RT-PCR y RT-PCR en tiempo real, y determinaron que las plantas sintomáticas presentan una mayor carga viral que las asintomáticas, y que las partículas virales se concentran en los órganos de la zona aérea. De otro lado, Barragan y Guzmán (2014) detectan por primera vez el PYVV en adultos de MBI infectados y Guzman-Barney *et al.* (2013) desarrollan el método de inmunopresión en el cual se detecta el virus en plantas a través del uso de un anticuerpo específico anti-PYVV.

Las investigaciones de la variabilidad genética del PYVV han utilizado principalmente genes que codifican para proteínas de la cápside (CP) como fuente de variación, a partir de extractos de *S. tuberosum* y *S. phureja*. Algunos estudios usaron genes individuales de la CP (Guzman *et al.* 2006, Chaves-Bedoya *et al.* 2013), y otros analizaron en simultáneo los genes de la CP, de la proteína menor de la cápside (CPm), y de la proteína de choque térmico (Hsp70) (Chaves-Bedoya *et al.* 2014; Cubillos y Guzmán 2015). En general, estos estudios concuerdan en que PYVV cuenta con una relativamente baja variabilidad genética.

Otros aportes importantes en las investigaciones en PYVV, son la evaluación de la susceptibilidad de genotipos de papa y la determinación de la prevalencia del PYVV en diferentes zonas de Colombia. Guzman y Rodriguez (2010) evaluaron la susceptibilidad en 62 accesiones de papa criolla (*S. phureja*) ante la infección con el PYVV. En 38 accesiones se observaron síntomas típicos del virus, trece accesiones asintomáticas presentaron el virus en estado de latencia con resultados positivos de RT-PCR y en doce accesiones asintomáticas no se detectó el PYVV durante dos ciclos de tuberización y germinación. Estos genotipos permanecen por ser estudiados en mayor profundidad para determinar su potencial como fuente de resistencia en campo a PYVV.

El avance significativo reciente más tiene que ver con la secuenciación del genoma de PYVV. Álvarez *et al.* (2017) utilizaron la secuenciación de nueva generación (NGS) para codificar en genoma de un aislamiento de PYVV proveniente de tejidos de *S. phureja*. Los autores también presentan un diseño de tres pares de cebadores para la detección del virus mediante RT-PCR convencional y RT-PCR en tiempo real.

### **Asociación entre el vector y el virus a escala regional**

El PYVV es clasificado como un *Crinivirus*, un género que incluye los virus transmitidos por especies de moscablanca (*Trialeurodes* spp. y *Bemisia* spp.) de la familia Closteroviridae (Wisler *et al.* 1998, Salazar *et al.* 2000). Los *Crinivirus* son considerados un problema emergente en la agricultura a nivel global, y con frecuencia sus epidemias re-emergentes aparecen seguidas de un incremento en las poblaciones de moscablanca (Tzanetakis *et al.* 2013). En consecuencia, la MBI ha sido considerada como la principal causa de la re-emergencia del PYVV en Colombia (ICA 2014). Sin embargo, no se cuenta con evidencias que sustenten potenciales causas y mecanismos que conlleven a la re-emergencia de PYVV a escala regional. Con el fin de identificar las zonas geográficas en las que la epidemia de PYVV está concentrada, así como las regiones de producción de papa afectadas por la MBI en Colombia, Corpoica llevó a cabo un muestreo que incluyó 569 fincas ubicadas en los nueve departamentos de mayor producción de papa. Las fincas fueron seleccionadas usando un muestreo aleatorio estratificado, por departamento y por municipio.

Usando técnicas novedosas de epidemiología espacial, en conjunto con el uso de metodologías de sistemas de información geográfica, se determinó la asociación entre la presencia de la MBI y la distribución espacial de PYVV para establecer la contribución del vector en la epidemia de PYVV a escala regional (Cuadros *et al.*; *en revisión*).

Del total de 569 fincas incluidas en el muestreo, el PYVV fue registrado en 250 (43.9 %) fincas, mientras que la MBI en 131 (23.1 %) fincas. A nivel nacional, la presencia simultánea de PYVV y de MBI sólo se registró en 98 (17.2 %) fincas. Antioquia fue el departamento más severamente afectado por la epidemia de PYVV y por poblaciones de MBI. La mayor parte de las fincas en las que se reportó la coocurrencia del virus y del vector provinieron de Antioquia (71.4 %).

Utilizando una técnica estadística de escaneo espacial (Kulldorff *et al.* 2006), se identificaron dos zonas con una alta concentración de fincas con MBI, y tres zonas con una alta concentración de fincas con PYVV. Se encontró que las fincas afectadas tanto con PYVV como con MBI tienen una distribución espacial altamente agregada. Pese a que las tres zonas de concentración de PYVV sólo contuvieron el 26.1 % de las fincas incluidas en el estudio, la mayoría de las fincas en las que se encontró PYVV (52.0 %) estuvieron localizadas en estas tres zonas. De manera similar, las dos zonas de concentración de fincas afectadas por la MBI contuvieron sólo el 9.4 % de las fincas incluidas en el estudio, pero representaron el 36.7 % del total de fincas donde se reportó la presencia de MBI.

Sólo se encontraron dos solapamientos entre zonas de concentración de PYY y de MBI. La primera se localizó en Antioquia, en donde la incidencia de PYVV y MBI fue la más alta entre los nueve departamentos muestreados. En esta zona de solapamiento confluyeron zonas de concentración de PYVV y MBI con un elevado número de fincas con PYVV (88.4 %) y con MBI (87.1 %). El segundo solapamiento entre zonas de concentración de PYVV y MBI se detectó en Nariño, en la que una zona pequeña de concentración de fincas con MBI estuvo contenida dentro de una mucho más grande de PYVV.

Al realizar un análisis de regresión lineal simple, se encontró una asociación negativa significativa entre la altitud y el porcentaje de fincas tanto con PYVV ( $P < 0.01$ ) como con MBI ( $P < 0.01$ ). Sin embargo, el porcentaje de fincas con MBI decreció significativamente más rápido con el incremento de la altitud que lo que lo hizo el porcentaje de fincas con PYVV ( $P = 0.01$ ). Más de 50 % de las fincas localizadas por debajo de los 3000msnm estuvieron afectadas por PYVV y MBI. Sin embargo, la MBI se encontró en menos del 6 % de las fincas localizadas por encima de los 3000msnm, mientras que el PYVV persistió por encima de esa altitud con un 31 % de fincas afectadas.

Se encontró que las fincas con MBI localizadas por debajo de los 3000msnm tienen 2.6 veces más chances de estar infectadas con PYVV que las fincas localizadas en el mismo rango de altitud sin la presencia de MBI ( $P < 0.005$ ). Sin embargo, por encima de los 3000msnm, la presencia de MBI no influyó significativamente la probabilidad de infección por PYVV ( $P = 0.24$ ). Además, al calcular la proporción de fincas con PYVV a las que se les puede atribuir la infección a la presencia de MBI (índice PAF) (Rockhill *et al.* 1998), se encontró que, a escala regional, tan sólo el

27 % de estos casos pueden ser atribuidos a la presencia de la MBI. Estos resultados sugieren que el movimiento de tubérculos-semilla puede ser el mecanismo principal de dispersión de virus a escala regional.

### **Interacción virus-vector**

El PYVV es transmitido de manera semipersistente por la MBI (Salazar *et al.* 2000), pero conoce muy poco sobre los mecanismos de transmisión de PYVV y de su interacción con el vector. En la actualidad se llevan a cabo estudios en Corpoica para determinar los tiempos de adquisición, inoculación y retención del virus en el vector. A continuación, se describen algunos de los resultados.

Eficiencia de transmisión: Se liberaron grupos de 1, 5, 10 y 30 adultos virulíferos y en unidades experimentales conformadas por una planta libre de virus confinada en una jaula entomológica. De las cuatro densidades evaluadas, solo se logró transmitir el virus cuando se utilizó más de 10 adultos por planta, con un 3.3 % ( $\pm 3.3$ ) de las plantas infectadas. El porcentaje de plantas aumentó con el incremento del número de adultos, obteniéndose la mayor eficiencia de transmisión cuando se evaluó el mayor número de individuos (30 adultos), con 30 % ( $\pm 5.8$ ) de las plantas infectadas. Estos resultados preliminares se ajustan a lo hallado previamente para otros crinivirus en donde la eficiencia de transmisión es dependiente de la densidad de vector (Duffus *et al.* 1996; Wintermantel 2010; Li *et al.* 2016). Estos resultados sugieren que posiblemente se requieren altas poblaciones de MBI para causar una epidemia local de PYVV.

Periodo de inoculación: Para determinar el mínimo periodo de inoculación se recolectaron grupos de 30 adultos de MBI virulíferos con 3 días de periodo de adquisición, fueron liberados en las jaulas entomológicas con las plantas receptoras libres de virus. Se permitió que los adultos de MBI se alimentaran de plantas libres de virus durante diferentes periodos de inoculación: 1h, 3h, 6h, 12h, 24h y 48h. Al finalizar cada periodo, las plantas fueron tratadas con imidacloprid.

Se encontró que el virus necesita de periodos de inoculación superiores a 12h para su transmisión efectiva. Sin embargo, la eficiencia de transmisión fue de sólo un 6.7 % ( $\pm 3.3$ ) con 24h de inoculación, mientras que alcanzó un 20 % cuando los adultos de MBI estuvieron en contacto con una planta libre de virus por 48h. La transmisión mediada por vectores de los Crinivirus tiende a ser ineficiente debido a que éstos normalmente presentan bajas cargas virales, su distribución dentro de la planta es heterogénea, y están limitados al floema (Wisler *et al.* 1998). Con frecuencia, en las asociaciones virus-vector semipersistentes, como PYVV-MBI, se requieren periodos prolongados de alimentación por parte del vector para poder adquirir la concentración de partículas virales necesaria para transmitir la enfermedad a nuevas plantas (Whitfield *et al.* 2015).

### **Epidemia de PYVV a escala local**

Pese al bajo porcentaje de casos de infección de PYVV entre cultivos a escala regional atribuibles a la presencia de la MBI, y a la aparente baja eficiencia de transmisión planta-vector-planta, es indudable que la MBI debe jugar un papel en la epidemia de PYVV, al menos a escala local (dentro de cultivos y entre cultivos cercanos). Por ejemplo, en el análisis de la asociación entre PYVV y MBI



a escala regional, se encontró que los cultivos que estaban infestados por la MBI tienen 2.6 veces más chances de estar infectados por PYVV, que cultivos que no están infestados por el vector. Esta asociación sólo se encontró para cultivos localizados por debajo de los 3000msnm, el cual es el límite altitudinal superior reportado para la MBI (Quintero *et al.* 2001). Teniendo en cuenta el papel que puede cumplir la MBI como dispersor local de PYVV, se llevó a cabo un experimento para establecer la relación entre la velocidad de la dispersión del PYVV entre plantas y el tamaño de las poblaciones de la MBI en condiciones de campo.

Se establecieron dos parcelas experimentales por debajo de los 3000 msnm. Cada parcela estuvo compuesta por dos cultivos de papa criolla cada uno de aproximadamente 1200 m<sup>2</sup>. Uno de los cultivos fue sembrado con tubérculos-semilla provenientes de cultivos con síntomas evidentes de PYVD. El otro cultivo fue sembrado con tubérculos-semilla certificados libres de PYVV. En cada cultivo, se estableció una cuadrícula uniforme de 24 cuadrantes. Se determinó la proporción de plantas con síntomas de PYVD en cada cuadrante en tres momentos del cultivo: 45 dds (inicio periodo vegetativo), 60 dds (floración) y 75 dds (llenado de tubérculos). Además, se estimó el número de adultos de MBI por planta en cada cuadrante en seis momentos del cultivo: 45, 53, 60, 68 y 75 dds. A continuación, se presentan algunos resultados preliminares.

En los cultivos sembrados con semilla proveniente de cultivos infectados, se observó entre un 28 y 34 % de plantas con síntomas de PYVV durante el periodo vegetativo. Este porcentaje incrementó muy ligeramente a lo largo del ciclo (hasta un 6 % más), a pesar de que en algunos cultivos infectados con PYVV se contabilizaron hasta 1134 adultos de MBI a los 45 dds. Sin embargo, la epidemia de PYVV creció considerablemente más rápido en los cultivos sembrados //con semilla libre de PYVV, siempre que presentaron poblaciones altas de MBI. Por ejemplo, en uno de los cultivos que iniciaron con semilla libre de PYVV se contabilizaron 1283 adultos de la MBI durante la etapa vegetativa del cultivo, aunque los conteos fueron disminuyendo conforme iba avanzando el ciclo. En este cultivo, se observó que la epidemia de PYVV se incrementó de manera sostenida a una tasa promedio de 11.4 plantas infectadas por día. En contraste, en otro cultivo sembrado con semilla libre de PYVV se contabilizaron sólo 173 adultos de la MBI durante el periodo vegetativo de cultivo, y estos conteos fueron decreciendo conforme avanzó el ciclo de cultivo. En este cultivo, se observó que la epidemia de PYVV incrementó a una tasa muy inferior con respecto al cultivo en el que se reportaron densidades altas de MBI, con sólo 0.66 plantas infectadas por día.

A pesar de la aparente relación entre las abundancias de MBI y la intensidad de la epidemia de PYVV dentro de los cultivos evaluados, no encontramos una asociación espacial entre las plantas con síntomas y los conteos del vector. En ambos cultivos, la infestación de MBI y la intensidad de la epidemia de PYVV fueron más severas hacia los bordes. Este resultado puede indicar que las infestaciones de MBI que migran hacia los cultivos pueden ser una fuente de infección del virus. Sin embargo, los cuadrantes en donde se reportó una mayor cantidad de MBI no necesariamente correspondieron con aquellos en donde se observó una mayor cantidad de plantas con síntomas de PYVV. Pese a que este es un resultado preliminar, la carencia de asociación espacial entre las poblaciones de MBI y las plantas infectadas con PYVV puede explicarse por un posible cambio en comportamiento del vector cuando éste adquiere el virus. La MBI es reconocida por su baja movilidad entre plantas (van Roermund *et al.* 1997). Si la



adquisición del virus genera un incremento en la movilidad entre plantas del vector, grupos pequeños de adultos virulíferos (en relación una mayoría de adultos no virulíferos) podrían infectar una gran cantidad de plantas y, en consecuencia, la asociación espacial entre vector y plantas infectadas no estaría garantizada.

### Umbral de daño económico

Un componente fundamental para el desarrollo de programas de Manejo Integrado de Plagas es la relación cuantitativa entre el daño ejercido por la plaga y el rendimiento del cultivo (Pedigo *et al.* 1986). Esta relación es el insumo principal para la estimación de umbrales de daño y económicos, y se fundamenta en la respuesta biológica de la planta al daño producido un insecto en particular (Binns *et al.* 2000). Se considera que PYVV puede ocasionar una disminución en el rendimiento de hasta el 50 % en cultivos de papa (Saldarriaga *et al.* 1988; Salazar *et al.* 2000; Guzman-Barney *et al.* 2012). Sin embargo, a la fecha no se ha llevado a cabo una descripción cuantitativa del rendimiento del cultivo en función de la incidencia del complejo PYVV-MBI. Esto ha imposibilitado el cálculo de umbrales de daño y de acción. Además, tampoco existen a la fecha estudios que exploren el efecto del daño producido por la MBI, cuando el PYVV no está presente.

Con el fin de describir cuantitativamente el daño producido por el complejo PYVV-MBI en función de la incidencia del virus, se llevó a cabo un experimento de campo en el que se registró la incidencia de PYVV y el rendimiento por planta en cultivos de papa criolla divididos en cuadrantes. Cada cultivo tuvo un área de aproximadamente 1200 m<sup>2</sup>, y estuvieron separados uno del otro por 3m. Uno de los cultivos fue sembrado con tubérculos-semilla provenientes de cultivos con síntomas evidentes de PYVD. El otro cultivo fue sembrado con tubérculos-semilla certificados libres de PYVV. En cada cultivo, se estableció una cuadrícula uniforme de 24 cuadrantes. Se determinó la proporción de plantas con síntomas de PYVD en cada cuadrante al final de ciclo y el respectivo rendimiento expresado en Kg de papa por planta. Para cuantificar la relación entre la intensidad de PYVD (medida en proporción de plantas con síntomas) y el rendimiento del cultivo, se ajustó un modelo exponencial negativo usando el rendimiento por cuadrante como variable respuesta y la intensidad de PYVV como variable explicativa.

El rendimiento observado estuvo entre 1.32 y 0.42 Kg/planta. Se encontró que el incremento en proporción de plantas con síntomas de PYVV redujo significativamente el rendimiento por planta. Además, el modelo exponencial negativo resultó ser el más adecuado para describir el rendimiento en función de la intensidad de PYVV ( $\Delta AIC = 1.151$ ), así:

$$y = 1.113 \exp(-1.064x), \quad (\text{Eq. 1})$$

donde  $y$  denota el rendimiento en Kg/planta, y  $x$  la incidencia de la enfermedad expresada en términos de proporción de plantas con síntomas observables de PYVV. De acuerdo con el modelo, el rendimiento potencial (sin PYVV) es de 1.113 ( $\pm 0.104$ ) kg/planta, y la reducción en rendimiento por unidad de enfermedad fue de 1.064 ( $\pm 0.235$ ) Kg por planta con síntomas.

El Umbral de Daño Económico (UDE) para el control del vector expresado en términos del número de plantas con síntomas observables de PYVV puede ser calculado resolviendo la Eq. 1 para  $x$ . Asumiendo que el control es dirigido al vector (para evitar el incremento en el número de plantas infectadas), y que su costo es de aproximadamente CO\$600.000, el UDE puede ser calculado en

función del precio de la papa. De acuerdo con los precios de la papa en 2016 reportados por la central de abastos de Bogotá, el UDE para la aplicación de un control para la MBI puede variar de 14 a 60 plantas sintomáticas por ha a lo largo de un año.

Para establecer si el daño directo (sin PYVV) ocasionado la MBI ejerce o no un efecto sobre el rendimiento del cultivo, se estableció un experimento de bloques completos al azar con cuatro tratamientos. En una casa de malla, se establecieron las unidades experimentales que consistieron en cultivos de papa de 4x4m con 36 plantas distribuidas en 9 surcos. El riego fue proveído a cada planta a través de un sistema por goteo, para evitar mortalidad de los insectos plaga a causa de las gotas de la lluvia o la aspersión. Se liberaron tres densidades diferentes de adultos de MBI a los 56 dds, así:  $526.80 \pm 7.23$  (~14 adultos por planta, infestación baja),  $866.40 \pm 42.44$  (~24 adultos por planta, infestación media), y  $2702.20 \pm 22.41$  (~75 adultos por planta, infestación alta). El cuarto tratamiento correspondió al control absoluto, en el que no se liberaron adultos de MBI. Se contabilizó en número de ninfas en cada uno de los surcos de las unidades experimentales en tres momentos después de la liberación de los adultos de MBI. Al finalizar el ciclo del cultivo se determinó el rendimiento en Kg de papa por surco y por unidad experimental.

El ANAVA no evidenció diferencias significativas entre los niveles de infestación evaluados ( $P = 0.081$ ,  $n = 5$ ). Esto indica que la extracción de fluidos vegetales por parte de adultos de MBI no tiene un efecto significativo sobre el rendimiento de las plantas de papa, al menos en las densidades del insecto evaluadas. De manera similar, no se encontró un efecto significativo del daño directo producido por las ninfas que aparecieron producto de la reproducción de los adultos liberados sobre el rendimiento del cultivo de papa. La pendiente de la recta que describe la relación entre el número de ninfas y el rendimiento por surco no es significativamente diferente de cero ( $P = 0.223$ ,  $n = 80$ ). Estos resultados evidencian que infestaciones de MBI no producen un daño suficiente para causar una reducción apreciable en el rendimiento del cultivo. Más aún, a pesar de las altas densidades de adultos y ninfas a las que estuvieron expuestas las plantas de nuestro experimento, no se observaron plantas muertas, con necrosis o con fumagina.

### **Conclusiones y consideraciones finales**

Pese a que muchos de los datos y las evidencias presentadas en esta revisión son preliminares, analizados en conjunto contribuyen a la comprensión de la dinámica del complejo PYVV-MBI a diferentes escalas. En primer lugar, se presenta evidencia que sugiere que el movimiento de tubérculos-semilla puede ser el mecanismo principal de dispersión del PYVV a escala regional. En consecuencia, el diseño de políticas enfocadas en el mejoramiento y la certificación de los tubérculos usados para semilla y de su apropiada distribución puede ser el método de control más eficiente para la epidemia de PYVV a escala regional. En segundo lugar, se encontró que a escala local de cultivo y entre cultivos cercanos, las poblaciones de la MBI pueden jugar un papel determinante en la dispersión de la enfermedad. Sin embargo, el tamaño de población crítico para que la epidemia de PYVV ocurra permanece por ser establecido. Finalmente, se pudo establecer que el UDE para el PYVV en papa puede variar de 14 a 60 plantas sintomáticas por ha, y que el daño directo infringido por la MBI no tiene un efecto significativo sobre el rendimiento del cultivo. Sin embargo, el UDE desarrollado debe ser aplicado con precaución debido a que los síntomas de PYVV pueden tardar hasta 20 días en ser evidentes después de la inoculación.

Futuros estudios deben ser enfocados en nuevas preguntas sobre la ecología y el comportamiento de la MBI como vector de PYVV, considerando las dinámicas del complejo a escalas espaciales y temporales superiores a las del cultivo. Esta información y su incorporación en modelos epidemiológicos a escala municipal podrían complementar los avances aquí descritos, y servir como insumo para el desarrollo de herramientas para la detección de zonas de riesgo y la definición de las estrategias de control más eficaces.

### Agradecimientos

A Olga Pérez, por proveer información clave para la conformación del manuscrito. A Diego Rojas, Diego Vásquez y John Martínez, por la ayuda en la recolección de datos. Los resultados presentados hacen parte del proyecto “Recomendaciones técnicas para el manejo integrado de los problemas fitosanitarios: *Globodera pallida*, Síndrome X y virus PYVV y sus posibles vectores en papa”, financiado por Corpoica con recursos provenientes del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia

### Referencias

- ÁLVAREZ, D.; P. GUTIÉRREZ M.; MARÍN. 2017. Secuenciación del genoma del Potato yellow vein virus (PYVV) y desarrollo de una prueba molecular para su detección. *Bioagro* 29: 3-14.
- BARRAGAN, C.; M. GUZMÁN. 2014. Molecular detection of Potato yellow vein virus in the natural whitefly vector *Trialeurodes vaporariorum*, Westwood. *Revista Protección Vegetal* 29: 168-176.
- BINNS, M. R.; J. P. NYROP; W. V. D. WERF. 2000. Sampling and monitoring in crop protection : the theoretical basis for developing practical decision guides, CABI Pub.; Wallingford, Oxon, UK; New York, N.Y.
- BROWN, J. K.; H. CZOSNEK. 2002. Whitefly transmission of plant viruses. *Advances in Botanical Research* 36: 65-100.
- CIP. INTERNATIONAL POTATO CENTER. 2016. Tomada de <http://cipotato.org/potato/pests-diseases/>. Consultada 14 de Diciembre, 2016.
- CUBILLOS, K. A.; M. GUZMÁN. 2015. Variabilidad molecular de tres genes del virus del amarillamiento de las venas de la hoja de la papa que infecta *Solanum tuberosum*, mediante la técnica de polimorfismo conformacional de cadena sencilla. *Acta Biológica Colombiana* 20: 233-237.
- CHAVES-BEDOYA, G.; M. GUZMÁN-BARNEY; L. ORTÍZ-ROJAS. 2013. Genetic heterogeneity and evidence of putative Darwinian diversifying selection in Potato yellow vein virus (PYVV). *Agronomía Colombiana* 31: 161-168.
- CHAVES-BEDOYA, G.; K. CUBILLOS; M. GUZMÁN-BARNEY. 2014. First report of recombination in Potato yellow vein virus (PYVV) in Colombia. *Tropical Plant Pathology* 39: 234-241.
- CHAVEZ, P.; P. ZOROGASTUA, C. CHUQUILLANQUI, L. F. SALAZAR, V. MARES; R. QUIROZ. 2009. Assessing Potato Yellow Vein Virus (PYVV) infection using remotely sensed data. *International Journal of Pest Management* 55: 251-256.

- DEPARTMENT OF AGRICULTURE AND FOOD, WESTERN AUSTRALIA. 2014. Tomada de <https://www.agric.wa.gov.au/cabbage/whitefly-potato-and-cabbage-pest-indonesia-and-western-australia>. Consultada 14 de Diciembre, 2016.
- DUFFUS, J. E.; R. C. LARSEN; H. Y. LIU. 1996. Lettuce infectious yellows virus: a new type of whitefly-transmitted virus. *Phytopathology* 76: 97-100.
- GRAY, M. E.; S. T. RATCLIFFE, M. E. RICE, M. E. GRAY, S. T. RATCLIFFE; M. E. Rice. 2008. The IPM paradigm: concepts, strategies and tactics Integrated Pest Management, Integrated Pest Management: Concepts, Tactics, Strategies and Case Studies. Cambridge University Press.
- GUZMAN-BARNEY, M.; A. K. HERNANDEZ; L. FRANCO-LARA. 2013. Tracking Foliar Symptoms Caused by Tuber-Borne Potato Yellow Vein Virus (PYVV) in *Solanum phureja* (Juz et Buk) Cultivar "Criolla Colombia". *American Journal of Potato Research* 90: 284-293.
- GUZMAN-BARNEY, M.; L. FRANCO-LARA, D. RODRIGUEZ, L. VARGAS; J. E. FIERRO. 2012. Yield Losses in *Solanum tuberosum* Group Phureja Cultivar Criolla Colombia in Plants with Symptoms of PYVV in Field Trials. *American Journal of Potato Research* 89: 438-447.
- GUZMAN, M.; P. RODRIGUEZ. 2010. Susceptibility of *Solanum phureja* (Juz et Buk) to potato yellow vein virus. *Agronomía Colombiana* 28: 219-224.
- GUZMAN, M.; E. RUIZ, N. ARCINIEGAS; R. H. A. COUTTS. 2006. Occurrence and variability of Potato yellow vein virus in three departments of Colombia. *Journal of Phytopathology* 154: 748-750.
- HERNÁNDEZ, A.; M. GUZMAN. 2014. Detección del virus del amarillamiento de las nervaduras de la hoja de la papa en diferentes órganos de *Solanum tuberosum* grupo Phureja cv Criolla Colombia utilizando RTPCR convencional y en tiempo real. *Revista Colombiana de Biotecnología* 16: 74-85.
- ICA. 2014. Resolución 4213 de 2014, pp. 6pp. *In* I. C. Agropecuario ed.. Instituto Colombiano Agropecuario, Bogotá D.C.
- KULLDORFF, M.; C. SONG, D. GREGORIO, H. SAMOCIUK; L. DECHELLO. 2006. Cancer Map Patterns: Are They Random or Not? *American Journal of Preventive Medicine* 30: S37-S49.
- LI, J.; X. LIANG, X. WANG, Y. SHI, Q. GU, Y.-W. KUO, B. W. FALK; F. YAN. 2016. Direct evidence for the semipersistent transmission of Cucurbit chlorotic yellows virus by a whitefly vector. *Scientific Reports* 6: 36604.
- LÓPEZ, R.; C. ASENSIO, M. GUZMAN-BARNEY; N. BOONHAM. 2006. Development of real-time and conventional RT-PCR assays for the detection of potato yellow vein virus (PYVV). *Journal of Virological Methods* 136: 24-29.
- PEDIGO, L. P.; S. H. HUTCHINS; L. G. HIGLEY. 1986. Economic injury levels in theory and practice. *Annual Review of Entomology* 31: 341-368.
- PEREZ, O.; N. ESTRADA. 1987. Comportamiento de varios clones de papa al "Amarillamiento de Venas", pp. 9-13, XIII Reunión ALAP, Panamá.
- QUINTERO, C.; F. RENDÓN, J. GARCÍA, C. CARDONA, A. LÓPEZ-AVILA; P. HERNÁNDEZ. 2001. Especies y biotipos de moscas blancas (Homoptera: Aleyrodidae) en cultivos semestrales de Colombia y Ecuador. *Revista Colombiana de Entomología* 27: 27-31.
- ROCKHILL, B.; B. NEWMAN; C. WEINBERG. 1998. Use and misuse of population attributable fractions. *American Journal of Public Health* 88: 15-19.
- SALAZAR, L. F.; G. MULLER, M. QUERCI, J. L. ZAPATA; R. A. OWENS. 2000. Potato yellow vein virus: its host range, distribution in South America and identification as a crinivirus transmitted by *Trialeurodes vaporariorum*. *Annals of Applied Biology* 137: 7-19.

- SALDARRIAGA, A.; A. ALVAREZ; J. JARAMILLO. 1988. Efecto del amarillamiento de venas transmitido por *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) en papa. Revista Colombiana de Entomología 14: 3-8.
- TZANETAKIS, I. E.; R. R. MARTIN; W. M. WINTERMANTEL. 2013. Epidemiology of criniviruses: an emerging problem in world agriculture. Frontiers in Microbiology 4.
- University of California Agriculture and Natural Resources. Statewide Integrated Pest Management Program. 2016. Tomada de <http://ipm.ucanr.edu/PMG/r607300711.html>. Consultada 14 de Diciembre, 2016.
- VAN ROERMUND, H. J. W.; J. C. VAN LENTEREN; R. RABBINGE. 1997. Biological control of greenhouse whitefly with the parasitoid *Encarsia formosa* on tomato: An individual-based simulation approach. Biological Control 9: 25-47.
- VEGA, J. 1970. Transmisión, purificación y caracterización del agente causal del “amarillamiento de venas” en papa. Master, Universidad Nacional Bogotá D.C.; Colombia.
- WHITFIELD, A. E.; B. W. FALK; D. ROTENBERG. 2015. Insect vector-mediated transmission of plant viruses. Virology 479: 278-289.
- WINTERMANTEL, W. M. 2010. Transmission Efficiency and Epidemiology of Criniviruses, pp. 319-331. In P. A. Stansly and S. E. Naranjo (Eds.), Bemisia: Bionomics and Management of a Global Pest. Springer Netherlands, Dordrecht.
- WISLER, G. C.; J. E. DUFFUS, H. Y. LIU; R. H. LI. 1998. Ecology and Epidemiology of Whitefly-Transmitted Closteroviruses. Plant Disease 82: 270-280.

## Solución de problemas entomológicos integrando disciplinas

Luis A. Cañas

Department of Entomology, Ohio Agricultural Research and Development Center  
1680 Madison Ave.; Wooster, OH 44691, [canas.4@osu.edu](mailto:canas.4@osu.edu)

---

**Abstract.** Nowadays it is necessary to integrate disciplines to be able to provide answers to complex questions. Often this is necessary in order to optimize agricultural production systems. Because of our globalized economy, our agricultural systems will receive significant pressure to increase their productivity to respond to the demands of a growing world population. It is of upmost importance to develop research systems that are capable of producing relevant information and this can only be done with interdisciplinary research. The following document provides information about important aspects that need to be considered when developing interdisciplinary teams and projects. It is critical that these ideas are discussed at the early stages of project development so multiple disciplines can be called upon to respond to these complex questions.

**Key words.** Interdisciplinary research. Automation. Mathematical models. Biological control. Integrated pest management. Plant health.

**Resumen.** En la actualidad es necesario el integrar disciplinas para poder responder a las preguntas complejas que permiten la optimización de sistemas biológicos para la producción de alimentos, fibra y ornamentales. En esta era de globalización, habrá mucha más presión en la producción agrícola y para ello el desarrollo de investigación de punta deberá incluir varias disciplinas. El siguiente documento incluye información sobre aspectos a tomar en cuenta durante el desarrollo de estas ideas de investigación. Es importante que se discuta desde el inicio de los proyectos de investigación como los diferentes rubros pueden entrelazarse para poder responder preguntas complejas.

**Palabras clave.** Investigación inter-disciplinaria. Automatización. Modelos matemáticos. Control biológico. Manejo integrado de plantas. Salud de planta.

### Introducción

En este documento el autor presenta información sobre la necesidad de integrar disciplinas para responder preguntas biológicas complejas. El autor hará énfasis en 4 aspectos importantes incluyendo: a) El futuro del manejo integrado de plagas en el contexto del manejo de salud de planta, b) La integración de disciplinas para resolver problemas complejos – la automatización de actividades agrícolas, c) Ejemplos de integración, uso de las matemáticas y modelos para responder preguntas aplicadas, d) Como podemos estimular la integración – investigaciones conjuntas. Esta información será de utilidad para establecer una conversación sobre el futuro de las investigaciones entomológicas en Latino América y otros países.



## El futuro del manejo integrado de plagas (MIP) en el contexto del manejo de salud de planta (MSP)

El futuro del manejo integrado de plagas debe de entenderse dentro del contexto del manejo de salud de plantas. En los últimos años muchas de las investigaciones han demostrado que la selección de las prácticas de control de insectos deben siempre tener en cuenta todas las prácticas que impactan el crecimiento saludable de las plantas. Para ello es importante el integrar investigaciones que no solo documenten el funcionamiento adecuado de una práctica de control, sino como esta práctica puede ser impactada por el riego y por la fertilización de las plantas, por ejemplo.

En la actualidad ha sido necesaria la creación de programas aplicados donde se entrene profesionales en temas sobre el manejo de salud de plantas. Estos programas ya son disponibles en Estados Unidos en las universidades de Ohio State (Figura 1; <http://mphm.osu.edu>), Nebraska, Georgia y Florida. Estos programas fueron creados para responder a las necesidades de entrenamiento aplicado de las industrias de producción de alimentos y ornamentales. Estas industrias reportaron la necesidad de personal capacitado para llenar las posiciones de trabajo que estarían disponibles en los siguientes 5 a 15 años. Estas posiciones requerirían de personal que esté entrenado no sólo en varias disciplinas como entomología, patología de plantas, horticultura, y economía, sino que también pueda integrar los conocimientos para resolver problemas aplicados (Figura 1).



The image shows a screenshot of the Ohio State University website for the Master in Plant Health Management program. The website header includes the university name and a search bar. Below the header, there are navigation tabs for 'OFACS Home', 'Home', 'Program Requirements', 'Online MPH&M', 'How To Apply', 'People', 'Careers', 'Contact Us', 'Entomology', and 'Plant Pathology'. A main banner features a photo of graduates and the text 'MARY GRIFFITH AND ANASTASIA TONTI, FIRST MPH&M GRADUATES'. Below the banner, it says 'Master in Plant Health Management (a tagged masters program)' and provides the URL 'http://mphm.osu.edu'. To the right, a slide titled 'What is the need?' lists two points: 'Employers have expressed pessimism to finding applicants with the "Knowledge of disease control"' and 'CSAW. The Coalition for a Sustainable Agricultural Workforce'. The slide also includes a photo of a person examining a plant. At the bottom, there are logos for the College of Food, Agricultural, and Environmental Sciences and the Ohio State University.

**What is the need?**

- Employers have expressed pessimism to finding applicants with the "Knowledge of disease control"
  - McDonald et al., 2009, Education in Plant Pathology, Plant Disease 93:1238-1251.
- CSAW. The Coalition for a Sustainable Agricultural Workforce
  - 20 Corporations/9 Scientific Societies
  - <http://www.sustainableagworkforce.org/>

**Figura 1.** Programa de maestría en manejo de salud de plantas en la Universidad Estatal de Ohio (izquierda). Información sobre necesidades de personal capacitado en varias industrias en Ohio (derecha).

### La integración de disciplinas para resolver problemas complejos – la automatización de actividades agrícolas

Para lograr resolver los problemas actuales se deben realizar investigaciones que respondan a preguntas complejas. Se ha avanzado muchísimo en el entendimiento de los sistemas biológicos,

pero ahora para optimizar la producción de alimentos, fibra y plantas con fines ornamentales se debe profundizar en la interconexión de los sistemas. Para ello ahora es necesario el entender la interacción de los entes biológicos con su entorno ambiental. Para ello muchas de las preguntas se responderán evaluando aspectos biológicos pero también añadiendo aspectos de ingeniería aplicada.

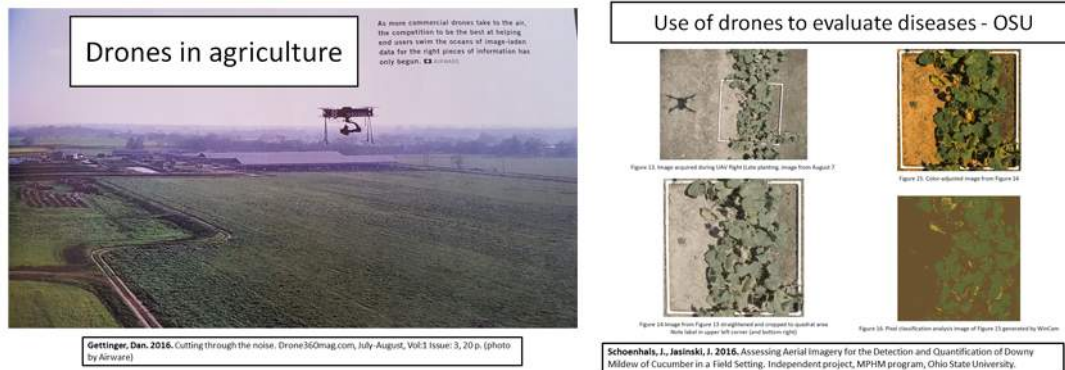
Debido a que el crecimiento poblacional pondrá más presión sobre los sistemas de producción de alimentos y otros productos necesarios, habrá un aumento en la producción de cultivos bajo invernadero. Tanto la producción en el campo como en invernadero requerirá de la optimización de la utilización de recursos. Esto incluye la utilización racional de controladores biológicos. En muchos lugares del mundo se continuará utilizando la mano de obra calificada para su liberación. Mientras que en otras áreas donde la mano de obra es limitada o muy cara, se comenzará a utilizar máquinas para la liberación de enemigos naturales. En este caso se deberá colaborar con ingenieros para la optimización de estos recursos (Figura 2). Por ejemplo en Ohio y en otros lugares se están utilizando máquinas para la liberación de ácaros depredadores.



**Figura 2.** La utilización del control biológico requiere conocimiento de la biología de las plagas y de los enemigos naturales. Además, es necesario establecer tasas apropiadas de liberación. Producción de tomate bajo invernadero en Ohio (izquierda). Liberación de ácaros depredadores utilizando un ventilador (derecha).

La automatización también será evidente en el campo, donde se incrementará la utilización de vehículos aéreos automatizados o “drones.” En la actualidad los sistemas más sofisticados son caros y difíciles de utilizar, pero el desarrollo de esta tecnología está avanzando rápidamente y ya se comienza a encontrar “drones” relativamente baratos que pueden hacer trabajos complejos, como la toma de fotos para evaluación del progreso de enfermedades y para estimar el tamaño futuro de la cosecha (Figura 3).





**Figura 3.** En la agricultura se utilizarán los vehículos aéreos automatizados (drones) para obtener información que permita optimizar la producción. Un ejemplo de un dron tomando fotos de un campo de producción (izquierda). Ejemplo de un proyecto realizado en la Universidad Estatal de Ohio donde se utiliza un dron para evaluar el progreso de una enfermedad en el campo (derecha).

### Ejemplos de integración, uso de las matemáticas y modelos para responder preguntas aplicadas

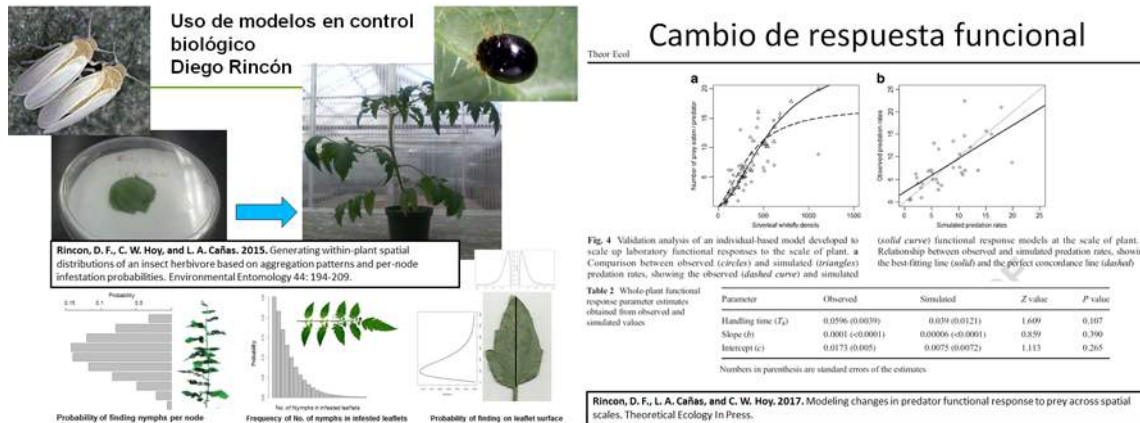
La utilización de modelos matemáticos para explicar tendencias biológicas no es una práctica nueva. Sin embargo, en años anteriores era necesario tener una super-computadora y software sofisticado para poder crear y utilizar estos modelos. En la actualidad ya es posible el utilizar software gratis (por ejemplo el software R) y poderoso que puede ser utilizado en computadoras portátiles para la creación de modelos matemáticos que permitan responder preguntas aplicadas. Por ejemplo el Dr. Diego Rincón durante sus estudios de doctorado en la Universidad Estatal de Ohio desarrollo modelos matemáticos para explicar por qué un escarabajo depredador de mosca blanca en ocasiones no resultaba en control de la mosca blanca. Él encontró que la respuesta funcional del escarabajo cambia al incrementar la arquitectura espacial de búsqueda de una hoja a una planta de tomate completa (Rincón *et al.* 2015, Rincón *et al.* 2017). Esto nos permitió entender que es necesario utilizar varios enemigos naturales en combinación con este escarabajo para lograr un control apropiado de la plaga.

En el futuro será necesario el realizar más trabajos donde se utilicen modelos matemáticos para responder preguntas biológicas complejas.

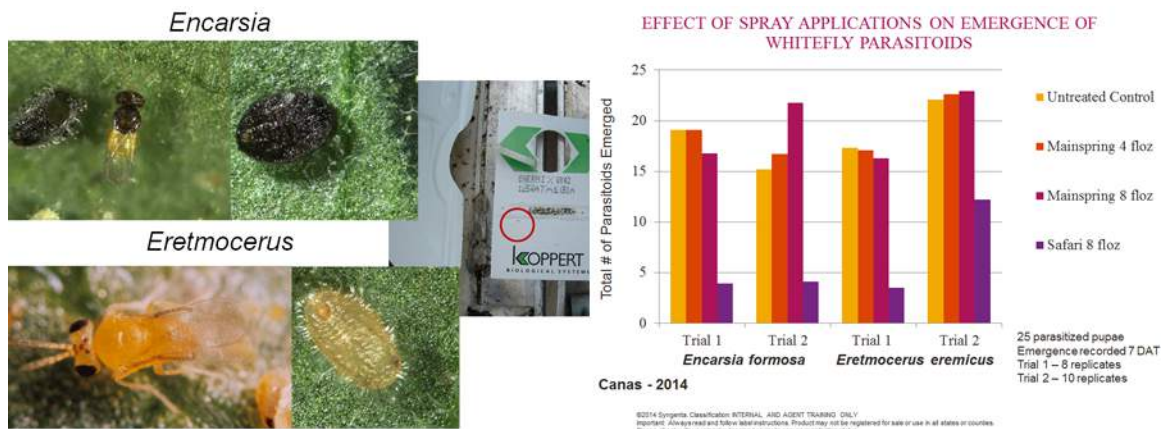
### Como podemos estimular la integración – investigaciones conjuntas

Precisamente para responder a las necesidades de información de los productores, los investigadores deberán desarrollar preguntas y programas que incluyan otras disciplinas desde la planeación inicial de los proyectos. Para ello se debe crear grupos de trabajo y condiciones para que los investigadores puedan compartir sus ideas con investigadores en otras disciplinas. Esto significa la creación de reuniones y simposios donde se estimule la interacción de diferentes disciplinas. En estas reuniones no solamente se deben incluir varias disciplinas, pero también se debe incluir los diferentes grupos que participan en el desarrollo de programas de investigación, incluyendo instituciones académicas, gubernamentales, industria y productores. Por ejemplo, en el 2016 en la Universidad Estatal de Ohio se comenzó a trabajar en varias propuestas donde se evaluará el impacto de varios productos químicos incluyendo insecticidas, fungicidas y bio-

estimulantes en los enemigos naturales que se utilizan para el control biológico de plagas importantes (Figura 5). Este tipo de investigaciones permitirá la optimización de recursos y ayudará a prevenir fallos en las tácticas de control debidas a la interacción negativa de estas medidas de control, por ejemplo la utilización de insecticidas que tengan el menor impacto en los enemigos naturales que se utilizan para el control biológico de las plagas (Figura 4).



**Figura 4.** Los sistemas de computación ahora son más accesibles y el poder de las computadoras ha incrementado significativamente. Modelo matemático explicando la ubicación de las mosca blanca, *Bemisia tabaci*, en tomate (izquierda). Utilización de modelos matemáticos para evaluar la respuesta funcional del escarabajo depredador *Delphastus catalinae* al alimentarse de *Bemisia tabaci* (derecha).



**Figura 5.** Enemigos naturales comúnmente utilizados para el control biológico de la mosca blanca, *Bemisia tabaci*, en Ohio (izquierda). Evaluación del efecto de Mainspring (cyantraniliprole) y Safari (dinotefuran) en dos enemigos naturales de la mosca blanca, *Bemisia tabaci* (derecha).

## Referencias

Rincón, D. F.; L. A. Cañas; C. W. Hoy. 2017. Modeling changes in predator functional response to prey across spatial scales. *Theoretical Ecology* In Press.

Rincón, D. F.; C. W. Hoy; L. A. Cañas. 2015. Generating within-plant spatial distributions of an insect herbivore based on aggregation patterns and per-node infestation probabilities. *Environmental Entomology* 44: 194-209.

## Control biológico del Dengue, Zika y Chikungunya con el uso de la bacteria *Wolbachia* en el vector *Aedes aegypti*

Iván Darío Vélez Bernal<sup>1</sup>, Sandra Uribe Soto<sup>2</sup> y Juan David Suaza Vasco<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>PECET - Programa de Estudio y Control de Enfermedades Tropicales - SIU-Sede de Investigación Universitaria - Universidad de Antioquia. Calle 62 No. 52-59 laboratorio 632. Medellín, Antioquia. [id.velez@eliminatedengue.com](mailto:id.velez@eliminatedengue.com) <sup>2</sup>GSMUN - Grupo de Investigación en Sistemática Molecular. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Cl. 59a #63-20, Medellín, Antioquia. Laboratorio 16-110. [jd.suaza@eliminatedengue.com](mailto:jd.suaza@eliminatedengue.com)

---

**Resumen.** *Wolbachia pipientis* es una bacteria obligada intracelular, transmitida maternalmente, presente en más del 20 % de los insectos, incluyendo especies de mosquitos, aunque podría infectar hasta el 70 % de las especies de insectos. Diferentes cepas de *Wolbachia* producen diferentes efectos en los mosquitos, como el bloqueo de la transmisión de arbovirus (Dengue, Zika y Chikungunya) al incorporar la cepa wMel dentro del vector *A. aegypti*. La observación de éste efecto permitió construir una estrategia potencial de control de enfermedades basada en la introducción de la bacteria en poblaciones locales de *A. aegypti* en áreas de importancia epidemiológica para dengue u otras enfermedades. El objetivo del estudio en Colombia fue evaluar la factibilidad del establecimiento de la cepa (wMel) en poblaciones locales de *A. aegypti* en un área urbana del Valle de Aburrá. Para ello se conformó un equipo interdisciplinario donde se evaluó desde la percepción y aceptación comunitaria respecto a la estrategia, hasta aspectos epidemiológicos, entomológicos y ambientales durante el proceso del establecimiento de la bacteria en los mosquitos locales hasta llegar al umbral predefinido (~80 %). Después de un periodo de 21 semanas liberando *A. aegypti* portando la bacteria, se logró establecer con éxito la *Wolbachia* en poblaciones locales del mosquito. La siguiente fase del proyecto es evaluar la eficacia de la estrategia en la reducción de la incidencia del dengue y otros arbovirus en una mayor escala geográfica, como lo ha sugerido la Organización Mundial de la Salud y la Organización Panamericana de la Salud dada la emergencia presentada por virus como el Zika.

**Palabras clave:** Arbovirus. *Wolbachia pipientis*. Culicidae. cepa wMel.

### Introducción

*Wolbachia pipientis* es una bacteria obligada intracelular, transmitida maternalmente, la cual está presente en más del 20 % de los insectos (Werren *et al.* 2000, Hedges *et al.* 2008), incluyendo algunas especies de mosquitos (Barro *et al.* 2016), aunque se cree que puede infectar hasta el 70 % de las especies conocidas de insectos (Hilgenboecker *et al.* 2008). La especie *Drosophila melanogaster* es comúnmente infectada con la bacteria *Wolbachia*, la cual se ha demostrado que proporciona un amplio efecto antiviral que puede conferir una selección positiva en las moscas que la poseen. Dicha protección antiviral fue la base para dar inicio a la exploración del uso potencial de la bacteria en estrategias de reducción de transmisión de enfermedades virales por insectos y más específicamente en dengue y otros arbovirus transmitidos por mosquitos (Hedges *et al.* 2008). La capacidad de algunas cepas de *Wolbachia* para reducir la vida útil de *A. aegypti*,

invadir poblaciones de mosquitos a través de la inducción de incompatibilidad citoplasmática (IC), y particularmente la capacidad de interferir con la replicación de una variedad de patógenos, ha colocado esta bacteria en la primera línea de nuevos enfoques y estrategias de control dirigidos a mosquitos transmisores de enfermedades de una forma más amigable con el ambiente (Iturbe-Ormaetxe *et al.* 2011). Recientemente se ha demostrado que algunas cepas de *Wolbachia* producen diferentes efectos en la especie *A. aegypti*, como es el bloqueo directo de la transmisión de los arbovirus Dengue (Ye *et al.* 2015), Zika (Dutra *et al.* 2016) y Chikungunya (Aliota *et al.* 2016) al incorporar la cepa wMel de la bacteria dentro del insecto vector.

### **Estrategia de control biológico de mosquitos vectores a partir de la bacteria *Wolbachia***

La metodología de llevar los mosquitos con la bacteria *Wolbachia* para ser introducida en las poblaciones de mosquitos locales en áreas de importancia epidemiológica por el dengue, se ha perfeccionado hasta tal punto que se considera un método de bajo costo y con aplicación en áreas urbanas. Como ejemplo, se hace referencia al primer ensayo realizado en el año 2011 en la ciudad de Cairns al noreste de Australia (localidades de Yorkeys Knob y Gordonvale). Los mosquitos *A. aegypti* portadores de *Wolbachia* y liberados en ambas localidades mostraron una exitosa fijación de la bacteria en las poblaciones naturales de *A. aegypti* de ambas localidades en pocos meses posteriores a las liberaciones. Con el fin de comprobar la persistencia y estabilidad de *Wolbachia* en el tiempo en las poblaciones de *A. aegypti* de ambas localidades, se evaluaron de nuevo las poblaciones de mosquitos después de dos años de haber ocurrido las liberaciones. Los resultados de este segundo estudio mostraron que las poblaciones de mosquitos persistieron con la bacteria en el periodo pos-liberación, con los mismos efectos de incompatibilidad citoplasmática y la persistencia de individuos no infectados en una baja frecuencia por efectos de la inmigración (Hoffmann *et al.* 2011, Hoffman *et al.* 2014).

Teniendo en cuenta la evidencia científica del efecto de la *Wolbachia pipientis* en el bloqueo de la transmisión de los arbovirus mencionados y el establecimiento efectivo de la bacteria en las poblaciones locales de mosquitos *A. aegypti*, entidades internacionales como la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS) consideran que el método basado en el uso de la bacteria *Wolbachia* tiene un gran potencial para la reducción de virus como el zika (PAHO 2016, WHO 2016).

La estrategia de usar la bacteria *Wolbachia* para el control de arbovirus ha sido promovida desde el Programa Eliminar el Dengue (EDP), el cual comenzó en el año 2011 a realizar sus primeros ensayos en comunidades afectadas por el dengue. Los resultados han demostrado que se puede desplegar el método y que hay sostenibilidad del mismo en el tiempo. A partir de otros ensayos a pequeña escala en Australia, Vietnam, Indonesia, Brasil y Colombia se han perfeccionado las metodologías de acuerdo a las condiciones ambientales, sociales, culturales y epidemiológicas de cada área geográfica (<http://www.eliminatedengue.com>).

### **Estudio Piloto en Colombia para evaluar el establecimiento de la bacteria *Wolbachia* en poblaciones locales del vector *A. aegypti***



París, en el municipio de Bello (Figura 1), se seleccionó para realizar el estudio piloto del proyecto, en común acuerdo con entidades como la Secretaría de Salud del Municipio de Bello, investigadores asesores de la Universidad de Monash y el equipo de trabajo del PECET de la Universidad de Antioquia. La Comuna 1, además de ser una zona vulnerable económicamente (estratos 1 y 2), posee características particulares que influyen en la dinámica epidemiológica de enfermedades como el dengue; algunas de las más relevantes están relacionadas con las limitaciones de acceso de la población habitante al sistema de salud, ausencia o poca presencia de programas de educación y de control de vectores comunitarios y en escuelas, apoyado en un sistema de recolección de desechos sólidos irregular, todas ellas determinantes, para su selección como sitio del estudio piloto. Adicionalmente, el número de casos de dengue en años previos al piloto, fue notoriamente elevado en comparación con otras comunas y de acuerdo a los índices entomológicos realizados por las autoridades de salud del municipio, la comuna 1, presentaba densidades considerables de mosquitos *Aedes aegypti* y mayor número de casos de dengue en comparación con otras del municipio.

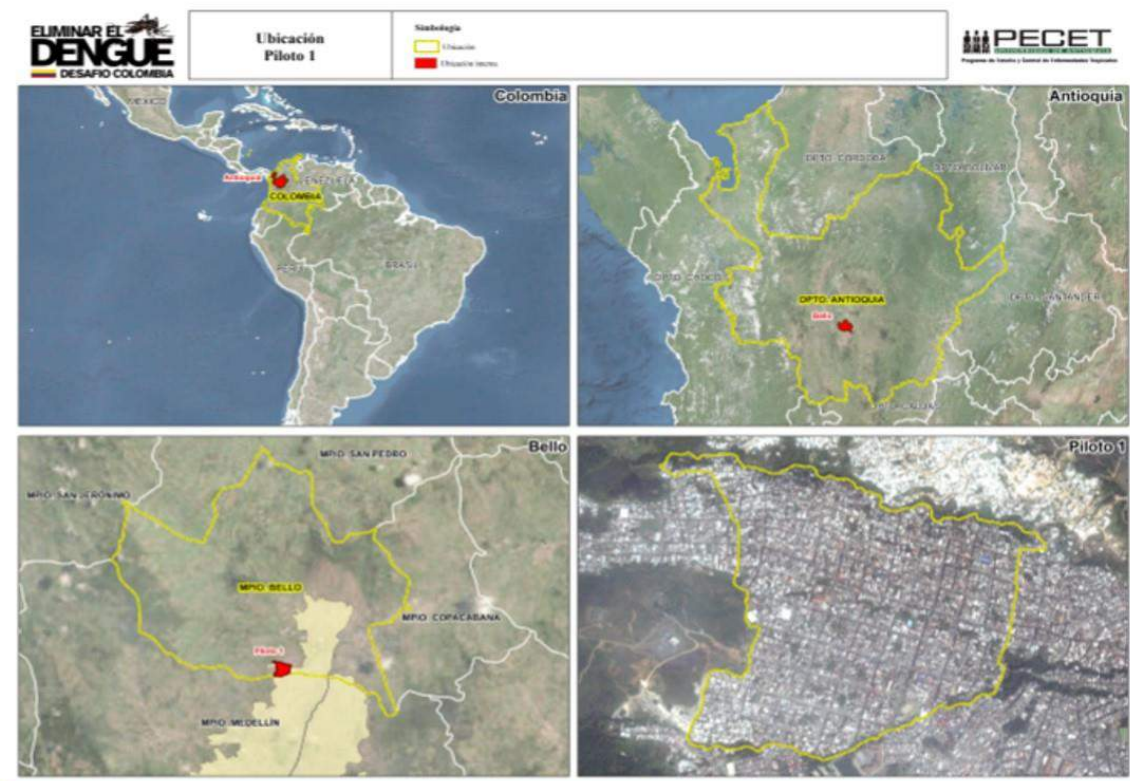


Figura 1. Área de estudio París.

### Componente Social y Comunitario

El proyecto de investigación Eliminar el Dengue Desafío Colombia contó con un componente social y comunitario, que consideró fundamental el riesgo o impacto generado por el estudio piloto en

relación con la comunidad del área del estudio. Aspectos como la aceptación del proyecto, consentimientos informados por los habitantes, vigilancia y atención en salud y atención a cualquier solicitud o duda, fueron considerados cuidadosamente y evaluados y monitoreados además de realizar un componente de educación y trabajo social. El equipo estuvo integrado por profesionales del área social, además de la Fundación Mi Gente, la cual opera en Bello y conocía de antemano la comunidad local. En el año 2013 se inició con las primeras acciones desde este componente utilizando como herramienta metodológica la estrategia IEC, (Investigación Educación Comunicación), cuyo objetivo consiste en transmitir un mensaje informativo y/o educativo encaminado a incrementar sus conocimientos sobre un tema y/o promoviendo servicios, a través de actividades de movilización social y de comunicación comunitaria. Esta estrategia se propone en general, desde la demanda social para la construcción de conocimientos y privilegia una comunicación integradora, de tal forma que sus contenidos trasciendan los límites barriales y circulen en toda la ciudad, en este caso Bello, como mensajes innovadores y propositivos que apelen a los sentidos, percepciones, y a la cultura, para generar mayores niveles de recordación, identificación y apropiación de los mismos.

**Sistema de sucesos.** Es una plataforma que registró el proceso de recepción y retroalimentación con la comunidad la cual inició en marzo del 2015. Este sistema permitió recibir y atender todas las inquietudes de la comunidad. La etapa pre-liberación generó comentarios positivos, lo que dio un indicio de que la comunidad estaba preparada. Durante y después de la liberación se recibieron ambos tipos de respuestas y comentarios. Comenzó con la manifestación de la comunidad, seguido por la acción respectiva del Equipo y concluyó con la verificación de la satisfacción del residente con respecto a la atención y/o solución que se dio al suceso.

**Grupo de referencia.** El grupo de referencia de la comuna 1 está conformado por 26 líderes comunitarios que tienen a su cargo grupos focales y pertenecen a las Juntas de Acción Comunal de sus comunidades. Ellos manifestaron que como líderes pueden apoyar y socializar la propuesta después de realizar las mesas de trabajo. También se discutió que en caso de no obtener consentimientos informados personales los comités de referencia son relevantes y se consideró evaluar posteriormente el tamaño y calidad de los miembros de dicho comité para ver su pertinencia en los diferentes áreas o barrios donde se realice el proyecto.

### **Componente de Salud y Atención a la Comunidad**

**Clínica de la fiebre y atención a la comunidad en aspectos relacionados con salud.** La clínica de la fiebre se instaló en el centro de salud Antonio Roldan Betancur, sector París (comuna 1) del municipio de Bello. Estuvo conformada por una médico y una enfermera, para atender la comunidad en relación con síndromes febriles, realizar junto con un equipo de microbiólogos y epidemiólogos de laboratorio, el diagnóstico y evaluación de pacientes con dengue, obtener la descripción y detalles de los síntomas, los serotipos circulantes del virus en la zona, la tipología de los pacientes, y realizar la vigilancia y seguimiento antes, durante y después de las liberaciones controladas de mosquitos en el área del estudio piloto. Aunque no se trataba del estudio de eficacia de la medida de control biológico sobre la enfermedad, sino de un piloto principalmente entomológico, se evaluó el comportamiento y número de casos de la misma, antes y después de las liberaciones como un indicativo del impacto del mismo. Para efectos de seguridad y monitoreo

era importante verificar la hipótesis de que las liberaciones de los mosquitos infectados con la bacteria, de ninguna manera impactarían positivamente la enfermedad o contribuirían con el aumento de los casos y por el contrario, favorecerían la interrupción del ciclo de transmisión. Monitorear los casos y estar atentos a cambios no esperados o efectos en la salud, fue un tema prioritario dentro del estudio piloto, en un trabajo conjunto con la Secretaría de salud de Bello.

### Componente Entomológico

**Origen y características iniciales de los *Aedes aegypti* portadores de la bacteria *Wolbachia pipientis* (wMel).** Desde la Universidad de Monash de Australia se enviaron hasta el insectario del grupo PECET de la Universidad de Antioquia huevos de la especie de mosquito *Aedes aegypti*, los cuales fueron previamente micro inyectados con la bacteria *Wolbachia*. La Universidad de Monash tiene a la fecha la metodología para la micro inyección, razón por la cual, ésta se realizó allí. La bacteria no es cultivable en medios artificiales y se obtiene en los insectos mismos, en los cuales es transmitida vía materna hacia la progenie.

El ingreso de los huevos a Colombia se hizo a partir de la solicitud de un concepto técnico al Instituto Nacional de Salud y de una consulta en el ministerio de Salud. Ambos conceptos fueron favorables por tratarse de una especie de mosquito presente en el país. En relación con ello, y según la revisión más actual sobre la propagación y domesticación del mosquito *A. aegypti*, esta especie estuvo inicialmente en el Nuevo Mundo (traída alrededor del año 1450 a América en barcos con esclavos desde África) y luego fue llevada a Australia/Asia (Powell y Tabachnick, 2013). Por esta razón se esperaba que los genotipos del mosquito presentes en el continente americano y por ende en Colombia, fueran muy similares a los australianos enviados con la bacteria para iniciar el proyecto piloto, lo cual de todas formas se evaluó y verificó a partir del conocimiento de los haplotipos de las poblaciones a partir de secuencias de ADN mitocondrial.

**Cruces realizados de la especie *A. aegypti* entre mosquitos infectados y no infectados locales, en el insectario PECET.** En total se realizaron 9 cruces entre mosquitos infectados y no infectados. A partir del cruce 9 se usó de nuevo material de campo de la zona del estudio piloto para garantizar mediante 3 cópulas más, la homogenización del material con la bacteria obtenido en el laboratorio, con el material de campo (Bello). El material obtenido fue cuidadosamente mantenido en el laboratorio y usado para las liberaciones controladas en campo. Nótese que los mosquitos resultantes de los cruces son mosquitos con perfil genético local pero infectados con la bacteria. Nunca se liberó ningún mosquito recibido directamente de Australia.

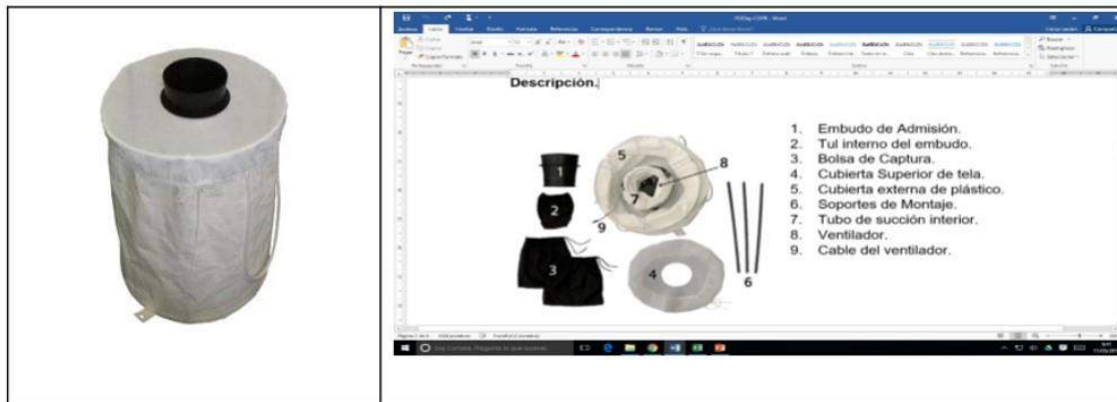
**Monitoreo y evaluación de las poblaciones de los mosquitos *Aedes aegypti* antes, durante y después de las liberaciones.** Se utilizaron tres tipos de trampas las cuales dieron cuenta de la presencia y números de los mosquitos, de la presencia de la bacteria en los mismos y de la dispersión en el área del estudio piloto (Figuras 2 y 3). Por sus características y efectos permitieron además evaluar cambios y prevenir dispersión de los mosquitos fuera del área del estudio piloto (anillo de monitoreo con trampas letales en el perímetro de la zona) y manejar y disminuir las densidades de los mismos durante el estudio. Las ovitrampas fueron instaladas inicialmente para obtener el material para la cría y cruces. También hicieron parte del anillo de monitoreo en el perímetro del área del estudio piloto, pero además algunas de ellas estuvieron distribuidas en



toda el área ayudando a entender los patrones de oviposición de las hembras del mosquito y los números de huevos antes, durante y después de las liberaciones. Estos datos ayudan a entender cómo cambian o aumentan los números de huevos por efecto de las liberaciones, que tanto aumentan en relación con las condiciones naturales y cómo y cuándo se equilibran después de las mismas. Además, retienen los huevos los cuales nunca llegan a eclosionar ya que las trampas se revisan y el material se elimina siempre en tiempos que evitan el desarrollo hasta adulto. En total se utilizaron 84 ovitrampas en el estudio piloto. Las trampas BG-GATs son trampas de caída que permiten la colecta de hembras grávidas. Éstas se usaron todas en el anillo de monitoreo del perímetro del área del estudio piloto. En total se usaron 25 trampas de este tipo. Estas trampas además de ser letales y prevenir el flujo de hembras en períodos reproductivos, permitieron obtener material importante para evaluar la actividad de picadura y la presencia de la bacteria en la prole. Las trampas centinela BG son trampas que se usan para coleccionar mosquitos adultos tanto hembras como machos. Son las trampas usadas a nivel mundial por el proyecto para evaluar las densidades de adultos y la presencia de la bacteria, a través de la frecuencia de mosquitos con la misma en períodos de tiempo. En total en el proyecto se usaron 50 trampas. Estas trampas retienen por su estructura los adultos y fueron instaladas tanto como parte del anillo de monitoreo, como establecidas en el interior del área del estudio piloto.



**Figura 2.** Trampa tipo ovitrampa



**Trampa centinela BG y componentes**

**Figura 3.** Trampa tipo BG

**Liberaciones de mosquitos *A. aegypti* portadores de la bacteria *Wolbachia*.** Uno de los aspectos interesantes de la estrategia de control biológico del virus en el mosquito a través de la bacteria, es que las liberaciones de mosquitos y su efecto potencial en los números de mosquitos en los aspectos relacionados como picaduras, es temporal, ya que los datos experimentales y teóricos han mostrado que se requiere de liberaciones puntuales de mosquitos con la bacteria por alrededor de 10 semanas, para obtener efectos en la reducción sin la necesidad de liberaciones constantes de mosquitos, como ocurre en otras estrategias como la de mosquitos transgénicos o la de machos irradiados. En este sentido las medidas de protección de la comunidad y de vigilancia entomológica y en salud deberían ser intensivas durante este periodo.

En nuestro estudio se consideraron 21 semanas de liberación para realizar una evaluación y monitoreo lo suficientemente intensivo y tener datos lo más concluyentes posible. El área de liberación fue de 0,614 km<sup>2</sup>, correspondiente a cinco sectores conocidos comúnmente como Paris: Los Sauces parte baja, La Pradera, La Esmeralda, París central y El Cafetal. Esta área incluyó una población estimada de 35.000 habitantes y 6.000 viviendas.

El inicio de las liberaciones fue el 27 de mayo del 2015 (Semana 62 del estudio piloto). El periodo de liberaciones fue desde el 27 de mayo hasta el 17 de diciembre de 2015. Las 21 semanas de liberación incluyeron dos periodos separados así: el primero entre el 27 de mayo y 26 de agosto de 2015 y el segundo entre el 5 de noviembre y el 17 de diciembre. La finalización de las liberaciones fue el 17 de diciembre del 2015 (Semana 91 del estudio piloto). Durante el periodo intermedio entre liberaciones y el periodo posterior a las liberaciones se continuó el monitoreo, es decir hasta el 31 de mayo del 2016. Las características de las liberaciones controladas fueron: 420 puntos de liberación, 50 mosquitos por recipiente de liberación (proporción macho/hembra= 1:1), 420 recipientes con mosquitos, 8 rutas. De estas consideraciones se define que la cantidad de mosquitos liberados por persona por semana fue 0,6 mosquitos, lo que indica menos de un mosquito por habitante. La cantidad de mosquitos por vivienda por semana fue de 3,5 mosquitos.

## Resultados

**Monitoreo mediante el uso de Ovitrampas.** Los números de huevos recolectados en ovitrampas antes de las liberaciones, estuvieron por debajo de los 2000 individuos. Como era de esperar, durante el periodo de liberaciones, los números aumentaron considerablemente, doblando, e incluso triplicando, los iniciales. Sin embargo, una vez terminadas las liberaciones, los números de huevos disminuyeron hasta casi volver a los iniciales, probablemente obedeciendo a la capacidad de carga máxima población al que el ambiente local puede soportar.

La frecuencia de infección por la bacteria en huevos mostró una tendencia a permanecer por encima del 60 % durante las semanas de liberación lo cual indicó actividad de cópula y picadura y transmisión transovárica. Por otro lado, los datos climáticos, como temperatura y humedad relativa ambiental, revelaron un comportamiento con poca variación, mientras que la precipitación mostró un comportamiento irregular a lo largo del estudio. Es interesante mencionar el aumento de huevos luego de registrar algunos picos de lluvia, lo cual concuerda con los múltiples estudios de dinámicas poblacionales de mosquitos. Adicionalmente, esta información permitió establecer patrones de oviposición del mosquito dentro del área. Dichos patrones se muestran de acuerdo a cada periodo. Las áreas rojas y naranjas indican los puntos con mayores índices de oviposición los cuales son notorios antes y durante las liberaciones, pero disminuyen posterior a las liberaciones. Nótese que los patrones de oviposición se normalizaron después de 4 semanas post-liberación (Figura 4).

**Monitoreo mediante el uso de trampas centinela BG.** De acuerdo a los resultados obtenidos a partir de estas trampas, se logró establecer que las frecuencias de mosquitos en los periodos pre liberación y postliberación presentaron la misma tendencia (100 mosquitos por semana aproximadamente), indicando que, a pesar del aumento durante las liberaciones, probablemente, el ambiente modela el tamaño poblacional de mosquitos en el área de estudio. Interesantemente, el comportamiento de la infección en los mosquitos recolectados mantuvo porcentajes óptimos (superiores al 60 %) hasta el final de las liberaciones, indicando un resultado prometedor en el propósito de establecer *Wolbachia* en la población local de mosquitos para impactar la capacidad del mosquito de transmitir el virus. Durante las semanas adicionales de monitoreo (14 semanas) después de la última liberación, la frecuencia de mosquitos con la bacteria alcanzó el 90 %.

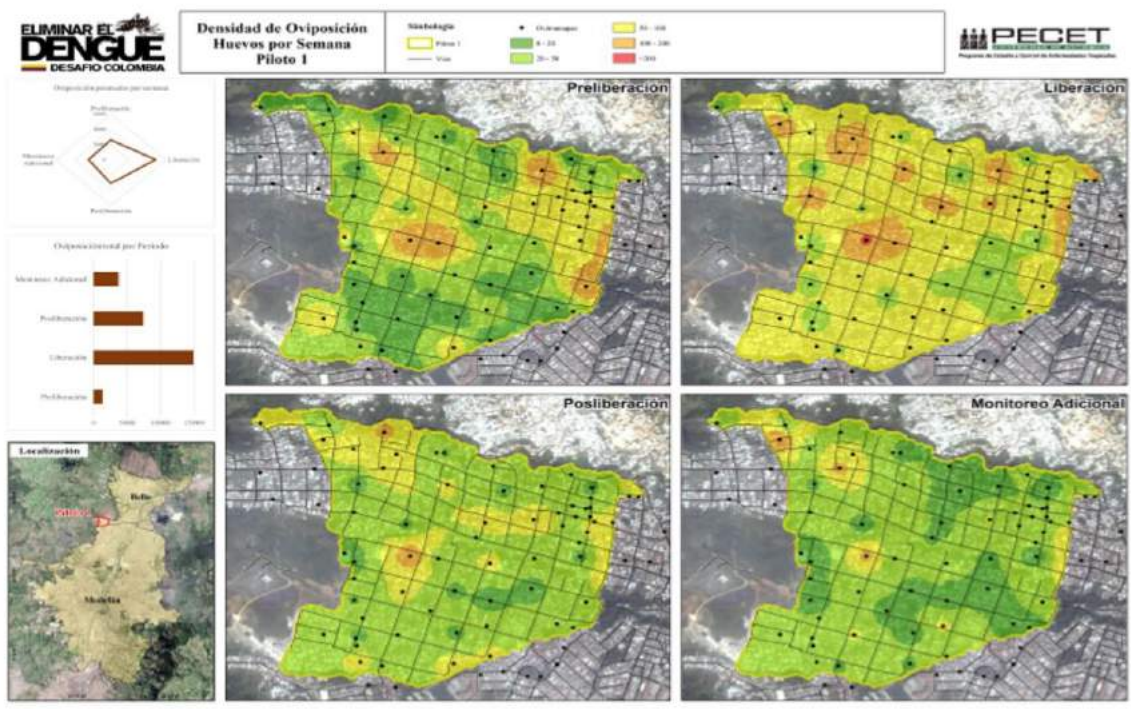


Figura 4. Ejemplo de patrones de oviposición en área de liberación.

## Conclusiones

El resultado de la fijación de la bacteria *Wolbachia pipientis* (wMel) en las poblaciones locales de *A. aegypti* de la zona de estudio, confirmaron que la estrategia basada en el uso de la *Wolbachia* puede ser llevada a una nueva fase para evaluar su eficacia en el control del dengue y otros arbovirus, con potencial en áreas geográficas de mayor amplitud. A corto plazo el proyecto busca evaluar el impacto de la estrategia en la reducción del dengue durante ensayos de mayor duración y en escalas geográficas mayores. La siguiente fase se va a desarrollar en un área geográfica de mayor tamaño en la ciudad de Medellín, según lo recomendado por la OMS.

## Referencias

- DUTRA, H. L. C.; ROCHA, M. N.; DIAS, F. B. S.; MANSUR, S. B.; CARAGATA, E. P.; MOREIRA, L.A. 2016. Wolbachia Blocks Currently Circulating Zika Virus Isolates in Brazilian *Aedes aegypti* Mosquitoes. *Cell Host & Microbe*, 19 (6) 771–774. <http://doi.org/10.1016/j.chom.2016.04.021>
- HEDGES, L. M.; BROWNIE, J. C.; O'NEILL, S. L.; JOHNSON, K. N. 2008. Wolbachia and virus protection in insects. *Science* 322: 702
- HOFFMANN, A. A.; ITURBE-ORMAETXE I.; CALLAHAN, A. G.; PHILLIPS, B. L.; BILLINGTON, K.; AXFORD, J. K.; MONTGOMERY, B.; TURLEY, A.P.; O'NEILL, S.L.; 2014. Stability of the wMel

- Wolbachia Infection following invasion into *Aedes aegypti* populations. *PLoS Negl Trop Dis.* 8(9):e3115. doi: 10.1371/journal.pntd.0003115.
- HOFFMANN, A. A.; MONTGOMERY, B. L.; POPOVICI, J.; ITURBE-ORMAETXE, I.; JOHNSON, P. H.; MUZZI, F.; GREENFIELD, M.; DURKAN, M.; LEONG, Y. S.; DONG, Y.; COOK, H.; AXFORD, J.; CALLAHAN, A. G.; KENNY, N.; OMODEI, C.; MCGRAW, E. A.; RYAN, P. A.; RITCHIE, S. A.; TURELLI, M.; O'NEILL, S. L. 2011. Successful establishment of Wolbachia in *Aedes* populations to suppress dengue transmission. *476(7361):454-7.* doi: 10.1038/nature10356.
- ITURBE-ORMAETXE, I.; WALKER, T.; O' NEILL, S. L. 2011. Wolbachia and the biological control of mosquito-borne disease. *EMBO Rep.* 2011 Jun;12(6):508-18. doi:10.1038/embor.2011.84.
- LIOTA, M. T.; WALKER, E. C.; URIBE YEPES, A.; VELEZ, I. D.; CHRISTENSEN, B. M.; OSORIO, J. E. 2016. The wMel Strain of Wolbachia Reduces Transmission of Chikungunya Virus in *Aedes aegypti*. *PLoS Negl Trop Dis.* 10(4):e0004677. doi:10.1371/journal.pntd.0004677.
- PAHO 2016. PAHO offers to provide technical support for pilot studies of new mosquito control technologies. Fecha de acceso 23 de junio 2017
- POWELL, J. R. & TABACHNICK, W. J. 2013. History of domestication and spread of *Aedes aegypti* - A Review. *Memórias Do Instituto Oswaldo Cruz,* 108(Suppl 1), 11–17.
- WERREN, J. H.; WINDSOR, DM. 2000. Wolbachia infection frequencies in insects: evidence of a global equilibrium? *Proceedings Biological Sciences.* 267(1450):1277-1285.
- WHO 2016. Mosquito (vector) control emergency response and preparedness for Zika virus. fecha de acceso 23 de junio 2017
- YE, Y. H.; CARRASCO, A. M.; FRENTIU, F. D.; CHENOWETH, S. F.; BEEBE, N. W.; VAN DEN HURK, A. F.; SIMMONS, C. P.; O'NEILL, S. L.; MCGRAW, E. A. 2015. Wolbachia Reduces the Transmission Potential of Dengue-Infected *Aedes aegypti*. *PLoS Negl Trop Dis.* 9(6):e0003894. doi: 10.1371/journal.pntd.0003894.

## Transferencia horizontal de información genética en la naturaleza: el caso de nucleopoliedrovirus de *Spodoptera frugiperda*

### Horizontal gene transfer in nature: the case of *Spodoptera frugiperda* nucleopolyhedrovirus

Mariano Nicolás Belaich<sup>2§</sup>, Gloria Patricia Barrera<sup>1§</sup>, Manuel Alfonso Patarroyo<sup>3,4</sup>, Laura Fernanda Villamizar<sup>1</sup> y Pablo Daniel Ghiringhelli<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigación Tibaitatá, Corpoica, Bogotá, Colombia. [gbarrera@corpoica.org.co](mailto:gbarrera@corpoica.org.co) (GPB); [lvillamizar@corpoica.org.co](mailto:lvillamizar@corpoica.org.co) (LFV). <sup>2</sup>Laboratorio de Ingeniería Genética y Biología Celular y Molecular – Área Virosis de Insectos (LIGBCM-AVI), Dto. Ciencia y Tecnología, Universidad Nacional de Quilmes, Bernal, Buenos Aires, Argentina. [mbelaich@unq.edu.ar](mailto:mbelaich@unq.edu.ar) (MNB); [pdg@unq.edu.ar](mailto:pdg@unq.edu.ar) (PDG). <sup>3</sup>Departamento de Biología Molecular e Inmunología, Fundación Instituto de Inmunología de Colombia (FIDIC), Bogotá, Colombia. <sup>4</sup>Departamento de Ciencias Básicas, Escuela de Medicina y Ciencias de la Salud, Universidad del Rosario, Bogotá, Colombia. [manuel.patarroyo@urosario.edu.co](mailto:manuel.patarroyo@urosario.edu.co).  
<sup>§</sup>Ambos autores contribuyeron del mismo modo.

---

**Resumen.** Todos los organismos y virus almacenan la información en sus moléculas genómicas, las cuales contienen un número variable de unidades informativas que llamamos genes. Muchas de estas secuencias provienen verticalmente desde los ancestros, y por ello, son compartidas por todos los miembros de una especie, e incluso compartidas entre especies. Pero otras se introducen y fijan en los genomas mediante eventos de transferencia horizontal. Un excelente modelo para el estudio de estos fenómenos lo constituyen los virus portadores de genomas grandes de dsDNA, ya que los mismos evolucionan de modo similar a los organismos. Entre ellos se encuentran los baculovirus, patógenos de insectos muy estudiados debido a sus importantes aplicaciones biotecnológicas, las cuales incluyen el control biológico de plagas, la producción de proteínas recombinantes, y la vehiculización de genes terapéuticos en mamíferos. En particular, el nucleopoliedrovirus de *Spodoptera frugiperda* (SfMNPV) es un baculovirus que infecta larvas de la especie que le da nombre, y que ha sido aislado en diferentes países de América. Una cepa colombiana, denominada SfMNPV-CoIA, fue seleccionada en virtud de sus aptitudes bioinsecticidas. A partir de un análisis profundo de su genoma, se pudo corroborar que el mismo es un recombinante natural que ha adquirido recientemente dos genes (no presentes en los otros miembros de la especie) a partir de otro baculovirus, el nucleopoliedrovirus de *Spodoptera litura*. La evidencia generada a partir de este aislamiento sugiere que la transferencia horizontal de genes es un evento importante en la evolución de las especies.

**Palabras clave.** Transferencia horizontal génica. Baculovirus. SfMNPV. SpltNPV-II. Recombinación homóloga.

**Abstract.** Organisms and viruses store the essential and auxiliary information in their genomic molecules, which contain a variable number of units recognized as genes. Many of these sequences come vertically from the ancestors; are therefore shared by all members of a species; even shared among species. But others are introduced and fixed in the genomes by horizontal transfer events. Viruses carrying large dsDNA genomes are excellent models for the study of these



phenomena since they evolve in a similar way to organisms. Among them are baculoviruses, highly relevant insect pathogens due to their important biotechnological applications, which include the biological control of pests, the production of recombinant proteins; the delivery of therapeutic genes in mammals. Particularly, the nucleopolyhedrovirus of *Spodoptera frugiperda* (SfMNPV) is a baculovirus that infects larvae of the species that gives it its name; has been isolated in different countries of America. A Colombian strain, named SfMNPV-ColA, was selected by bioinsecticidal aptitudes. From an in-depth genomic analysis, it can be corroborated that it is a natural recombinant virus that has recently acquired two genes (not present in the other members of the species) from another baculovirus, *Spodoptera litura* nucleopolyhedrovirus. The evidence generated from this isolation suggests that horizontal gene transfer is an important event in the evolution of species.

**Key words.** Horizontal gene transfer. Baculovirus. SfMNPV. SpItNPV-II. Homologous recombination.

## Introducción

Los genomas de los organismos de distintas especies pueden interactuar entre sí a través del moviloma (Siefert 2009), enriqueciéndose y sumando unidades transcripcionales que no recibieron verticalmente. Estas ganancias informativas en un individuo, si es que son beneficiosas, luego pueden transformarse en ganancia para toda la población gracias al éxito reproductivo diferencial que logran sus portadores. Hoy en día, el análisis genómico posibilita inferir el origen ancestral de las secuencias, y así, postular posibles eventos de transferencia horizontal génica (THG) ocurridos en el pasado (Drezen *et al.* 2016).

Los baculovirus son virus de DNA doble hebra que infectan a insectos de los órdenes Lepidoptera, Diptera e Hymenoptera, y que presentan 2 fenotipos durante su ciclo de multiplicación: los virus brotados (BVs, por *Budded Viruses*); y los virus derivados de la oclusión (ODVs, por *Occlusion Derived Viruses*), los cuales están incluidos en cristales proteicos llamados cuerpos de oclusión (OBs, por *Occlusion Bodies*). La relevancia de su estudio radica en las aplicaciones biotecnológicas derivadas de su uso, que incluyen el control biológico de plagas, la producción de proteínas recombinantes y su empleo como vehículos en terapia génica (Haase *et al.* 2015; Felberbaum 2015). Actualmente se los clasifica en 4 géneros: *Alphabaculovirus* (nucleopoliedrovirus de lepidópteros), *Betabaculovirus* (granulovirus de lepidópteros), *Gammabaculovirus* (nucleopoliedrovirus de himenópteros), y *Deltabaculovirus* (nucleopoliedrovirus de dípteros) (Jehle *et al.* 2006; Rohrmann 2013). Como dato llamativo, estos virus poseen entre 100 y 200 ORFs (*Open Reading Frames*), sumando más de 800 al considerar a toda la Familia, y sólo existiendo un subconjunto de 37 genes presentes en todos los miembros conocidos, denominado *score genes* (Miele *et al.* 2011; Garavaglia *et al.* 2012). Esta particularidad revela la importancia de la posible ocurrencia de fenómenos de THG en esta familia viral.

Un aislamiento colombiano del nucleopoliedrovirus múltiple de *Spodoptera frugiperda* (SfMNPV-ColA) fue estudiado por su potencial controlador sobre el gusano cogollero, una plaga que causa serias pérdidas económicas, principalmente en campos de maíz (Clark *et al.* 2012). Estudios genómicos comparativos con otros aislamientos de SfMNPV (Simón *et al.* 2001; Wolff *et*

*al.* 2008; Harrison *et al.* 2008; Simón *et al.* 2012) revelaron que la variante colombiana mostraba evidencias de haber sido receptora de genes de otra especie (Barrera *et al.* 2015), lo cual la convertiría en un mejor candidato para el control biológico. En este trabajo se muestra y discute la evidencia generada sobre la ocurrencia de un proceso de THG en SfMNPV-CoIA.

### Materiales y métodos

**Aislamiento Viral.** El virus utilizado, SfMNPV-CoIA (SfCoIA), es la variante más prevalente de un aislamiento de campo de Colombia, que fue recuperada por técnicas de cultivo celular en la línea Sf9 (Barrera *et al.* 2013). SfCoIA se propagó en larvas de *S. frugiperda* de cuarto estadio criadas en condiciones de laboratorio (25 ± 1 °C, 75 ± 5 % de humedad relativa, 16 h luz: 8 h de fotoperíodo oscuro y una dieta semisintética a base de germen de trigo) y mantenida como suspensión de OBsen agua destilada estéril.

**Secuenciación, ensamblaje y determinación de ORFeoma.** El DNA de SfCoIA se purificó por métodos tradicionales (King y Possee 1992) y se secuenció en un *454 Genome Sequencer (GS) FLXTM Standard* (Roche), en el Centro Nacional de Secuenciación Genómica, CNSG, de la Universidad de Antioquia (Medellín, Colombia). El ensamblaje *de novo* se realizó utilizando Newbler (GS FLX Data Analysis Software) y los ORFs se identificaron con ARTEMIS (Carver *et al.* 2008). Se utilizaron BlastN, BlastP, tBlastN, tBlastX y PSI-Blast para las búsquedas de homología (Altschul *et al.* 1997), y los estudios de identidad y similitud se llevaron a cabo utilizando ClustalX (Thompson *et al.* 1994, 1997).

**Estudios de sintenia y análisis filogenético.** Los bloques de sintenia se determinaron utilizando la rutina BlastN y se elaboraron con GenomeComp v1.2 (Yang *et al.* 2003). La filogenia de *Baculoviridae* se infirió utilizando MEGA 5 (Tamura *et al.* 2011) con los siguientes parámetros: UPGMA; Bootstrap con 1.000 repeticiones; Gap / falta de datos = supresión por pares; Modelo = Amino (matriz de Dayhoff); Patrones entre sitios = Igual (Homogéneo); Tasas entre sitios = Diferentes (Gamma distribuida); Gamma = 0,9839. Para ello los 37 *core genes* traducidos, a partir de 75 genomas de baculovirus recuperados del GenBank (<http://ncbi.nlm.nih.gov>), se alinearon independientemente usando el programa ClustalX, generándose luego un concatémero mediante la adición de los alineamientos individuales. Lo mismo se hizo con los 100 ortólogos presentes en todos los genotipos de SfMNPV, más SeMNPV, SpltNPV-II, SpltMNPV-G2 y SpliNPV.

**Estudios de transferencia horizontal de genes entre especies.** La secuencia parcial del genoma de SfCoIA, desde el ATG del gen *quitinasaal* codón stop *degp37*, se comparó con las regiones equivalentes de SfMNPV-B, SfMNPV 3AP2, SfMNPV 19, SeMNPV y SpltNPV-II mediante la ejecución de métodos alternativos. En el primero, se utilizó ClustalX para el alineamiento de a pares. Se establecieron valores arbitrarios de +1 para residuos idénticos (\*) y -1 para residuos no idénticos (espacios en blanco) para obtener perfiles de similitud. La suma de los valores asignados para cada residuo en cada ventana (35 nucleótidos) se dividió por el ancho de la misma y se asignó a la posición central. Los perfiles fueron dibujados y analizados para detectar puntos de cruce. En tanto, se realizó también un análisis de *Bootscan* (programa Simplot, versión 3.5. 1) (Salminen *et al.* 1995; Lole *et al.* 1999) y un estudio de contenido de G/C con rutinas propietarias. Se utilizó SigmaPlot v9 para todos los estudios en los que se representaron los perfiles numéricos finales, y



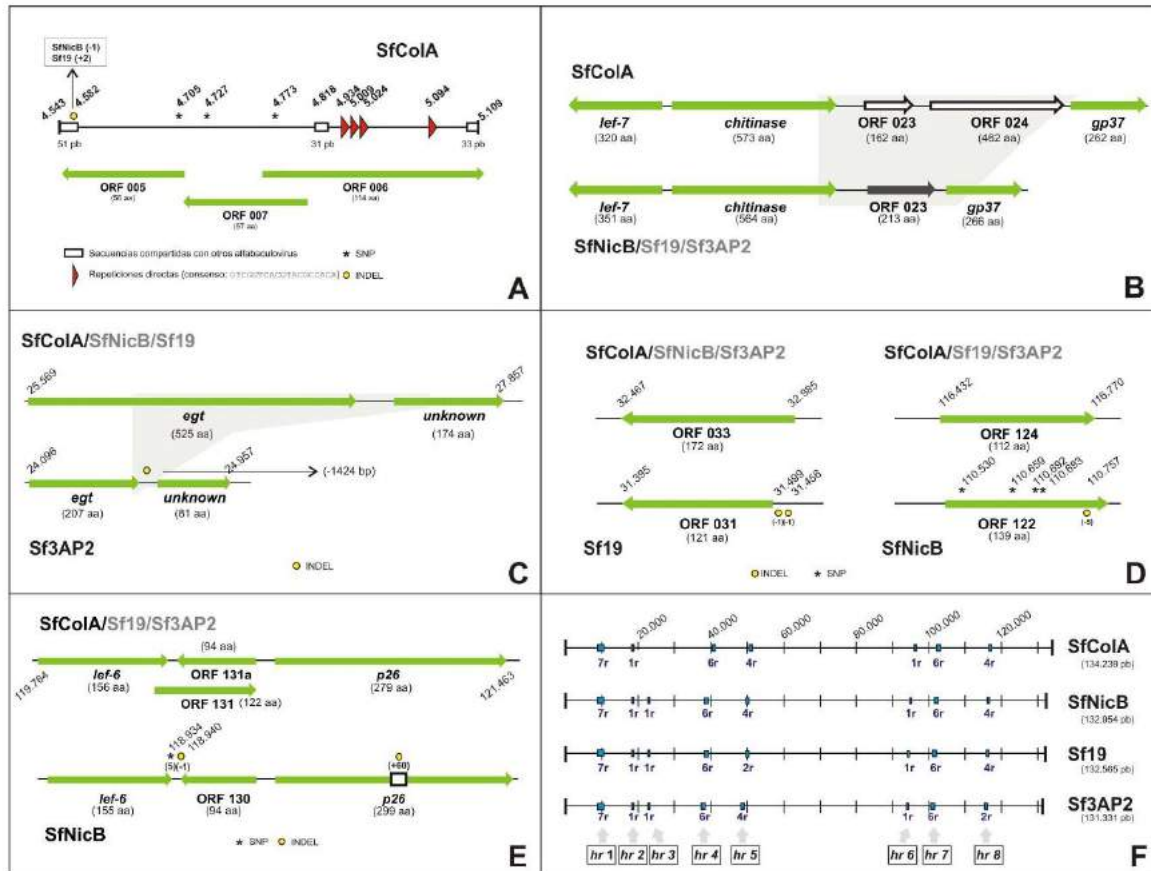
se estimaron los potenciales puntos de entrecruzamiento. Por otro lado, se realizaron alineamientos múltiples de las proteínas homólogas para estimar distancias empleando el modelo de Kimura 2-parámetros (Kimura 1980).

**Estudios transcriptómicos.** Se realizaron ensayos de transcripción reversa y PCR para determinar la actividad de los ORF023 y ORF024 de SfCoIA. Para ello, 45 larvas de segundo estadio de *S. frugiperda* se mantuvieron en ayuno durante 8 a 12 horas a 26 °C, y luego bebieron de una suspensión acuosa que contenía sacarosa al 10 % p/v, azul de Fluorella al 0,001 % p/v y  $1 \times 10^7$  OBs/mL. Las que ingerieron la suspensión, se transfirieron a vasos de plástico individuales con dieta semisintética. Luego, se extrajo RNA total a partir de 2 larvas infectadas a distintos tiempos (0, 2, 4, 6, 12, 24, 48, 72, 96, 120 y 144 hpi) utilizando el reactivo TRIzol (Invitrogen), tal como se describe en el protocolo del fabricante. Las muestras se trataron con DNasa libre de RNasa (Promega). La síntesis de la primera cadena de cDNA se realizó usando transcriptasa reversa (Promega) y cebador oligo-dT. Los cDNA resultantes se amplificaron por PCR con cebadores específicos: Sf23.1 (5 'GCTTGTGCGTTGTCGTTGAT 3') y Sf23.2 (5 'TTGTAGTCGACTCGGTCCCA 3') para ORF023; Sf24.1 (5 'TCGTCGGCATCATACTGCTC 3') y Sf24.2 (5 'CACGTTTCGCATGTTTTTCGT 3') para ORF024; Sfpolh.1 (5 'TTGCGACCCTGACTACGTTTC 3') y Sfpolh.2 (5 'ACGAGCGACAGTTCAAGGAG 3') para el gen *poliedrina* (polh); Sfie-0.1 (5 'CATTGCCAAGAGAGCAGCG 3') y Sfie-0.2 (5 'TTTAGCGGCAGTGGGAGTTT 3') para el gen *ie-0*. Los productos se resolvieron por electroforesis en geles de agarosa al 1 % p/v y se visualizaron con bromuro de etidio y exposición a UV.

## Resultados y discusión

**El genoma de SfCoIA y el contenido de genes.** El genoma de SfCoIA fue completamente secuenciado por pirosecuenciación (GenBank: KF891883), consistiendo en 134.239 pb y cubriéndose 64 veces. Su tamaño reveló ser el más grande entre los previamente divulgados de la misma especie. Respecto a la carga de secuencias codificantes de proteínas, se predijo la existencia de 145 ORFs potenciales, considerando sólo las secuencias que codificaran polipéptidos con un mínimo de 50 aminoácidos, comenzando en un codón ATG y teniendo solapamiento mínimo con sus vecinos. Como era de esperar, SfCoIA mostró contener los 37 genes esenciales (Garavaglia *et al.* 2012).

Los análisis de homología revelaron que la mayoría de los ORFs fueron compartidos entre los distintos aislamientos de SfMNPVs, pero también hubieron diferencias significativas en un conjunto de *loci* (ORFs N° 005/007/023/024/033/112/124/131) que tenían valores inferiores al 75 %, cuando el promedio de identidad fue de  $98,5 \% \pm 5,5$ ; o directamente mostraron su ausencia con respecto a los ortólogos putativos. Así, la región que incluía los ORFs 005/006/007 (Figura 1A) presentó alta variabilidad, probablemente debido a que en realidad no sea una región codificante, dado que los ORFs predichos codificarían polipéptidos muy pequeños, estando asociada tal vez a otras funciones virales, tales como la replicación genómica (Rohrmann 2013). Una situación muy diferente ocurrió con SfCoIA ORFs 023 y 024 (Figura 1B). Ambos genes no se encontraron en los otros genomas de SfMNPV, aunque estas secuencias tienen similitud con ORFs predichos en miembros del grupo II de los alfabaculovirus. Por el contrario, SfNicB, Sf19 y Sf3AP2 tenían un ORF en ese lugar (023, 022 y 023, respectivamente) no presente en SfCoIA, pero con un ortólogo en el genoma de SpfrGV (ORF099) (Cuartas *et al.* 2015). Tal reemplazo (2 genes adquiridos en



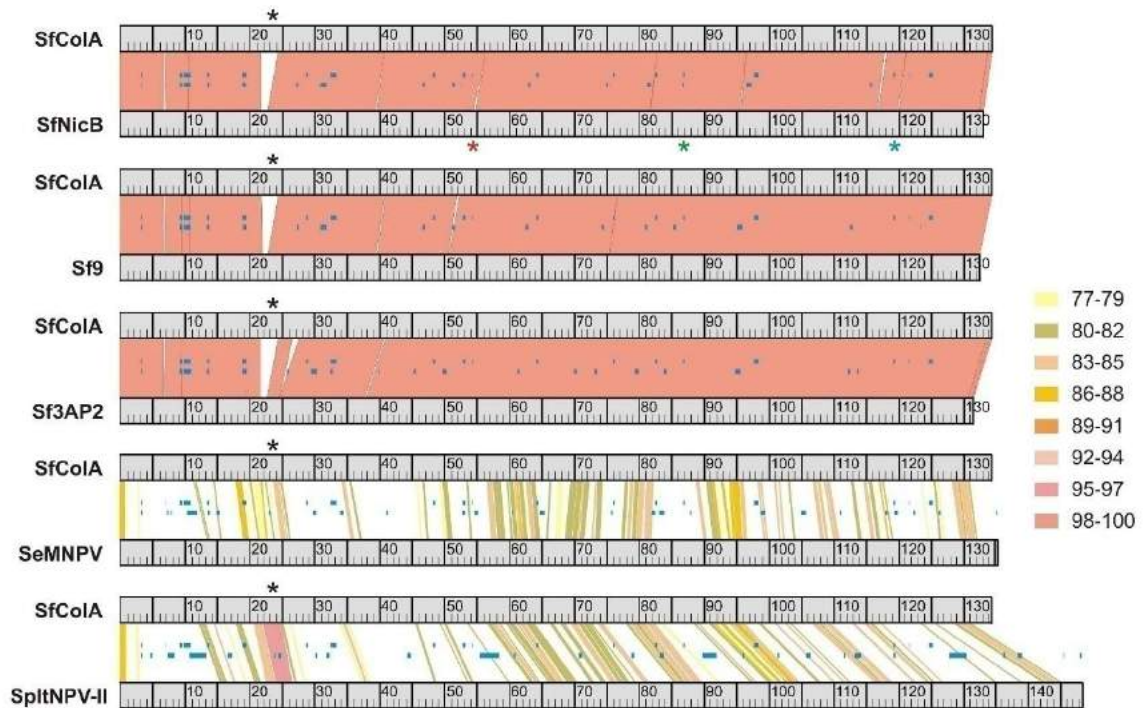
comparación con 1 perdido) podría ser considerado un producto de recombinación y THG, tal como se mostrará en una sección posterior.

Otra localización del genoma que tuvo diferencias fue la región de los ORFs 027 y 028 (Figura 1C). Esto fue debido a una deleción en Sf3AP2 que afectó al extremo 3' del gen *egt* (ecdisteroide UDP-glucosiltransferasa). Los ORFs 033 y 124 también presentaron valores de similitud más bajos que los esperados debido a la presencia de microdeleciones (Figura 1D). En tanto, el ORF131 no presentó un ortólogo anotado en SfNicB (Figura 1E). Con respecto a los *loci* no codificantes, las regiones homólogas de baculovirus (*hr*) son quizás el ejemplo más relevante conformado por repeticiones que se dispersan a través de sus genomas (Rohrmann *et al.* 2013). Todas los SfMNPV descritos previamente presentaron 8 *hrs* intercaladas en diferentes lugares, mientras que SfColA mostró 7, dado que carecía de *hr-3* (Figura 1F).

**Figura 1.** Organización del genoma de SfMNPV CoIA. Las ilustraciones muestran los locide SfColA donde hay diferencias con respecto a los otros genotipos de esta especie SfMNPV NicB (SfNicB), SfMNPV 19 (Sf19) y SfMNPV 3AP2 (Sf3AP2). En todos los casos se resaltan en cada locus los SNPs (polimorfismos de un solo nucleótido, asteriscos), indeles (inserciones-deleciones, círculos rellenos que indican entre paréntesis el número de nucleótidos añadidos o suprimidos) y los ORFs anotados (mostrados como flechas). A. Región

que contiene los ORFs 005/006/007 de SfCoIA. Las casillas blancas indican secuencias compartidas por alfabulovirus y las repeticiones directas se muestran como triángulos negros. B. Región que contiene ORFs 023/024 de SfCoIA. Las secuencias implicadas en la sustitución de genes están sombreadas y los ORFs situados en esa posición se muestran de color diferencial (blanco en SfCoIA y negro en los otros). El ORF023 de SfNicB y Sf19 se anota como ORF022 en Sf3AP2. C. Región que contiene el gen *egt* en SfCoIA, SfNicB y Sf19. El gen desconocido anotado en todos los genomas aguas debajo de *egt* es ORF028 en SfCoIA, ORF027 en SfNicB, ORF026 en Sf19 y ORF027 en Sf3AP2. La región delecionada en Sf3AP2 está sombreada en gris. D. Regiones que contienen los ORFs 033 y 124 de SfCoIA. Los ortólogos del primero en SfNicB y en Sf3AP2 están anotados como ORF032. Los ortólogos de la segunda secuencia en Sf19 y Sf3AP2 se anotaron como ORF121 y ORF122, respectivamente. E. Región que contiene los ORFs 131 y 131a de SfCoIA. Los ortólogos en Sf19 y Sf3AP2 son ORF 127a / 128 y ORF 129/130, respectivamente. Cuatro SNPs y una deleción determinaron la ausencia de una secuencia codificante equivalente al ORF131 de SfCoIA en el genoma de SfNicB. El gen *p26* en SfNicB tiene una inserción de 60 nt. F. Representaciones genómicas de la distribución de regiones homólogas (hrs). (Figura adaptada de Barrera *et al.* 2015).

Todos los resultados anteriores fueron confirmados por un estudio de colinealidad entre genomas, los cuales mostraron una alta conservación de secuencia y organización entre los genotipos de la especie SfMNPV (Figura 2). Las principales excepciones incluyeron el lugar donde SfCoIA perdió un fragmento de ~ 1.470 pb y adquirió otro de ~ 2.970 pb (ORFs 023 y 024), presentando similitud con regiones de SpltNPV-II, y otras 3 pequeñas inserciones presentes sólo en SfNicB.

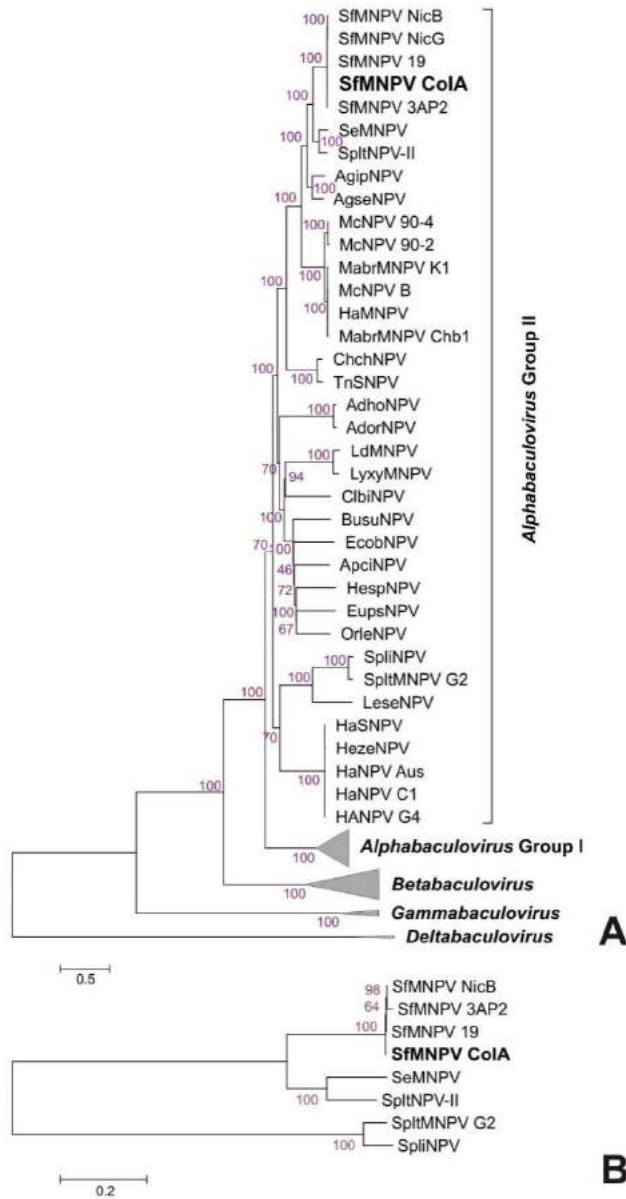


**Figura 2.** Sintenia . Se muestran comparaciones individuales de genomas entre SfMNPV CoIA (SfCoIA) y los otros genotipos de esta especie SfMNPV NicB (SfNicB), SfMNPV 19 (Sf19) y SfMNPV 3AP2 (Sf3AP2), SeMNPV

y SpltNPV-II. Los tamaños del genoma se representan como reglas y se utiliza una clave de colores para mostrar porcentajes de similitud. El *locus* donde se localizan los ORFs 023 y 024 de SfCoIA se representa con un asterisco negro. Los otros asteriscos indican las ubicaciones donde SfNicB tiene inserciones 309 pb (rojo), 73 pb (verde) y 60 pb (azul). Los bloques azules en el centro de cada gráfico indican regiones ricas en AT. (Figura adaptada de Barrera *et al.* 2015).

Posteriormente, el análisis filogenético basado en las 37 proteínas conservadas reprodujo la agrupación en cuatro géneros reconocidos por la clasificación actual de la familia viral (Figura 3A). SfCoIA y los otros SfMNPV formaron un clado que se incluyeron en el Grupo II de *Alphabaculovirus*, siendo las especies más cercanas SeMNPV y SpltNPV-II. Por otro lado, se realizó otra inferencia con un grupo menor de especies basada en 100 proteínas conservadas (Figura 3B). Este estudio revalidó la consistencia de las relaciones de SfMNPV con SeMNPV y SpltNPV-II, y también resaltó la dificultad de encontrar agrupaciones entre los diferentes genotipos de los baculovirus que infectan a *Spodoptera* spp.

**Transferencia horizontal de genes entre especies.** La diferencia más importante detectada entre los distintos SfMNPVs fue la adquisición de la secuencia que se produjo en SfCoIA. Esto implicó



**Figura 3. Inferencia filogenética para SfmNPV ColA. A.** Cladograma basado en un concatémero construido con las 37 proteínas compartidas en *Baculoviridae* obtenidas a partir de 74 genomas y SfmNPV ColA. El árbol filogenético fue inferido utilizando el programa MEGA 5. Los cuatro géneros están indicados y los clados correspondientes a *Alpha*- (Grupo I), *Beta*- y *Gammabaculovirus* se colapsaron para preservar el espacio. **B.** Cladograma basado en un concatémero construido con 100 proteínas homólogas obtenidas a partir de 8 genomas baculovirales incluyendo SfmNPV ColA. (Figura adaptada de Barrera *et al.* 2015).

probablemente la adquisición de 2 genes a partir de otra especie de baculovirus, y la pérdida de un gen presente en todos los restantes SfmNPV. Un estudio detallado mostró que los ORF023 y ORF024 de SfmNPV ColA estaban estrechamente relacionados con ORFs de SpltNPV-II, con valores de

similitud de aproximadamente un 95 % (Figura 2). Así, se utilizaron diferentes enfoques para explorar la hipótesis de la ocurrencia de una recombinación homóloga entre genotipos de SfMNPV y SpltNPV-II. El primero de ellos consistió en un análisis de similitud relativa entre la región genómica implicada en la mutación estructural de SfColA y las equivalentes en los otros SfMNPV, y también con SeMNPV y SpltNPV-II. De este modo, se observó que SfColA presentaba una baja similitud con respecto a todos los otros SfMNPVs, aunque los genes *quitinasa* (región aguas arriba) y *gp37* (región aguas abajo) eran casi idénticos (Figuras 4A, B, C). Por el contrario, la similitud aumentó cuando se comparó con SeMNPV (Figura 4D) y alcanzó el valor máximo con SpltNPV-II (Figura 4E). Otro enfoque basado en análisis de *bootscanning* validó los resultados anteriores, mostrando que un ancestro reciente de SpltNPV-II habría sido el donante del DNA incorporado en SfColA mediante recombinación homóloga (Figura 4F).

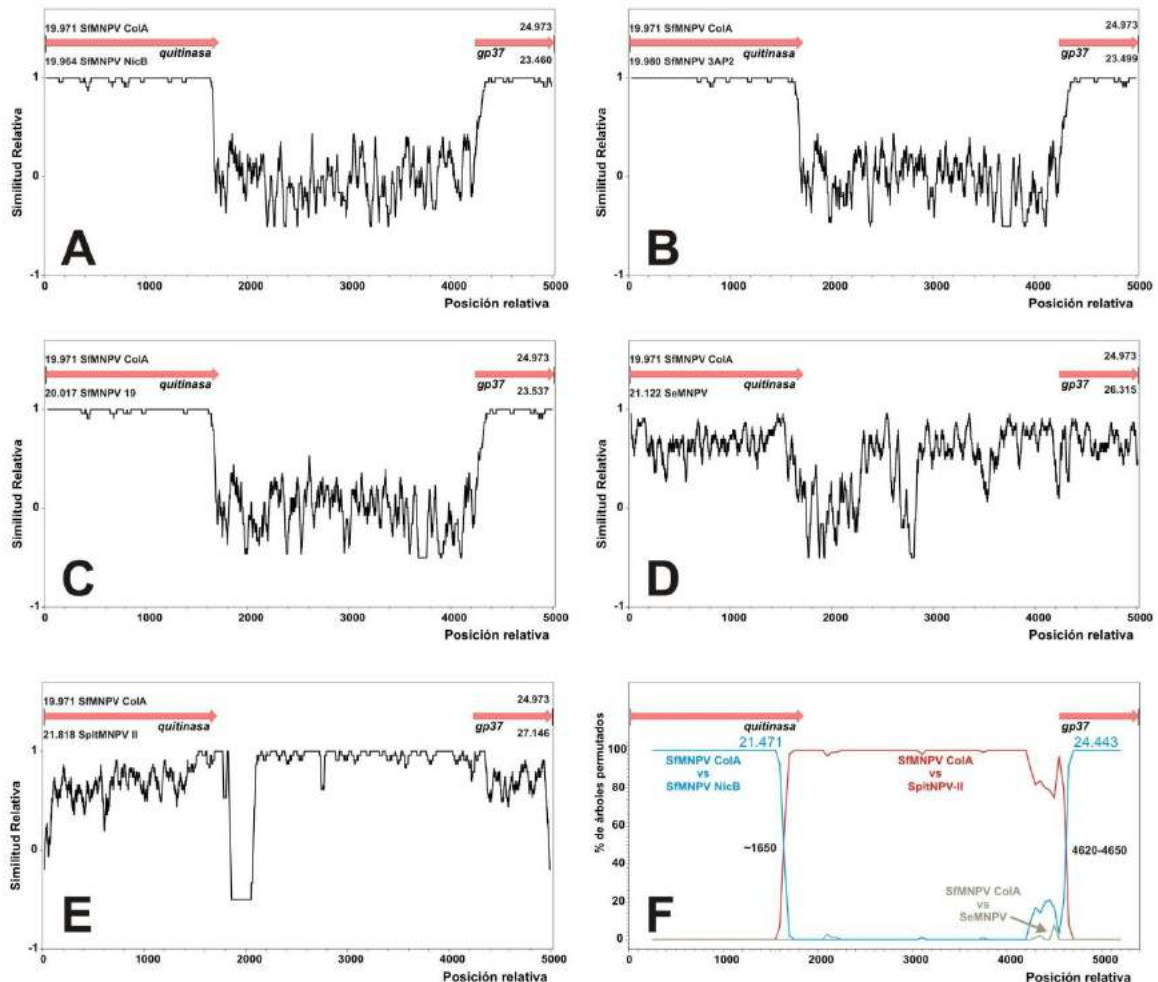
En un trabajo previo sobre SeMNPV se realizó un estudio del contenido de GC para demostrar un evento de THG mediado por transposición (Thézé *et al.* 2014). Este particular enfoque no se basa en alineamientos de secuencias, y por tanto, arroja otro tipo de evidencias. Por ello, se decidió llevar a cabo una aproximación similar para analizar la región potencialmente involucrada en una THG en SfColA (Figura 5). Así se observó que el perfil de GC en la región recombinante del aislamiento colombiano era más similar a SpltNPV-II que a los otros SfMNPV (43,3 % de contenido de GC en SfColA y 43,1 % de SpltNPV-II, en comparación con 35,7 % de SfNicB / Sf19 / Sf3AP2). Por el contrario, las regiones aguas arriba y aguas abajo (genes *quitinasa* y *gp37*) tuvieron un patrón completamente diferente, con valores similares al promedio de GC (40,3 % en SfMNPVs comparado con 45 % en SpltNPV-II).

En tanto, para sumar más evidencias se calcularon las distancias génicas empleando el modelo de Kimura 2-parámetro (K-2-P). Este enfoque reveló una relación muy estrecha entre los ORF023 y ORF024 de SfColA respecto a los ORF020 y ORF021 de SpltNPV-II (valores de 0,023 y 0,024, respectivamente), expresando distancias mayores de 0,015 pero menores a 0,050, rango asumido como tolerable para considerar que dos genotipos pertenecerían a una misma especie (Jehle *et al.* 2006). En consecuencia, no habría pasado tiempo suficiente para que se acumularan cambios puntuales y microestructurales en la región génica capturada, dado que las mismas compartieron propiedades informativas que las harían pertenecer a una misma especie (SpltNPV-II), en contraposición a lo estimado para las secuencias flanqueantes (*quitinasa* y *gp37*), las cuales mostraron sesgos informativos típicos de especies distintas (SpltNPV-II y SfMNPV). Todo el análisis antes mencionado sugiere que la recombinación homóloga habría ocurrido entre ancestros recientes de SfMNPV y SpltNPV-II, causando la sustitución de ~ 1.470 pb (incluyendo la *hr-3* y el ORF023 de SfNicB / Sf3AP2 u el ORF022 de Sf19) por ~ 2.970 pb portando 2 genes completos que tienen gran similitud con los ORFs 020 y 021 de SpltNPV-II, más un gen truncado similar al ORF019 de SpltNPV-II. Los puntos de interrupción parecían estar dentro de los ORF de *quitinasa* (alrededor de la posición 21.471 en SfColA) y *degp37* (alrededor de la posición 24.443 en SfColA), restaurando la continuidad de ambos marcos. Con respecto al homólogo del ORF019 de SpltNPV-II en SfColA, un análisis de secuencia reveló 8 deleciones diferentes (11 pb, 240 pb, 11 pb, 3 pb, 1 pb, 3 pb, 1 pb



y 11 pb, ordenados de ATG al codón de parada) dando como resultado un cambio de marco y la pérdida de funcionalidad.

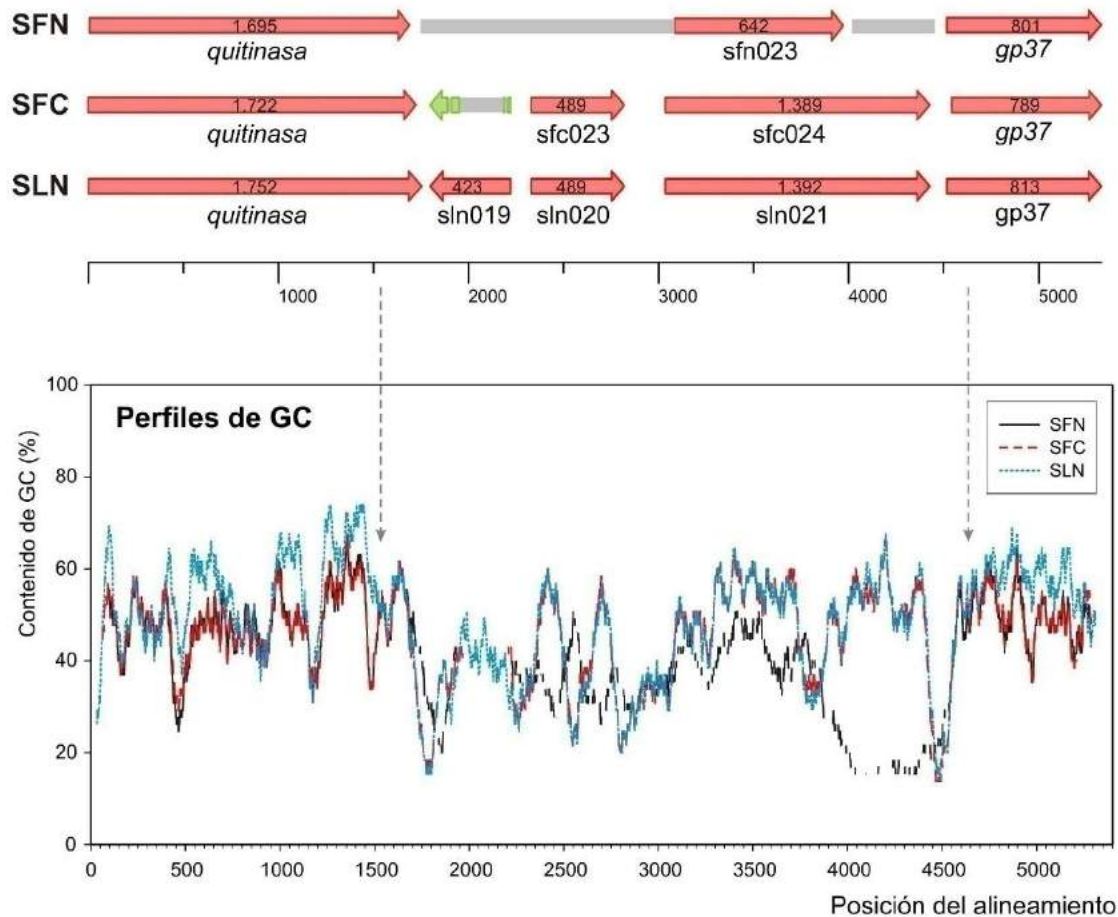
**ORF023 y ORF024 de SfCoIA.** Para determinar si los ORF023 y ORF024 eran unidades transcripcionales activas, se examinaron mediante RT-PCR muestras de rNAtotal obtenidas a partir de larvas de *S. frugiperda* infectadas oralmente con SfCoIA (Figura 6). Para este análisis, se incluyeron como referencias el ORF001 (*poliedrina*; gen muy tardío) y el ORF143 (*ie-0*; gen temprano). De este modo, el hecho de que se obtuvieran los productos de amplificación con los tamaños esperados (214 pb -ORF023-, 166 pb -ORF024-, 255 pb -ORF001- y 163 pb -ORF143-) aportó evidencia de la actividad de estos genes. También, este enfoque experimental mostró que las transcripciones del ORF023 suceden a partir de las 10 hpi, mientras que el ORF024 comenzó a producir mRNA a las 6 hpi.



**Figura 4. Transferencia horizontal de los ORFs 023 y 024.** El proceso de recombinación entre ancestros de SfMNPV ColA y SpltMNPV-II fue estudiado por parcelas de similitud y análisis *bootscanning*. Las regiones analizadas fueron las que contienen los ORFs 023 y 024 de SfCoIA, más *quitinasa* y *gp37*. En todos los casos, las flechas coloreadas representan los ORFs. Las posiciones del genoma se indican al principio y al final de las regiones analizadas (escala pb). Los gráficos de similitud se indican en negro y se utilizan diferentes colores

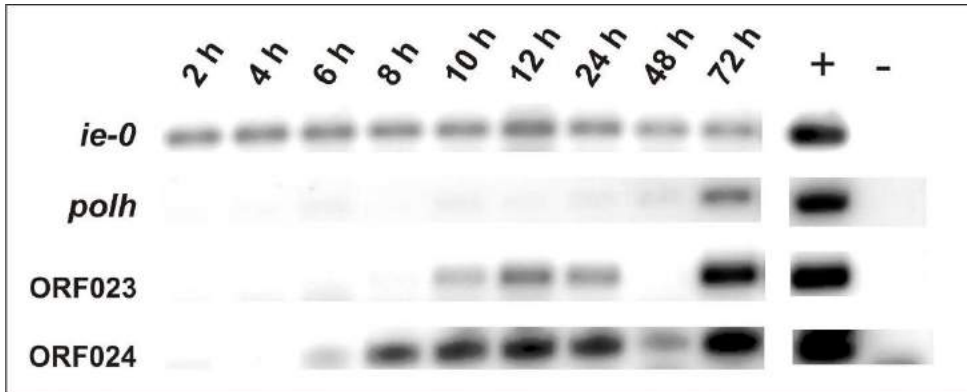
(explicados en los gráficos). **A.** Gráfico de similitud entre SfMNPV CoIA y SfMNPV NicB. **B.** Gráfico de similitud entre SfMNPV CoIA y SfMNPV 3AP2. **C.** Gráfico de similitud entre SfMNPV CoIA y SfMNPV 19. **D.** Gráfico de similitud entre SfMNPV CoIA y SeMNPV. **E.** Gráfico de similitud entre SfMNPV CoIA y SpltNPV-II. **F.** *Bootscanning* usando SfMNPV CoIA, SfMNPV NicB, SeMNPV y SpltNPV-II. (Figura adaptada de Barrera *et al.* 2015).

También se realizaron estudios predictivos para las proteínas ORF023 y ORF024 de SfCoIA. Lo más destacado de ellos mostró que la primera tendría un dominio fosfatasa similar a la *polinucleótido quinasa 3 fosfatasa* de *Schizosaccharomyces pombe* (PNK1; Meijer *et al.* 2002) que desempeña un papel en la reparación de rupturas individuales en el DNA. En tanto, el polipéptido codificado por el ORF024 reveló la presencia de un motivo transmembrana y la pertenencia a la Superfamilia Facilitadora Principal (MFS), proteínas permeasas que actúan como transportadores secundarios en la célula (Reddy *et al.* 2012). Ambas proteínas serían auxiliares y colaborarían para que SfCoIA sea el genotipo prevalente circulando por larvas de *Spodoptera frugiperda* colombianas, dando valor fenotípico para colaborar en la fijación de este evento de THG.





**Figura 5. Perfil de GC en el locus que contiene los ORFs 023 y 024 de SfMNPV CoIA.** Los contenidos de GC (%) en SfMNPV CoIA, SfMNPV NicB y SpltNPV-II se analizaron en el locus de cada genoma donde se habría producido el proceso de recombinación. Los perfiles se muestran con diferentes colores, mientras que los genes se representan con flechas. Las cajas grises no representan secuencias y se usan para facilitar la comprensión de las posiciones de los genes *quitinasa* y *gp37* entre los genomas analizados. (Figura adaptada de Barrera *et al.* 2015).



**Figura 6. Cinética de transcripción de los ORFs 023 y 024 de SfMNPV CoIA.** Larvas de *Spodoptera frugiperda* fueron expuestas a SfMNPV CoIA y se aislaron RNAs a partir de individuos sacrificados en diferentes intervalos después de la infección. A continuación, se generó cDNA con cebador poliT para cada muestra, y se realizaron ensayos de PCR usando cebadores específicos que amplifican fragmentos de diferentes ORFs del genoma de SfMNPVCoIA *poliedrina* (*polh*), *inmediatamente temprano0* (*ie-0*), ORF023 y ORF024. La figura muestra un recorte de la foto con las bandas de amplificación resueltas por electroforesis en gel de agarosa. El genoma de SfMNPV CoIA se usó como control positivo y se utilizó agua como control negativo. (Figura adaptada de Barrera *et al.* 2015).

## Conclusiones

Los baculovirus y otros virus que tienen genomas grandes de dsDNA evolucionan principalmente debido a la acumulación de mutaciones estructurales (inserciones, deleciones, reemplazos, inversiones, translocaciones) que afectan el contenido de genes, y por ende, la portabilidad de funciones esenciales y auxiliares. En estos procesos, los fenómenos de recombinación y transposición parecerían ser los mecanismos más relevantes, pudiendo conducir a eventos de THG. Un análisis profundo realizado sobre los baculovirus ha revelado la existencia de un "genoma núcleo" representado por 37 genes que codifican factores esenciales, los cuales acumularon cambios puntuales o microestructurales desde el ancestro común (Garavaglia *et al.* 2012). Pero también, se ha visto que estos virus portan secuencias adquiridas a partir de otras entidades, definiendo un "genoma plástico" con regiones propias para cada género, y otras presentes sólo en algunas especies o variantes. Hasta el día de hoy existe un consenso que establece que los genes compartidos por todas las especies suelen estar involucrados en funciones centrales para completar un ciclo viral; por el contrario, las secuencias codificantes presentes en el genoma

plástico producirían proteínas auxiliares que colaborarían en procesos virales, aunque no de manera esencial para producir progenie infecciosa, pero sí aumentando su aptitud para perpetuarse en la naturaleza.

En particular, el genoma de SfCoIA estudiado en este trabajo habría experimentado recientemente un reemplazo de secuencia, perdiendo 1 gen y ganando 2 nuevas secuencias codificantes. La ubicación donde se produjo este evento ha sido descrita como hipervariable en otras variantes de SfMNPV, donde suelen encontrarse diferentes deleciones (Barrera *et al.* 2013). Es interesante notar que esta región incluye genes auxiliares como *egt*, el productor de una tirosin-fosfatasa (*ptp*), *quitinasa* y *catepsina*, cuyos productos tienen actividades que afectan a la fisiología, el desarrollo, el comportamiento y la integridad del hospedador, pero que podrían ser quitados sin comprometer la formación de progenie viral. Curiosamente, esta ubicación también contiene una región homóloga, la *hr-3*, un tipo de secuencias que han sido reconocidas como facilitadoras de procesos de recombinación (Erlandson 2009). Por el contrario, la mayoría de las otras *hrs* están ubicadas en la cercanía de genes esenciales, disminuyendo así la aptitud de los potenciales virus recombinantes donde se vean afectadas tales localizaciones debido a la posible pérdida de funciones centrales. En consecuencia, el *locus* que contiene a *lahr-3* parecería ser una región propensa a sufrir y tolerar mutaciones estructurales.

La recombinación homóloga es un importante mecanismo evolutivo que podría ser utilizado como una estrategia viral para obtener ventajas que colaboren en la adaptabilidad a entornos cambiantes. Para que este tipo de interacciones ocurra, es necesario que los dos genomas coexistan en una misma célula, tengan similitudes de secuencia, y se estén replicando. Por ejemplo, eventos de coinfección artificial con AcMNPV y BmNPV en larvas y en cultivo celular han demostrado que la recombinación homóloga puede suceder entre virus pertenecientes a dos especies diferentes (Kamita 2003). También, se ha reportado que algunos genes de SpfrGV fueron adquiridos por THG a partir de otras especies de baculovirus, incluyendo SpltNPV-II (Cuartas *et al.* 2015), la especie que ha sido identificada como donante de DNA para los ORFs 023 y 024 de SfCoIA. De hecho, SpfrGV contiene un gen ortólogo (ORF099) al ORF023 de SfNicB, al ORF022 de Sf19 y al ORF023 de Sf3AP2, que es la secuencia perdida en SfCoIA. Esto sugeriría que procesos de recombinación homóloga serían posibles ocurrió entre estos virus que naturalmente pueden coinfectar larvas de *Spodoptera frugiperda*. Sobre este último punto cabe señalarse que *Spodoptera litura* y *Spodoptera frugiperda* son insectos polípagos que habitan en cultivos como el arroz, el maíz, el algodón y el tabaco, en regiones subtropicales tanto en el Viejo como en el Nuevo Mundo (USDA 2003). *S. litura* se ha registrado en 80 especies de plantas (Jain y Das 2004), mientras que *S. frugiperda* se ha descrito en 186 (Casmus *et al.* 2010), muchas de ellas compartidos entre ambos lepidópteros. Por lo tanto, la coinfección natural de variantes de SpltNPV y SfMNPV podría ocurrir en el mismo hospedador. Ambas especies tienen secuencias similares y una organización genómica parecida, y se ha informado que SpltNPV puede infectar líneas celulares derivadas de *Spodoptera frugiperda*, como Sf9 y Sf21 (Jain y Das 2004).

La evidencia anterior y la derivada de los estudios bioinformáticos proporcionados en este trabajo apoyan la hipótesis de que la recombinación homóloga es utilizada por los baculovirus en la naturaleza para adquirir variabilidad. En consecuencia, el genoma de SfCoIA podría ser una prueba natural para afirmar que la THG es explotada por los organismos y los virus para aumentar

su aptitud y así adquirir un éxito reproductivo superior, asegurando su permanencia en la naturaleza. Y desde un punto de vista biotecnológico, la cisgénesis (incorporación de genes en un individuo derivados de otro individuo de la misma especie) surge como una estrategia posible para generar variantes más aptas. En este caso particular, los estudios pangenómicos sobre las especies baculovirales (como el aquí realizado) podrían conducir a la propuesta y generación de nuevas variantes virales, las cuales expresen una mayor potencia para su aplicación en el control biológico de plagas.

### Agradecimientos

Este trabajo se realizó con fondos de CORPOICA y de un subsidio multilateral financiado por COLCIENCIAS (Colombia) y CONICET (Argentina). GPB y LFV son investigadoras de CORPOICA (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria). MAP es investigador de la Fundación Instituto de Inmunología (Colombia) y profesor de la Universidad del Rosario, Bogotá, Colombia. PDG y MNB son miembros de la Carrera de Investigación del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONICET) y profesores de la UNQ (Universidad Nacional de Quilmes, Bernal, Buenos Aires, Argentina).

### Referencias

- ALTSCHUL, S. F.; MADDEN, T. L.; SCHAFFER, A. A.; ZHANG, J.; ZHANG, Z.; MILLER, W.; LIPMAN, D. J. 1997. Gapped BLAST and PSI-BLAST: a new generation of protein database search programs. *Nucleic Acids Res.* 25:3389-3402.
- BARRERA G.P.; WILLIAMS, T.; VILLAMIZAR, L.; CABALLERO, P.; SIMÓN, O. 2013. Deletion genotypes reduce occlusion body potency but increase occlusion body production in a Colombian *Spodoptera frugiperda* nucleopolyhedrovirus population. *PLoS One.* 2013;8,8(10): e77271.
- BARRERA, G. P.; BELAICH, M. N.; PATARROYO, M. A.; VILLAMIZAR, L. F.; GHIRINGHELLI, P. D. 2015. Evidence of recent interspecies horizontal gene transfer regarding nucleopolyhedrovirus infection of *Spodoptera frugiperda*. *BMC Genomics.*16:1008.
- CARVER, T.; BERRIMAN, M.; TIVEY, A.; PATEL, C.; BÖHME, U.; BARRELL, B.G.; PARKHILL, J.; RAJANDREAM, M.A. 2008. Artemis and ACT: viewing, annotating and comparing sequences stored in a relational database. *Bioinformatics.* 24:2672–2676.
- CAZMUS, A.; JUÁREZ, L.; SOCÍAS, G.; MURÚA, M.G.; PRIETO, S.; MEDINA, S.; WILLINK, E.; GASTAMINZA, G.2010. Revisión de los hospederos del gusano cogollero del maíz, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina.* 69:209-231.
- CLARK, P. L.; MOLINA-OCHOA, J.; MARTINELLI, S.; SKODA, S. R.; ISENHOUR, D. I.; LEE, D. J.; KRUMM, J. T.; FOSTER, J. E. 2012. Population variation of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, in western hemisphere. *Journal of Insect Science.* 7:05.
- CUARTAS, P. E.; BARRERA, G. P.; BELAICH, M.N.; BARRETO, E.; GHIRINGHELLI, P. D.; VILLAMIZAR, L.F. 2015. The complete sequence of the first *Spodoptera frugiperda* Betabaculovirus genome: a natural multiple recombinant virus. *Viruses.* 7(1):394-421. doi: 10.3390/v7010394.

- DREZEN, J. M.; GAUTHIER, J.; JOSSE, T.; BÉZIER, A.; HERNIOU, E; HUGUET, E.2016. Foreign DNA acquisition by invertebrate genomes. *J Invertebr Pathol.* pii: S0022-2011(16)30128-8.
- ERLANDSON, M. A. 2009. Genetic variation in field populations of baculoviruses: Mechanisms for generating variation and its potential role in baculovirus epizootiology. *Virologica Sinica.* 24:458-469.
- FELBERBAUM, R. S. 2015. The baculovirus expression vector system: A commercial manufacturing platform for viral vaccines and gene therapy vectors. *Biotechnol J.* 10(5):702-14.
- GARAVAGLIA, M. J.; MIELE, S. A. B.; ISERTE, J. A.; BELAICH, M. N.; GHIRINGHELLI, P. D. 2012. The *ac53*, *ac78*, *ac101* and *ac103* genes are newly discovered core genes in the Family *Baculoviridae*. *J. Virol.*86:12069-12079.
- HAASE, S.; SCIOCCO-CAP A.; ROMANOWSKI V. 2015. Baculovirus insecticides in Latin America: historical overview, current status and future perspectives. *Viruses.* 30;7(5):2230-67.
- HARRISON, R. L.; PUTTLER, B.; POPHAM, H. J. 2008. Genomic sequence analysis of a fast-killing isolate of *Spodoptera frugiperda* multiple nucleopolyhedrovirus. *J. Gen. Virol.* 89:775-790.
- JAIN, M.; DAS, R. H. 2004. Nucleotide sequence and molecular characterization of the structural glycoprotein *gp41* gene homologue of *Spodoptera litura* nucleopolyhedrosis virus (SpltNPV-I). *Mol Biol Rep.* 31(4):231-239.
- JEHLE, J. A.; LANGE, M.; WANG, H. L.; HU, Z.H.; WANG, Y.J.; HAUSCHILD, W. 2006. Molecular identification and phylogenetic analysis of baculoviruses from Lepidoptera. *Virology.* 346:180-193.
- KAMITA, S. G.; MAEDA, S.; HAMMOCK, B. D. 2003. High-frequency homologous recombination between baculoviruses involves DNA replication. *J Virol.* 77(24):13053-13061.
- KIMURA, M. 1980. A simple method for estimating evolutionary rates of base substitutions through comparative studies of nucleotide sequences. *J Mol Evol.* 16(2):111-120.
- KING, L. A.; POSSEE, R. D. 1992. The baculovirus expression vector system: a laboratory guide. Chapman and Hall, London.
- LOLE, K. S.; BOLLINGER, R. C.; PARANJAPE, R. S.; GADKARI, D.; KULKARNI, S. S.; NOVAK, N. G.; INGERSOLL, R.; SHEPPARD, H. W.; RAY, S, C. 1999. Full-length human immunodeficiency virus type 1 genomes from subtype C-infected seroconverters in India, with evidence of intersubtype recombination. *J Virol.*73:152-160.
- MEIJER, M.; KARIMI-BUSHERI, F.; HUANG, T.Y.; WEINFELD, M.; YOUNG, D. 2002. Pnk1, a DNA Kinase/Phosphatase required for normal response to DNA damage by gamma-radiation or camptothecin in *Schizosaccharomyces pombe*. *The Journal of Biological Chemistry.* 277:4050–4055.
- MIELE, S. A. B.; GARAVAGLIA, M. J.; BELAICH, M. N.; GHIRINGHELLI, P. D. 2011. Baculovirus: molecular insights on their diversity and conservation. *Int J Evol Biol.*15;doi: 10.4061/2011/379424.
- REDDY, V. S.; SHLYKOV, M. A.; CASTILLO, R.; SUN, E. E.; SAIER JR, M. H. 2012. The Major Facilitator Superfamily (MFS) Revisited. *FEBS J.* 2012;279:2022–2035.
- ROHRMANN, G. F. 2013. *Baculovirus Molecular Biology*. National Library of Medicine (US), NCBI, Bethesda, Md, USA. Tercera edición. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK114593/>. Fecha acceso: 1 de abril 2017.
- SALMINEN, M. O.; CARR, J. K.; BURKE, D. S.; MCCUTCHAN, F. E. 1995. Identification of breakpoints in intergenotypic recombinants of HIV type 1 by bootscanning. *AIDS Res Hum Retroviruses.* 11:1423-1425.

- SIEFERT, J. 2009. Defining the Mobilome. Horizontal Gene Transfer. *Methods in Molecular Biology*. Volumen 532, pp 13-27.
- SIMÓN, O.; PALMA, L.; WILLIAMS, T.; LÓPEZ-FERBER, M.; CABALLERO, P. 2012. Analysis of a naturally-occurring deletion mutant of *Spodoptera frugiperda* multiple nucleopolyhedrovirus reveals sf58 as a new per os infectivity factor of lepidopteran-infecting baculoviruses. *J. Invertebr. Pathol.* 109 (1):117-126.
- SIMÓN, O.; PALMA, L.; BEPERET, I.; MUÑOZ, D.; LÓPEZ-FERBER, M.; CABALLERO, P.; WILLIAMS, T. 2001. Sequence comparison between three geographically distinct *Spodoptera frugiperda* multiple nucleopolyhedrovirus isolates: Detecting positively selected genes. *Journal of Invertebrate Pathology* 107:33-42.
- TAMURA, K.; PETERSON, D.; PETERSON, N.; STECHER, G.; NEI, M.; KUMAR S. 2011. MEGA5: Molecular Evolutionary Genetics Analysis using maximum likelihood, evolutionary distance; maximum parsimony methods. *Mol Biol Evol.* 28:2731-2739.
- THÉZÉ, J.; CABODEVILLA, O.; PALMA, L.; WILLIAMS, T.; CABALLERO, P.; HERNIOU, E.A. 2014. Genomic diversity in European *Spodoptera exigua* multiple nucleopolyhedrovirus isolates. *J Gen Virol.* 95(10):2297-2309.
- THOMPSON, J. D.; GIBSON, T. J.; PLEWNIAK, F.; JEANMOUGIN, F.; HIGGINS, D. G. 1997. The CLUSTAL\_X windows interface: flexible strategies for multiple sequence alignment aided by quality analysis tools. *Nucl. Acids Res.* 25:4876-4882.
- THOMPSON, J. D.; HIGGINS, D. G.; GIBSON, T.J. 1994. CLUSTAL W: improving the sensitivity of progressive multiple sequence alignment through sequence weighting, position-specific gap penalties and weight matrix choice. *Nucl. Acids Res.* 2:4673-4680.
- USDA. 2003. Port information Network: quarantine status database. Department of agriculture. Riverdale. MD.
- WOLFF, J. L.; VALICENTE, F. H.; MARTINS, R.; OLIVEIRA, J. V.; ZANOTTO, P. M. 2008. Analysis of the genome of *Spodoptera frugiperda* nucleopolyhedrovirus (SfMNPV-19) and of the high genomic heterogeneity in group II nucleopolyhedroviruses. *Journal of General Virology.* 89:1202-1211.
- YANG, J.; WANG, J.; YAO, Z. J.; JIN, Q.; SHEN, Y; CHEN, R. 2003. GenomeComp: a visualization tool for microbial genome comparison. *J Microbiol Methods* 54(3):423-426.

/

## ***Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) y el futuro de la industria cítrica en Estados Unidos**

Alejandro A. Calixto<sup>1</sup> y Alistair H. Mckay<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ph.D. Dow AgroSciences LLC. – Crop Protection R&D. 33245 Mandrake Rd. Wesley Chapel, FL 33543 - Estados Unidos de América. [aacalixto@dow.com](mailto:aacalixto@dow.com)

<sup>2</sup>Ph.D. Dow AgroSciences LLC. – Crop Protection R&D. 3196 San Gabriel Av. Clovis, CA 93619 - Estados Unidos de América. [ahmckay@dow.com](mailto:ahmckay@dow.com)

---

**Resumen.** *Diaphorina citri* Kuwayama es uno de los dos vectores que transmite la bacteria *Candidatus Liberibacter* spp. en varias especies de cítricos. *C. Liberibacter* spp. es el causante de la enfermedad de más importancia en cítricos globalmente. *D. citri* fue detectado por primera vez en los Estados Unidos en 1998 en la Florida. Sin embargo *C. Liberibacter* no fue detectada sino hasta en el 2005. Este patógeno causa daños en la raíz limitando el flujo de azúcares y minerales esenciales para la planta. Se estima que desde la introducción de *D. citri* y *C. Liberibacter* spp. la producción cítrica en Estados Unidos ha disminuido en 50 % representando pérdidas de 3.6 billones de dólares. Manejo Integrado de *D. citri* incluye control químico, cultural y biológico. Control químico intensivo es requerido para manejar a *D. citri* y prevenir transmisión del patógeno y daños a la planta. Control biológico con parasitoides es compatible en áreas donde las poblaciones de *D. citri* son bajas y el uso de insecticidas es de uso mínimo. Control cultural radica principalmente en la remoción de árboles infectados y la protección en invernaderos donde se producen las plántulas. Otras alternativas están siendo consideradas como la producción de variedades resistentes y el desarrollo de cítricos y psílidos modificados genéticamente. Otros avances incluyen el uso de virus y CRISPR para combatir al vector y al patógeno. El objetivo de esta revisión es la de proveer información general sobre la producción cítrica en los Estados Unidos al igual sobre la ecología y últimos avances en el manejo de *D. citri*.

**Palabras clave.** Triángulo vector-patógeno-huésped. Transmisión. Manejo adaptativo.

**Abstract.** *Diaphorina citri* Kuwayama is one of the two vectors of the bacteria *Candidatus Liberibacter* spp. on different species of citrus. *C. Liberibacter* spp. is responsible of the most serious disease in citrus worldwide. *D. citri* was first detected in the United States in Florida in 1998. However *C. Liberibacter* spp. was not detected until 2005. This pathogen damages the root system limiting the movement of sugars and essential nutrients for the plant. It is estimated that since *D. citri* and *C. Liberibacter* spp. introduction, citrus production in the United States has declined 50 % and translated in 3.6 billion dollars in total losses. Integrated management of *D. citri* involves the use of chemical, cultural and biological practices. Intensive chemical control is required to manage *D. citri* and to prevent pathogen transmission and damage to the plant. Biological control using parasitoids is compatible in areas where *D. citri* populations are low and insecticide use is minimal. Cultural control mainly involves removal of infected trees and protection in greenhouses where seedlings are produced. Other alternatives are being considered



such as the development of resistant rootstocks and cultivars and the development of genetically modified psyllids. Other developments involves the use of viruses and CRISPS to fight the vector and the pathogen. This objective of this review is to provide with general information about citrus production in the United States as well information about the ecology and latest developments for the management of *D. citri*.

**Key words.** Triangle vector-pathogen-host plant. Transmission. Adaptive management.

El Psílido Asiático de los Cítricos (*Diaphorina citri* Kuwayama) es el principal vector de la bacteria *Candidatus Liberibacter spp.*; comúnmente conocida como “Huanglongbing” (nombre en Chino que significa “brote amarillo” o “dragón amarillo”). Esta bacteria es la causante de la enfermedad “greening” de los cítricos la cual es la más importante y devastadora de estos cultivos a nivel mundial (Bové 2006). *D. citri* al igual que el patógeno se encuentran presente en varios países donde la producción citrícola es de suma importancia incluyendo China, Brasil y México. *D. citri* fue detectado por primera vez en los Estados Unidos en 1998 al sur de la Florida (Halbert 1998). Actualmente se ha reportado en diez estados (Alabama, Arizona, California, Carolina del Sur, Florida, Georgia, Luisiana, Misisipi, Texas y Hawái). Florida, California y Texas son los mayores productores de cítricos del país. *D. citri* al igual que el patógeno se encuentran presentes en estos tres estados, en California actualmente se realizan tareas de erradicación, en Florida y Texas se encuentra establecido se mantienen programas de manejo para suprimir las poblaciones de *D. citri* y reducir la transmisión del patógeno. El vector y el patógeno se encuentran presentes en cada hectárea cultivada e igualmente en cítricos sembrados en zonas residenciales y parques de la Florida y Texas (Rogers *et al.* 2016).

### Producción citrícola en EUA

Los cítricos son un cultivo muy popular globalmente. Alrededor de unos 150 países tienen áreas destinadas para su producción. La mayor parte de cítricos es cultivada en el Hemisferio Norte principalmente en China, Estados Unidos y en algunas regiones de Europa. Sin embargo Brasil, localizado en el Hemisferio Sur, es el mayor productor de cítricos mundialmente (Agusti *et al.* 2014). Se estima que Brasil produce alrededor de 20 millones de toneladas, seguido por China con 19 millones y Estados Unidos con 10 millones. Brasil y los Estados Unidos concentran su producción en naranjas producidas principalmente para jugo, mientras que China se concentra en la producción de fruta fresca (mandarinas) (USDA 2017). En los Estados Unidos los mayores productores de cítricos se encuentran en la Florida (4.2 millones de toneladas/195.000ha), California (4 millones de toneladas/272.000ha) y Texas 263.000 toneladas/10.000ha). Florida es el mayor productor de fruta para jugos mientras California, Texas y Arizona son los mayores productores de fruta fresca (Putnam *et al.* 2016).

La introducción de *D. citri* y la subsecuente transmisión de *C. Liberibacter spp.* han resultado en una reducción significativa de la producción citrícola principalmente en la Florida. Se estima que la Florida ha perdido aproximadamente 50 % de sus cultivos citrícolas desde que HLB se confirmó en el estado en el 2005, alcanzando la producción más baja reportada en los últimos 50 años (Putnam *et al.* 2016).

### Introducción de *Diaphorina citri* en los Estados Unidos

*D. citri* se encuentra principalmente en áreas tropicales y sub-tropicales de Asia, América Latina, Estados Unidos, Medio Oriente. Fue encontrado por primera vez en Estados Unidos en Palm Beach en arboles de *Murraya paniculata* ("jazmin") alrededor de zonas residenciales. Hacia el 2001 esta especie se había detectado en 31 condados la mayor parte debido a la movilización de plantas infestadas provenientes de invernaderos (Halbert *et al.* 2002). La primera detección en Texas ocurrió en el 2001 cuando fue introducida accidentalmente en plántulas de *M. paniculata* provenientes desde Florida (French *et al.* 2001). En California fue introducido en el 2008 proveniente de México, actualmente se encuentra bien establecido en la zona sur del estado.

Existen dos posibles escenarios en los cuales *D. citri* pudo ser introducido en los Estados Unidos, el primero es que se haya desplazado naturalmente por Centro America desde el cono Sur ya que este se encontraba presente por varios años, o la segunda posibilidad es que fuera introducido directamente desde el Asia (Halbert and Manjunath 2004).

### Biología y Ecología de *Diaphorina citri*

Los adultos de *D. citri* son pequeños, su tamaño oscila entre 2.7 - 3.3mm con alas moteadas de color café y manchas más claras. El tamaño de los estados ninfales oscila desde los 0.25 - 2mm. Los huevos son de color amarillo los cuales son depositados en los brotes nuevos de la planta huésped empezando a eclosionar 3-4 días después de la postura. Las hembras fértiles son principalmente atraídas por estos. Los machos y hembras pueden copular varias veces y con diferentes individuos. Las hembras pueden llegar a depositar hasta 1900 huevos durante todo su estado adulto. Factores ambientales como humedad relativa and temperatura pueden influenciar el número de posturas por ciclo al igual que la duración de desarrollo de huevo a adulto, generalmente de 15 a 47 días. Los adultos pueden sobrevivir por varios meses (hasta 3 meses). En las zonas introducidas se observa que *D. citri* puede llegar a tener hasta 10 generaciones por año. *D. citri* no entra en diapausa pero las poblaciones en los Estados Unidos son relativamente bajas en la época de invierno cuando las temperaturas son bajas y el clima es seco (Hall *et al.* 2013).

*D. citri* presenta partes bucales adaptadas para picar y chupar, insertando el estilete en la planta huésped para alimentarse del floema (Bonani *et al.* 2010). Los adultos se alimentan principalmente de hojas frescas pero pueden alimentarse de todo tipo de hojas dependiendo el estado del huésped. Las ninfas prefieren brotes y hojas frescas las cuales constantemente producen secreciones cerosas de color blanco. Las hembras producen secreciones en forma de bolas pequeñas de color blanco mientras que los machos producen secreciones viscosas de color transparente (Hall *et al.* 2010). Los brotes y las hojas de donde los psílidos se alimentan pueden presentar deformaciones como resultado de la penetración del estilete y del consume de floema, esta deformación es comúnmente conocida como "escoba de bruja" (Rogers and Stansly 2012). *D. citri* se alimenta de especies citrícolas y de especies cercanas pertenecientes a la familia Rutacea. Se conocen alrededor de 48 especies de plantas que sirven como huésped de *D. citri* de las cuales 25 los son también de *Candidatus Liberibacter* spp. Sin embargo los huéspedes más preferidos son las de géneros *Citropis*, *Citrus* y *Murraya* (Halbert and Manjunath 2004).



Los adultos de *D. citri* no tienen gran capacidad de dispersión, no pueden sostener vuelos debido a la debilidad relativa de los músculos con respecto a su tamaño (Hall *et al.* 2013). Sin embargo puede desplazarse en eventos cortos y llegar a desplazarse hasta 2km en aproximadamente dos semanas sin tener en cuenta factores ambientales externos como viento que faciliten la dispersión de un lugar al otro (Lewis-Rosenblum *et al.* 2015).

### ***Candidatus Liberibacter spp.***

Es un complejo de tres proteobacterias gram-negativas que incluyen *Candidatus Liberibacter asiaticus* (CLas), *Candidatus Liberibacter africanus* y *Candidatus Liberibacter americanus* (Canales *et al.* 2016). Presentes en 40 países, son estas consideradas como los patógenos más devastadores de la industria citrícola en el mundo. Este patógeno es transmitido por los psílidos *Trioza erytreae* en el África y por *D. citri* en Asia y las Américas. *C. Liberibacter spp.* se desplaza rápidamente por el floema hacia la raíz después de la transmisión. La bacteria se propaga en tejidos de la raíz causando una pérdida aproximada del 40 % de densidad de la raíz. Los síntomas no se hacen evidentes hasta tres meses después de la infección inicial, estos síntomas se observan en el follaje inicialmente confundido con síntomas de deficiencia de micronutrientes. La bacteria rápidamente se propaga dentro del floema de la planta huésped causando desecamiento de las ramas, cambio de coloración en los brotes (de verde a color amarillo), manchas de color amarillo en las hojas que pueden ser confundidas con deficiencia de Zinc, malformación de la fruta (asimetría) y sabor desagradable de la fruta (Johnson *et al.* 2014). No existe un tratamiento efectivo para controlar o suprimir la bacteria en árboles infectados. Recientemente dos antibióticos recibieron un registro de emergencia para su uso en cultivos de cítricos (oxitetraciclina y estreptomycin) en la Florida, desafortunadamente las primeras impresiones de los cultivadores indican estos están siendo inefectivos en suprimir la concentración de la bacteria en los árboles.

La situación actual en la Florida es que los árboles infectados están perdiendo su capacidad de producir y sostener gran cantidad de frutos, a medida que la infección progresa en el árbol, la salud decrece hasta que finalmente muchos sucumben a la infección. Muchos de estos árboles deben ser removidos y eventualmente reemplazados con un nuevo. Algunos cultivadores han adoptado algunas medidas extremas para mantener la viabilidad y la producción de los árboles que incluye un alto uso de fertilizantes foliares (28 % Nitrógeno) y un manejo radical del vector usando insecticidas foliares y en el suelo para reducir la reinfección en los árboles y aumentar la cantidad de las concentraciones de la bacteria en los tejidos (Rogers and Stansly 2012).

### **Interacción entre *Diaphorina citri* y *Candidatus Liberibacter spp.***

*C. Liberibacter spp.* induce a la liberación de salicilato metílico por parte de la planta huésped para incrementar la atracción de *D. citri*. El resultado es un incremento en la tasa de ovoposición y consumo en plantas infectadas con el patógeno (Mann *et al.* 2012, Martini *et al.* 2014). Los psílidos, una vez atraídos a la planta empiezan rápidamente a alimentarse y adquiriendo el patógeno en menos de 30 minutos (Roistacher 1991). Después pasa un tiempo de

aproximadamente 25 días durante el cual la bacteria se reproduce dentro del psílido y se desplaza a varios tejidos incluyendo las glándulas salivares. Solamente algunos adultos sobreviven mientras la bacteria completa su ciclo dentro del vector, pero las ninfas de cuarto y quinto estado pueden adquirir el patógeno y luego transmitirlo en estado adulto. Por lo tanto psílicos desarrollados en arboles infectados tienen más chance de adquirir el patógeno comparado con psílido adultos que solo se alimentan de árboles infectados y luego se desplazan (Hall *et al.* 2013). Transmisión del patógeno ocurre horas después que el psílido ha comenzado a consumir y ha penetrado con el estilete los tejidos hasta el floema, se estima que requiere de 5 a 7 horas de consumo para transmitir la bacteria en el tejido de la planta (XU *et al.* 1988). Plantas infectadas pueden presentar estados asintomáticos o sintomáticos dependiendo del estado de incubación de la bacteria. Polymerase Chain Reaction (PCR) es actualmente usado para confirmar la infección por parte del patógeno. El diagnóstico positivo o negativo de acuerdo a este método puede ser afectada por varios factores, principalmente ambientales. Por ejemplo en cultivos en la Florida se ha encontrado que las concentraciones del patógeno en los tejidos de la planta varían de acuerdo a la temperatura y estación del año, siendo la concentración más abundante en las raíces cuando las temperaturas del suelo son altas (de más de 37°C) correspondiendo a la época de verano y de lluvias mientras que es más abundante en el follaje y el dosel cuando las temperaturas son más bajas (alrededor de 18°C) la cual corresponde a la época de invierno y más seca del año. Igualmente la abundancia de *D. citri* es más alta en la época de lluvias cuando los arboles producen más brote fresco y las temperaturas son más altas mientras que son más bajas en la época seca cuando los arboles producen menos brotes y las temperaturas son relativamente más bajas (Johnson *et al.* 2014, Moffis *et al.* 2016).

### **Impacto de *Diaphorina citri* y *Candidatus Liberibacter spp.* a la producción cítrica**

Actualmente se la producción de cítricos en la Florida ha sido reducida en un casi 50 %, se estima que las pérdidas han sido de aproximadamente 3.6 billones de dólares. En el año 2001 la producción anual de cajas de cítricos alcanzo los 280 millones provenientes de casi más de 320.000 hectáreas cultivadas. Para el año 2016 el número de cajas disminuyo a 140 millones provenientes solamente de 125.000 hectáreas, la más baja reportada en los últimos 50 años (Putnam *et al.* 2016). Las pérdidas son estimadas como resultado de la combinación de las pérdidas de las inversiones en el cultivo, una reducción la producción de la fruta y una redirección de las tierras a otras actividades como lo son la construcción de nuevas zonas residenciales. La reducción en la producción de la fruta está asociada a la caída prematura de la fruta, reducción de su tamaño y reducción de fruta que se forma después de la floración. Asociado con estas pérdidas cabe resaltar el incremento en los costos de la producción de aproximadamente \$1.150 por hectárea que incluyen el uso de insecticidas principalmente para el control de *D. citri* al igual que otras plagas secundarias como minadores de hojas y ácaros así como un incremento en el uso de fertilizantes foliares para manejar las deficiencias nutricionales ocasionadas por la infección de la bacteria (Muraro 2011, Hodges and Spreen, 2012).

### **Manejo actual de *Diaphorina citri***

El manejo ideal de este vector incluye el uso coordinado a larga escala de insecticidas selectivos (foliares y del suelo), la introducción de controladores biológicos y la activa remoción de árboles altamente infectados para prevenir la adquisición del patógeno. El objetivo final es la supresión no la erradicación de las poblaciones de *D. citri* y que resulten en una reducción en la infección/re-infección de los árboles. Existen dos factores principales que se deben tener en cuenta en para un manejo efectivo de *D. citri*, 1) la presencia de nuevo brote, generalmente sincrónico a lo largo del cultivo, y 2) la temperatura. Los brotes nuevos son esenciales para que las hembras depositen los huevos y para el desarrollo de los diferentes estados ninfales. Es común observar bajos número de psílidos cuando los brotes no están presentes en las arboles. La temperatura contribuye para el desarrollo de los diferentes estadios siendo optimas temperaturas entre los 20-30°C. A estas temperaturas las hembras pueden sobrevivir de 30 a 50 días y depositar hasta 800 huevos.

Teniendo en cuenta estas características se recomienda intensificar los programas de manejo usando insecticidas selectivos durante la época de verano. Sin embargo estos insecticidas se deben empezar de usar desde el principio del año para prevenir que las poblaciones alcancen números que sean difíciles de controlar. La frecuencia está determinada de acuerdo al tipo de producto y a que tan rápido *D. citri* re-infesta áreas tratadas con estos productos. En la Florida estas aplicaciones ocurren frecuentemente entre cada cuatro y seis semanas para productos foliares y aplicados en el suelo (Rogers and Stansly 2012, Hall *et al.* 2013, Rogers *et al.* 2016). Existen diferencias en el uso de insecticidas entre arboles jóvenes que aún no producen fruto comparado con árboles maduros y en producción. El objetivo en los arboles jóvenes que han sido recientemente trasplantados es la de prevenir la infección del patógeno por parte del vector. Estos árboles vienen libres de infección y certificados por invernaderos al igual que han sido tratados con dosis mínimas de imidacloprida que es aplicado directamente en el suelo. Luego de trasplantados esto arboles reciben dosis más altas en intervalos de 4-6 semanas. Este es el mejor método para controlar *D. citri* sin afectar enemigos naturales, desafortunadamente la cantidad de compuesto que se requiere por árbol se incrementa a medida que el árbol crece y solo proveyendo protección de hasta 4 años. En arboles maduros el único medio de control efectivo es el del uso de productos foliares. Actualmente se encuentran registrados más de 20 diferentes compuestos activos (dentro de 8 grupos IRAC) para uso foliar y en el suelo en cultivos de cítricos en los Estados Unidos (Rogers *et al.* 2016).

Estudios sobre el uso de control biológico han mostrado resultados satisfactorios. Existen un gran número de enemigos naturales que contribuyen a la supresión de *D. citri* que incluyen varias especies de coccinélidos (Coleoptera, Coccinellidae), sifidos (Diptera Sifidae), crisopidos (Neuroptera: Crisopidae) y arácnidos (Araneae) (Hall *et al.* 2013). Existen varias especies de parasitoides que atacan *D. citri* y en particular dos especies que han demostrado ser altamente efectivas bajo condiciones de campo y en invernaderos. La avispa parasítica *Tamarixia radiata* (Waterson) y *Diaphorencyrtus aligarhensis* (Shafee, Alam & Agarwal) han sido introducidas en los Estados Unidos. *T. radiata* es un ectoparasitoide especializado en *D. citri*, una sola avispa puede llegar a matar más de 500 ninfas combinando depredación y parasitismo. *D. aligarhensis* es un endoparasitoide, un solo individuo puede llegar a matar más de 280 ninfas combinando depredación y parasitismo (Skelley and Hoy, 2004). Desafortunadamente programas de control biológico han sido poco compatibles con el uso de insecticidas debido a la gran incidencia de

árboles infectados y al umbral bajo de tolerabilidad hacia *D. citri*, por el riesgo de adquirir y transmitir la bacteria a arboles no infectados y recién trasplantados así como de reducir la re-infección en árboles que ya han sido infectados (Qureshi *et al.* 2009, (Pelz-Stelinski *et al.* 2010).

El control cultural radica en activamente detectar árboles que presenten síntomas de la infección bacteriana y removerlos inmediatamente. Insecticidas foliares son recomendados antes de remover los árboles para prevenir que sean transportados de un lugar a otro. Otra actividad que se recomienda es la de inspeccionar las plantas antes que sean transportadas desde los invernaderos al campo y la de realizar tratamientos profilácticos para eliminar los insectos de las plántulas. Finalmente se recomienda la remoción de árboles infectados en áreas urbanas a la vez de otras plantas huéspedes como los son *Murraya paniculata* (L.) Jack y *Severinia buxifolia* (Poir.) Ten. (Rogers and Stansly 2012, Hall *et al.* 2013)

### Futuro del manejo de *D. citri* y de la industria cítrica en Estados Unidos

Se estima que al ritmo de desaparición de los cultivos la industria perdería su capacidad de sostener su producción anual y competir con el mercado mundial en muy pocos años. Actualmente se realizan estudios encaminados a manejos del vector y al patógeno diferente a los mencionados con anterioridad. Una de las alternativas es la búsqueda de variedades resistentes que puedan ser usadas como rizoma con las diferentes variedades de cítricos. Existen dos fenotipos de *Poncirus trifoliata* L. los cuales han mostrado tener bajos números de psíidos. Esta especie es compatible en injertos de cítricos y ha mostrado ser resistente a *D. citri* y a otros insectos como *Phyllocnistis citrella* Stainton (Halbert & Manjunath, 2004, Krueger and Navarro 2007). El objetivo final mediante el desarrollo de variedades y rizomas resistentes es la de poner manejar el vector y el patógeno al mismo tiempo.

El área molecular promete también generar herramientas que contribuyan al manejo efectivo del vector y del patógeno. Se adelantan estudios usando ARN interferasa (ARNi) para interrumpir o regular algunos genes que influyen la mortalidad o la habilidad de adquirir y transmitir el patógeno. RNA de doble cadena es usado para atacar genes específicos, este puede ser incorporado al insecto por medio del floema si este es inyectado o absorbido por la planta mediante la raíz (Marutani-Hert *et al.*; 2010, Wuriyangan *et al.*; 2011). Otras herramientas que está siendo estudiadas es la de manipular o producir *D. citri* que puedan incrementar la mortalidad de sus poblaciones. Tres métodos están siendo evaluados en la actualidad, el primero es el de identificar y modificar virus que puedan afectar a *D. citri*, luego el de modificarlos incorporarlos al insecto causando que este muera. El segundo método es el de incorporar bacterias que ocurren naturalmente en varios insectos como lo es *Wolbachia spp.* Esta bacteria al parecer puede reducir la habilidad de *D. citri* de transmitir la el patógeno. El tercer método consiste en crear un *D. citri* con un material genético que permitir producir toxinas que destruyan la bacteria, prácticamente usar al insecto como el vehículo para destruir al patógeno (Telken *et al.* 2015). Otros adelantos recientes incluyen la manipulación del genoma de los arboles usando CRISPR-Cas9 para hacerlos resistentes a *D. citri* y *C. Liberibacter spp.* (Song *et al.* 2015) al igual el desarrollo de cítricos transgénicos resistentes a la bacteria usando un gen que aislado de plantas de *Arabidopsis*. Los resultados iniciales indican una alta resistencia a la bacteria, reducción de la severidad de la enfermedad con algunos árboles mostrando estar libre de infección hasta por 3 años (Dutt *et al.* 2015).

### Referencias

- AGUSTI, M; MESEJO, C; REIG, C. AND MARTINEZ-FUENTES, A. 2014. Citrus production. *In* Horticulture: Plants for People and Places 1: 159.195.
- BONANI, J. P.; FERERES, A.; GARZO, E.; MIRANDA, M. P.; APPEZZATO-DA-GLORIA, B.; LOPES, J.R.S. 2010. Characterization of electrical penetration graphs of the Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri*, in sweet orange seedlings. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 134: 35–49.
- BOVÉ J.M. 2006. Huanglongbing: a destructive, newly-emerging, century-old disease of citrus. *Journal of Plant Pathology* 88: 7–37.

- CANALES, E.; COLL, Y.; HERNÁNDEZ, I.; PORTIELES, R.; RODRÍGUEZ GARCÍA, M.; LÓPEZ, Y. 2016. 'Candidatus Liberibacter asiaticus', Causal Agent of Citrus Huanglongbing, Is Reduced by Treatment with Brassinosteroids. *PLoS ONE* 11(1): e0146223. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0146223>
- DUTT, M.; G. BARTHE; M. IREY AND J. GROSSER. 2016. Transgenic Citrus Expressing an *Arabidopsis* NPR1 Gene Exhibit Enhanced Resistance against Huanglongbing (HLB; Citrus Greening). *PLOS ONE* 11(1): e0147657.
- FRENCH, J. V.; C. J. KAHLKE AND J. V. DA GRAÇA. 2001. First record of the Asian citrus psylla, *Diaphorina citri* Kuwayama (Homoptera: Psyllidae) in Texas. *Subtrop. Plant Sci.* 53: 14-15.
- HALBERT, S. E. 1998. Entomology Section. *Tri-ology* (May-June 1998) 37(3): 6-7
- HALBERT, S. E.; NIBLETT, C. L.; MANJUNATH, K. L.; LEE, R. F. AND BROWN, L. G. 2002. Establishment of two new vectors of citrus pathogens in Florida. *Proc. Int. Soc. Citriculture* 9: 1016-1017.
- HALBERT, S. E AND K. L. MANJUNATH. 2004. Asian citrus psyllids (Sternorrhyncha: Psyllidae) and greening disease of citrus: a literature review and assessment of risk in Florida. *Florida Entomologist* 87: 330-353.
- HALL, D. G.; M. G. HENTZ AND R. C. ADAIR JR. 2008. Population ecology and phenology of *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) in two Florida citrus groves. *Environmental Entomology* 37: 914-924.
- HALL, D. G, SHATTERS, R. G, CARPENTER, J. E AND SHAPIRO, J.P. 2010. Progress toward an artificial diet for adult Asian citrus psyllid. *Annals of the Entomological Society of America* 103: 611–617.
- HALL, D. G.; RICHARDSON, M. L.; AMMAR, E.-D. AND HALBERT, S. E. 2013. Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri*, vector of citrus huanglongbing disease. *Entomol Exp Appl*, 146: 207–223.
- HODGES, A. W. AND T. H. SPREEN. 2012. Economic Impacts of Citrus Greening (HLB) in Florida. Food and Resource Economics Department, Florida Cooperative Extension Service, IFAS, University of Florida. Publication FE-903. 6pg.
- JOHNSON, E. G.; WU, J.; BRIGHT, D. B. AND GRAHAM, J. H. 2014. Association of 'Candidatus Liberibacter asiaticus' root infection, but not phloem plugging with root loss on huanglongbing-affected trees prior to appearance of foliar symptoms. *Plant Pathol*, 63: 290–298.
- KRUEGER, R. R. AND L. NAVARRO. 2007. Citrus germplasm resources. *Citrus Genetics, Breeding and Biotechnology* (ed. by IA Khan), pp. 45–140. CAB International, Wallingford, UK
- LEWIS-ROSENBLUM, H.; X. MARTINI, S. TIWARI; L. L. STELINSKI. 2015. Seasonal movement patterns and long-range dispersal of Asian citrus psyllid in Florida citrus. *Journal of Economic Entomology*. 108: 3-10.
- MANN, R. S.; J. G. ALI, S. L. HERMANN, S. TIWARI, K. S. PELZ-STELINSKI, H. T. ALBORN; L. L. STELINSKI. 2012. Induced release of a plant defense volatile 'deceptively' attracts insect vectors to plants infected with a bacterial pathogen. *PLoS Pathogens*. 8(3): e1002610
- MARUTANI-HERT M.; W. B. HUNTER; D. G. HALL. 2010. Gene response to stress in the Asian citrus psyllid (Hemiptera: Psyllidae). *Florida Entomologist* 93: 519–525.
- MOFFIS, B. L.; J. D. BURROW; M. M. DEWDNEY; M. E. ROGERS. 2016. Frequently Asked Questions About Huanglongbing (HLB; citrus greening) for Homeowners. Plant Pathology Department, Florida Cooperative Extension Service, IFAS, University of Florida. Publication PP-326. 7pg.

- MURARO, R. P. 2011. Citrus Budgets for the Central Florida (Ridge) Citrus Production Region." UF/IFAS-CREC. <https://crec.ifas.ufl.edu/Extension/Economics>. Fecha acceso: 22 de Junio 2017.
- PELZ-STELINSKI, K. S.; R. H. BRLANSKY, T. A. EBERT; M. E. ROGERS. 2010. Transmission parameters for *Candidatus Liberibacter asiaticus* by Asian citrus psyllid (Hemiptera: Psyllidae). J. Econ. Entomol. 103: 1531-1541.
- PUTNAM, A.; C. PORTERFIELD, T. SMITH; M. HUDSON. 2016. Florida Citrus Statistics 2015-2016. 118pg.
- QURESHI, J. A.; M. E. ROGERS, D. G. HALL; P. A. STANSLY. 2009. Incidence of invasive Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) and its introduced parasitoid *Tamarixia radiata* (Hymenoptera: Eulophidae) in Florida citrus. J. Econ. Entomol. 102: 247-256.
- ROGERS, M. E.; P. A. STANSLY. 2012. Biology and Management of the Asian Citrus Psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama, in Florida Citrus. Entomology and Nematology Department, Florida Cooperative Extension Service, IFAS, University of Florida. Publication EN-739. 6pg.
- ROGERS, M. E.; P. A. STANSLY; L. L. STELINSKI. 2017. Florida Citrus Management Guide: Asian Citrus Psyllid and Citrus Leafminer. *EDIS*. ENY-739. (24 February 2014).
- SKELLEY, L.H.; M.A. HOY. 2004. A synchronous rearing method for the Asian citrus psyllid and its parasitoids in quarantine. *Biological Control* 29: 14–23.
- SONG, G; M. JIA; K. CHEN; X. KONG; B. KHATTAK; C. XIE; A. LI; L. MAO. 2016. CRISPR/Cas9: A powerful tool for crop genome editing, *The Crop Journal* (4): 75-82.
- TEIKEN, C.; P. LEMAUX; B. GRAFTON-CARDWELL; N. MCROBERTS. 2015. Genetic engineering to protect citrus from HLB. *Citrograph* 6(1): 24-31
- USDA (United States Department of Agriculture). 2017. Citrus: World Markets and trade. 12pg. <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/citrus.pdf>. Fecha acceso: 22 de Junio 2017.
- WURIYANGHAN H.; C. ROSA AND B.W. FALK. 2011. Oral delivery of double-stranded RNAs and siRNAs induces RNAi effects in the potato/tomato psyllid, *Bactericerca cockerelli*. *PLoS ONE* 6: e27736



## La contribución de los insectos a la seguridad alimentaria

Diego Cruz Fagua

ArthroFood. Dirección postal: Crr 12 # 169-50. Bogotá, Colombia. [arthrofood@gmail.com](mailto:arthrofood@gmail.com)

---

**Resumen.** Existe seguridad alimentaria cuando todas las personas tienen en todo momento acceso físico, social y económico a suficientes alimentos inocuos y de calidad para suplir sus necesidades y tener una vida activa y sana. Sin embargo, la producción actual de alimentos está entrando cada vez más en debate debido a que no es medioambientalmente sostenible, en especial la producción de carne la cual ha sido asociada con una disrupción del ciclo local de nutrientes, pérdida de biodiversidad y contaminación de suelos, agua y aire además de ser uno de los principales generadores de gases de efecto invernadero. Es por estas razones, que la Organización de las Naciones Unidas ha visto a los insectos como una solución a los futuros problemas de seguridad alimentaria. En la actualidad hay más de 2 mil millones de personas consumiendo alrededor de 1900 especies de insectos. Desde un punto de vista nutricional, los insectos son una fuente importante de proteínas, ácidos grasos, vitaminas y minerales, mientras que desde una visión medioambiental su producción genera una baja emisión de gases de efecto invernadero, tienen una alta eficiencia en la tasa de conversión de alimentos y requieren significativamente menos agua y espacio que la producción de carne tradicional. En este artículo, se describe de forma general como ha sido el consumo de insectos en el mundo, su valor nutricional, su impacto medioambiental y finaliza hablando de los avances que ArthroFood viene realizando en pro del consumo de insectos en Colombia.

**Palabras clave:** Valor nutricional insectos. Entomofagia. Producción de insectos. Emisión de Gases de efecto invernadero. Producción de carne. ArthroFood.

**Abstract.** According to the World Health Organization, the Nutritional and Food security are two closely related concepts that exist when people have physical, social and affordable access to sufficient, safe and nutritious food; those wholesome nutrients must meet their preferences and dietary needs, in order to assure a healthy life. However, current food production systems, such as, Industrial livestock have been under debate due to its environmental impacts: for instance, the disruption of local nutrient cycles, biodiversity losses, local pollution of soils, water and air; as the main source of greenhouse gases. For those reasons, the United Nations Organization has been promoting edible insects as a solution to tackle nowadays and future food security problems; this is an old concept that is widely known and accepted mainly in the eastern countries, besides, it's been estimated that approximately 2 billion people consume 1,900 insect species worldwide. From a nutritional point of view, insects are a significant source of protein, fatty acids, vitamins and minerals; besides, they're an environmentally friendly because of the lower greenhouse gas emissions during their nurturing process, their higher feed conversion efficiency and lower water and land requirements compared with mammalian livestock. This paper provides a concise review of entomophagy as a common practice in different places around the world, from its nutritional and environmental characteristics. In addition, a summary of the advances that ArthroFood has been reaching in favor of insect consumption in Colombia is presented.



**Key words:** Insect nutritional value. Entomophagy. Insect production. Greenhouse gas emissions. Meat production. ArthroFood.

## Introducción

El comité de seguridad alimentaria mundial, declaró que existe seguridad alimentaria cuando todas las personas tienen en todo momento acceso físico, social y económico a suficientes alimentos inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades alimenticias y sus preferencias alimentarias para llevar una vida activa y sana. De acuerdo a este comité los cuatro pilares de la seguridad alimentaria son: Disponibilidad, acceso, utilización y estabilidad (CFS 2012) y otro punto que está creciendo cada vez más en importancia es la sostenibilidad, es decir el compromiso de las generaciones actuales para asegurar la seguridad alimentaria de las próximas generaciones.

En relación a lo anterior, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) ha estimado que la población global pasara de los 7 billones actuales a 9,5 billones de personas a mediados de este siglo (van Huis *et al.* 2013), por lo que el futuro de la seguridad alimentaria se convertirá en un gran reto. Por otra parte, se espera que el aumento de la riqueza a nivel global lleve a un aumento en los niveles de consumo, especialmente de dietas ricas en proteína (Thornton K 2010). De acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2009), se prevé que la demanda global de proteína del 2009 al 2050 tenga un incremento del 76 %. Este incremento se verá principalmente en los países en desarrollo con un 113 % mientras que en los países desarrollados será del 27 %. Sin embargo, algunas regiones del planeta mostraran incrementos de más del 270 % como es el caso del sur de Asia. (FAO 2009).

Por lo tanto, para hacer frente a la demanda de alimentos a escala mundial, especialmente de fuentes de proteínas de origen animal y la producción tradicional de concentrados animales, como las harinas de pescado, soja y los cereales, han de intensificarse aún más (van Huis *et al.* 2013). Sin embargo, su producción no es sostenible en el tiempo debido a que están generando contaminación de los suelos y el agua, deforestación y erosión llevando a un incremento del cambio climático y otros impactos ambientales destructivos como la extinción de especies vegetales y animales tanto marinas como terrestres (Fiala, 2008; Losey y Vaughan, 2006; Aarnink *et al.* 1995).

Es por las razones anteriormente mencionadas, que se deben adoptar e investigar soluciones para los futuros problemas de seguridad alimentaria. Es a partir de esta problemática que la FAO ha visto a los insectos como una solución a estos problemas ya que tienen una amplia distribución geográfica, se reproducen rápidamente, poseen tasas elevadas de crecimiento y de conversión de alimentos, adicionalmente su producción es medioambientalmente sostenible, necesitan de una baja inversión económica y son altamente nutritivos. Incluso algunas especies podrían alimentarse de residuos orgánicos ayudando la bioconversión de material orgánico en concentrados para animales (Tabassum-Abbasi *et al.* 2016; van Huis *et al.* 2013;).

## La entomofagia como fuente alternativa de proteína animal

La entomofagia es el consumo de insectos por parte de los humanos. Lo cual no es de extrañar ya que los humanos lo han practicado desde el paleolítico puesto que los insectos constituyen alrededor del 80 % de todas las especies del reino animal y han existido desde hace más de 350 millones de años. La evidencia de su consumo por parte de los humanos se puede ver a través de los testimonios encontrados en pinturas rupestres, esculturas, tótems o deidades que sobreviven a nuestros días (Ramos-Elorduy 2009).

En la actualidad, los insectos hacen parte de la dieta de más de 2 mil millones de personas y se han registrado alrededor de 1900 especies consumidas en 113 países (Mitsuhashi 2008). Su consumo se centra principalmente en países tropicales, en zonas como el Sur de África, Asia y Oceanía y Sur América, siendo China, México, Tailandia y Laos los principales consumidores. Por ejemplo, en China se han contabilizado alrededor de 178 especies mientras que en Laos y Tailandia 164 (Barennes *et al.* 2015). Los insectos más consumidos pertenecen a los órdenes coleoptera (escarabajos) (31 %), lepidoptera (mariposas y polillas) (18 %), himenoptera (termitas, abejas y avispas) (14 %) y orthoptera (grillos y saltamontes) (12 %). Un error muy común, es pensar que los insectos son consumidos por personas de escasos recursos o en temporadas de hambre, no obstante, en la mayoría de países en los que es común su consumo, estos son considerados platos gourmet e incluso pueden llegar a tener precios más elevados que las carnes tradicionales. En países tropicales, los insectos a menudo son consumidos completos, pero algunas especies del orden ortóptera (grillos y saltamontes) han de ser removidas las patas y alas. Luego que son capturados estos suelen ser procesados friéndolos, horneándolos o rostizándolos y es muy común ver en mercados de Laos, Tailandia y México los insectos empacados en formato tipo snack (Jansson y Berggren. 2015).

En la gran mayoría de países donde los insectos son consumidos, estos suelen ser capturados del campo y en temporadas específicas, por lo que no hay un acceso y sostenibilidad de este recurso a lo largo del año. Sin embargo, en países como Tailandia, Laos y Myanmar desde hace décadas los insectos son cultivados y representan un ingreso considerable para comunidades de escasos recursos especialmente para las mujeres (Barennes *et al.* 2015; van Huis *et al.* 2013).

En contraste, desde hace menos de una década, emprendedores de países desarrollados de Europa y Norte América que han sido influenciados por las recomendaciones de la FAO con respecto al consumo de insectos, han establecido granjas de insectos tanto para consumo humano como animal. Sus sistemas de producción difieren en gran medida de los del sur de Asia con costes más elevados de producción, pero con una mayor calidad, garantías y estabilidad del producto final. A pesar que su consumo comienza a popularizarse, varios estudios han demostrado una serie de barreras que no han permitido el posicionamiento de los insectos en el mercado de estos países. Esto ha sido explicado por un desconocimiento del valor nutricional y medioambiental de los insectos, así como de los sistemas de producción, neofobia alimentaria, apariencia del insecto consumido y nivel socio económico y cultural (Laureti *et al.* 2016; Verbeke. 2015; Lensvelta y Steenbekkers. 2014; Megido *et al.* 2013).

De acuerdo a Megido *et al.*(2013), la popularización y difusión de la información, comenzando por mostrar la proximidad sistemática de los insectos con los crustáceos, podría facilitar la integración de la entomofagia. Otra solución, es incrementar la frecuencia de la exposición de los insectos a través de muestras o “catas” para disminuir la neofobia y reducir la

percepción negativa de los insectos. Adicionalmente, Lensvelta y Steenbekkers (2014) proponen que los insectos podrían ser no tan evidentes y ser transformados en harinas para luego ser incorporados y mezclados en alimentos que ya son populares como hamburguesas, snacks o salsas.

Y es quizás las harinas de insectos especialmente de grillos de las especies *Acheta domesticus* y *Grylloides sigillatus*, así como de los escarabajos, *Zophobas morio* y *Tenebrio molitor* que han comenzado a usarse en países desarrollados para la elaboración de hamburguesas, pastas, snacks, pizzas, salsas, barras y batidos de proteína entre otras (Figura 1).



Figura 1. Alimentos elaborados en Europa a través de la incorporación de harinas de insectos.

### Producción de insectos, ganadería convencional y cambio climático

Cuando se habla de producción de insectos para consumo humano o animal siempre sale a colación que los insectos generan un impacto considerablemente inferior en el medioambiente en la relación a las fuentes de proteína tradicional como el ganado, cerdo y aves de corral.

La agricultura y en particular la producción de carne, tiene un impacto significativo en la salud de los ecosistemas, debido principalmente al uso excesivo de tierra tanto para el mantenimiento del ganado como para los campos de cultivo que han de ser explotados para alimentarlos. Un ejemplo claro de esto es que la principal causa de deforestación en la Amazonia se deba a la ganadería intensiva y a los cultivos de soja que han de ser cultivados ya que son pieza fundamental de la

dieta del ganado. Es así como desde el año 2003 la tasa de deforestación de la amazonia ha sido de 19,500 km<sup>2</sup>/año. A pesar que para el año 2013 la tasa disminuyo a 5843 km<sup>2</sup>/año, durante estos años se degrado un área tan grande como la del Reino Unido (Garcia *et al.* 2017; Nepstad *et al.* 2014).

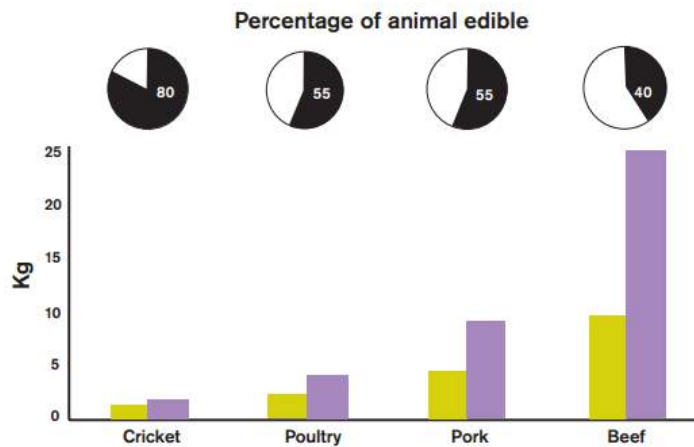
Para medir el impacto que tiene la ganadería en el cambio climático se usa el término “huella de carbono” que es la cantidad de gases de efecto invernadero producidos directamente e indirectamente por la producción de ganado y es expresada en toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub> eq). Los gases de efecto invernadero son gases que se encuentran en la atmosfera y que absorben la energía solar que es reflejada por la superficie de la tierra. Los principales gases de efecto invernadero asociados con la producción de ganado son el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), Metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) (Indira y Srividya 2012).

La emisión de gases de efecto invernadero producido por el ganado tradicional corresponden al 18 % del total de las emisiones inducidas por los seres humanos. El CH<sub>4</sub> es liberado por la fermentación entérica y a través de los excrementos, mientras que el N<sub>2</sub>O es liberado principalmente por medio de los fertilizantes aplicados a los cultivos destinados a la alimentación animal y también por los excrementos de los animales. Por ejemplo, 1 kg de carne de res tiene un impacto ambiental muy alto cuando es medido en términos de CO<sub>2</sub> eq (14.8 Kg), seguido del cerdo (3.8 kg) y las aves de corral (1.1 kg) (Steinfeld *et al.* 2006). Algunas especies de insectos también pueden llegar a producir gases de efecto invernadero, sin embargo, las especies que son más ampliamente usadas para su producción masiva como *T. molitor*, *A. domesticus* y *Locusta migratoria* generan unas emisiones considerablemente más bajas que el ganado convencional (Tabla 1) (Oonincx *et al.* 2010).

**Tabla 1.** Producción de CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> eq y NH<sub>3</sub> por kilogramo de masa ganada de cinco especies de insectos, res y cerdos. BM. Tomado de Oonincx *et al.* 2010.

Especie	CH <sub>4</sub> (g/Kg masa ganada)	N <sub>2</sub> O (mg/Kg masa ganada)	CO <sub>2</sub> (g/Kg masa ganada)	NH <sub>4</sub> (mg/día/kg masa ganada)
<i>Pachnoda marginata</i> (n=4)	4.9 ± 1.96 <sup>a</sup>	1.03 ± 1.06 <sup>a</sup>	121.86 ± 49.09 <sup>a</sup>	3 ± 4.8 <sup>a</sup>
<i>Tenebrio molitor</i> (n=4)	0.1 ± 0.03 <sup>b</sup>	25.5 ± 7.70 <sup>b</sup>	7.58 ± 2.29 <sup>b</sup>	1 ± 2.0 <sup>a</sup>
<i>Blaptica dubia</i> (n=3)	1.4 ± 0.3 <sup>c</sup>	5.7 ± 4.05 <sup>a</sup>	37.54 ± 8.01 <sup>c</sup>	54 ± 31.1 <sup>a</sup>
<i>Acheta domesticus</i> (n=4)	0.0 ± 0.09 <sup>b</sup>	5.3 ± 6.05 <sup>a</sup>	1.57 ± 1.8 <sup>d</sup>	142 ± 184.5 <sup>b</sup>
<i>Locusta migratoria</i> (n=6)	0.0 ± 0.11 <sup>b</sup>	59.5 ± 104.8 <sup>c</sup>	17.72 ± 31.22 <sup>e</sup>	36 ± 10.8 <sup>a</sup>
Cerdo	1.92-3.98	106-3457	79.59-1,130	1140-1920
Res	114	N/A	2,850	N/A

Otro punto favorable de la producción de insectos en relación al ganado convencional es la tasa de conversión de alimentos, que son los kilogramos de alimento requeridos para aumentar 1 kilogramo de masa. Aunque se han realizado pocos estudios, por término medio los insectos son más eficientes que las fuentes tradicionales de proteína a excepción de las aves de corral. Tomando un caso particular, los grillos de la especie *A. domesticus*, son el doble de eficientes que las aves de corral y 12 veces más eficientes que las reses en convertir el alimento en carne (FAO 2015). Por otro lado, en términos del porcentaje que puede ser aprovechado como alimento, los insectos se llevan el primer puesto con un 80 % seguido de las aves de corral, cerdo y res con un 55 y 40 % respectivamente (van Huis *et al.* 2013) (Figura 2).



**Figura 2.** Eficiencia en la conversión de alimentos en peso vivo y porcentaje comestible de grillos, aves de corral, cerdo y res. (Barras verdes: Kg alimento/Kg de peso vivo. Barras púrpura: Kg de alimento/Kg de peso comestible) Tomado de van Huis *et al.* 2013.

Continuando con las ventajas que tiene los insectos con respecto a las carnes convencionales, hay que tener muy en cuenta el uso del agua. Por ejemplo, para producir un 1 Kg de carne de aves de corral, cerdo y res se requieren 2300, 3500 y 22000 litros de agua respectivamente (Chapagain y Hoekstra 2003). Aunque actualmente hay pocos estudios relacionados con el uso de agua por parte de los insectos se piensa que puede llegar a ser significativamente más bajos que las fuentes de proteína tradicional. En relación a lo anterior, Miglietta *et al.* 2015, determinaron la huella de agua generada por la producción de dos especies de gusanos de la harina (*T. molitor* y *Z. morio*). Sus resultados mostraron que estas dos especies tienen huellas de agua comparables a la de la carne de aves, aunque considerablemente más bajas en relación a la carne de cerdo y res. Por ejemplo, para la carne de res, la huella de agua por gramo de proteína fue 5 veces superior que las especies de insectos estudiadas (Tabla 2).

**Tabla 2.** Huella de agua de gusanos de la harina, carne de cerdo, aves de corral y res en términos del valor proteico. Tomado de Miglietta *et al.* 2015.

Tipo de alimento	Huella de agua por tonelada consumible (m <sup>3</sup> /t)	Contenido nutricional en términos de proteína (g/ kg consumible)	Huella de agua por unidad de valor nutricional (L/Proteína)
Gusanos de la harina	4341	186	23
Carne de cerdo	5988	105	57
Carne de pollo	4325	127	34
Carne de res	15,415	138	112

### Valor nutricional de los insectos

Hasta el momento hay alrededor de 60 publicaciones relacionadas al contenido nutricional de aproximadamente 249 especies de insectos. Sus valores son altamente variables debido a la gran cantidad de especies evaluadas. Su valor depende de muchos aspectos como el estado de metamorfosis, hábitat y dieta, así como el proceso de preparación (deshidratado, hervido, rostizado o freído) y almacenaje. A pesar de las variaciones, los insectos proveen cantidades considerables de energía y proteína de alta calidad, conteniendo los 9 aminoácidos esenciales. Por otro lado, son ricos en ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados (incluyendo omega 3 y 6) además son ricos en vitaminas y minerales (Rumpold y Schluter 2013; Fontaneto *et al.* 2011; Christensen *et al.* 2006).

Rumpold y Schluter (2013) estudiaron el contenido nutricional de 249 especies de insectos pertenecientes a 9 órdenes. Sus resultados mostraron que el 83 % de las especies evaluadas tenían un contenido de proteína del 40 %; mientras que el 43 % restante, tenían contenidos superiores al 60 %. En relación al contenido lipídico, la mayoría de especies (72 %) contenían > 40 % de lípidos en sus cuerpos. Por otra parte, Ramos Elorduy y Pinto (1990), estudio 94 especies de insectos comestibles encontrando que el 50 % de ellas tenían un contenido calórico superior a la soya, 87 % al maíz, 63 % a la carne de res y 70 % a peces, lentejas y frijoles.

Las proteínas representan el componente principal del contenido nutricional de los insectos. En promedio el contenido de proteína de los insectos entre los diferentes órdenes varía desde 35 % en isóptera a 61 % en especies del orden ortóptera (Tabla 3). No obstante, en especies como *Melanoplus femurrubrum*, *Sphenarium histrio*, y *Melanoplus mexicanus* se han encontrado porcentajes de proteína en peso seco del 77.00, 71.1 y 77,13 % respectivamente. En relación a la composición de los aminoácidos, los insectos suelen contener los 9 aminoácidos esenciales, y en general tienen altos niveles de fenilalanina y tirosina. Mientras que otras especies contienen altas cantidades de lisina, triptófano y treonina que son deficientes en los cereales (Kouřimská y Adámková 2016).

La grasa representa la segunda porción más importante del contenido nutricional de los insectos. El contenido de grasa depende de muchos factores como la especie, estado reproductivo, edad, hábitat y dieta (Pennino *et al.* 1991). Por ejemplo, el contenido de grasa suele ser más alto en estado de larva y pupa que en el adulto que suele ser relativamente bajo (Chen *et al.* 2009). Así mismo, las hembras suelen tener un contenido graso más alto que los machos (Finke 2004). En promedio, los insectos tienen entre un 10 a 60 % de grasa en peso seco. Las larvas del



orden Lepidoptera suelen tener el mayor contenido de grasa en relación a lo demás ordenes de insectos variando del 8.6 a 15.2 % en peso fresco. En contraste, el contenido de grasa suele ser más bajo en especies del orden ortóptera variando del 3.8 a 5.3 % en peso fresco (Tzompa-Sosa *et al.* 2016). La grasa de los insectos está representada en mayor medida en triacilgliceroles constituyendo alrededor del 80 % de la grasa. Este tipo de grasa les sirve a los insectos como reserva de energía en periodos de alta actividad como pueden ser vuelos largos. Por otra parte, los fosfolípidos son el segundo grupo más importante y hacen parte de las membranas celulares como lípidos estructurales y componen alrededor del 20 % del total del contenido graso de los insectos (Tzompa-Sosa *et al.* 2016).

**Table 3.** Contenido de proteína promedio de los principales ordenes de insectos consumidos por humanos. Tomado de Xiaoming *et al.* (2008)

Orden	Estadio	Contenido de proteína ( % en peso seco)
Coleoptera	Adulto y larva	23-66
Lepidoptera	Pupa y larva	14-68
Hemiptera	Adulto y larva	42-74
Homoptera	Adulto, larva y huevos	45-57
Himenoptera	Adulto, pupa, larva y huevos	13-77
Odonata	Adultos, náyades	46-65
Ortóptera	Adultos y ninfas	23-65

Los ácidos grasos de los insectos, son comparables a los encontrados en aves y peces en relación al grado de ácidos grasos insaturados, aunque suelen contener más ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) que la carne de res y cerdo que tienen un contenido bajo de PUFA (Defoliart, 1991). Los insectos también tienen niveles considerables de ácidos grasos C18, incluyendo como el oleico, linoleico y linoleico (Omega 3 y 6) así como de palmitoleico (Ekpo *et al.* 2009).

La fibra representa la porción más baja del contenido nutricional de los insectos y está representada por la quitina y se encuentra entre los 2.7 a 49.8 mg por kg de peso fresco. La quitina es considerada como una fibra no digerible a pesar que la enzima quitinasa se encuentra en los jugos gástricos de los humanos, sin embargo, en algunas zonas del trópico donde el consumo de insectos ha sido constante esta enzima se encuentra activa (Paoletti *et al.* 2007).

Por último, la mayoría de especies de insectos son ricas en vitaminas y minerales. Por ejemplo, son ricos en micronutrientes como cobre, hierro, magnesio, manganeso, fósforo, selenio y zinc, así como riboflavina, ácido pantoténico, biotina y en algunos casos ácido fólico (Rumpold y Schluter 2013; Fontaneto *et al.* 2011; Christensen *et al.* 2006).



## **ArthroFood**

ArthroFood es una empresa que actualmente se dedica a la producción industrial de grillos y posterior transformación en harinas para ser usadas por la industria alimentaria y consumidores finales. Parte del desarrollo tecnológico de ArthroFood fue realizado en la Universidad de Lleida, España con financiación de la Unión Europea. El desarrollo tecnológico correspondió principalmente a generar los modelos productivos escalables para producir grillos de forma industrial y adicionalmente obtener harina de ellos. Nuestras tecnologías actuales incluyen tres tipos de dietas para los diferentes estadios de los grillos. Esta alimentación, nos permite aumentar la supervivencia de las ninfas recién emergidas y obtener un contenido nutricional alto especialmente de proteína en los grillos cosechados. Por otro lado, tenemos un modelo propio de granja y metodologías de producción de grillos que nos permiten ser competitivos a nivel internacional.

### **Harina de grillos ArthroFood**

La harina de grillo contiene hasta un 65 % de proteínas, su proteína, se caracterizan por tener todos los aminoácidos esenciales, es decir que el cuerpo no los puede producir por sí mismo y por esta razón es necesario obtenerlos a partir de alimentos. Contiene aminoácidos como la lisina, treonina y metionina que son aminoácidos limitantes en algunas leguminosas y cereales.

Las grasas en un 22 % representan el segundo nutriente en la composición de la harina de grillo. Son ricos en ácidos grasos monoinsaturados, los cuales tienen beneficios nutricionales en la prevención de enfermedades cardiovasculares. También tienen alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados omega 3 y omega 6 los cuales ayudan en la reducción del colesterol total, además representa una fuente alternativa a los alimentos marinos en lugares donde se tiene poco acceso a estos alimentos o una fuente adicional cuando se busca mejorar el consumo de ácidos grasos poliinsaturados.

La harina de grillo es rica en varios micronutrientes como el hierro, cobre, magnesio, fósforo, selenio, zinc y calcio. Tiene un alto contenido en vitamina B12 muy importante para el metabolismo de las proteínas y la formación de glóbulos rojos. Además, contiene fibra.

La digestibilidad y asimilación de la proteína de insectos es mucho más elevada que la de las proteínas de la carne. En peso seco la harina de grillo aporta entre un 65 %-70 % de proteína pura, mientras que la carne es de un 17 %-40 % de proteína. Esta harina no contiene gluten lo que hace más fácil su digestión.

Además de su valor nutritivo, este tipo de producto puede contribuir con la seguridad alimentaria en Colombia y en el mundo, muy útil para sobrellevar deficiencias de nutrientes, representa una opción llamativa, original que se puede utilizar en la elaboración de galletas, pasteles, arepas, sopas, etc.

## Agradecimientos

Catherine Toro por sus aportes en relación al valor nutricional de los insectos y Yovanna Serrato con respecto a la entomofagia en el Mundo.

## Referencias

- AARNINK, A. J.; KEEN, A.; METZ, M.; SPEELMAN, L.; VERSTEGEN, A. 1995. Ammonia emission patterns during the growing periods of pigs housed on partially slatted floors. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 62: 105-116.
- BARENNE, H.; PHIMMASANE, M.; RAJAONARIVO, C. 2015. Insect consumption to address undernutrition, a national survey on the prevalence of insect consumption among adults and vendors in Laos. *PLOS ONE*. 10(8): 1-16
- CFS. 2012. En buenos términos con la terminología: Seguridad alimentaria, seguridad nutricional, seguridad alimentaria y nutrición, seguridad alimentaria y nutrición. *CFS 39:1-16*.
- CHAPAGAIN, A.; HOEKSTRA, A. 2003. Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products. *Value of Water Research Report Series No. 13*. Paris, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
- CHRISTENSEN, L.; ORECH, F.; MUNGAI, M.; LARSEN, T.; FRIIS, H.; AAGAARD-HANSEN, J. 2006. Entomophagy among the Luo of Kenya: a potential mineral source? *International Journal of Food Science and Nutrition*. 57: 198-203.
- DE FOLIART, G. 1991. Insect fatty acids: similar to those of poultry and fish in their degree of unsaturation but higher in the polyunsaturates. *Food Insects Newsletters*, 1991. 4: 1-4.
- FONTANETO, D.; TOMMASEO-PONZETTA, M.; GALLI, C.; RISE, P.; GLEW, R.H.; PAOLETTI, M. 2011. Differences in fatty acid composition between aquatic and terrestrial insects used as food in human nutrition. *Ecological of Food Nutrition*. 50: 351-367.
- EKPO, K.; ONIGBINDE, A.; 2009. Asia, Pharmaceutical potentials of the oils of some popular insects consumed in southern Nigeria, *African Journal of Pharmacy and Pharmacology*. 3: 51-57.
- FAO 2009. The state of food and agriculture. <http://www.fao.org/docrep/012/i0680e/i0680e.pdf>. Fecha de acceso (20 junio 2017)
- FAO. 2015. <http://www.fao.org/forestry/edibleinsects/en/>. Fecha de acceso (20 junio 2017)
- Fiala, N.; 2008. Meeting the demand: an estimation of potential future greenhouse gas emissions from meat production. *Ecological Economy*. 67 (3): 412-419.
- GARCIA, E.; SAMPAIO, F.; RAMOS, V.; MALLMANN, G.; Fonseca, F. 2017. Costs, Benefits and Challenges of Sustainable Livestock Intensification in a major deforestation frontier in the Brazilian Amazon. *Sustainability* 9(1): 158-169.
- INDIRA, D.; SRIVIDYA, G. 2012. Reducing the livestock related greenhouse gas emission. *Veterinary World*. 5 (4): 244-247.
- JANSSON, A. AND BERGGREN, A. 2015. Insects as Food - Something for the Future? A report from Future Agriculture. Uppsala, Swedish University of Agricultural Sciences (SLU).
- LAUREATI, M.; PROSERPIO, C.; SAVOLDELLI, S. 2016. New sustainable protein sources: consumers' willingness to adopt insects as feed and food. *Italian Journal of Food and Science*. 28: 652-668.

- LENSVELTA, E.; STEENBEKKERS, L. 2014. Exploring Consumer Acceptance of Entomophagy: A Survey and Experiment in Australia and the Netherlands. *Ecology of Food and Nutrition*. 53:543-561.
- LOSEY, J. E.; VAUGHAN, M.; 2006. The economic value of ecological services provided by insects. *Bioscience* 56 (4): 311-323.
- MEGIDO, R.; SABLON, L.; GEUENS, M.; BROSTAU, Y.; ALABI, T.; BLECKER, C.; DRUGMAND, D.; HAUBRUGE, E.; FRANCIS, F. 2013. Edible insects acceptance by belgian consumers: promising attitude for entomophagy development. *Journal of Sensory Studies* 29: 14-20
- MIGLIETTA, P.; FEDERICA, L.; RUBERTI, M.; MASSARI, S. 2015. Mealworms for Food: A Water Footprint Perspective. *Water*. 7: 6190-6203;
- MITSUHASHI, J. 2008. *Encyclopedia of Edible Insects in the World*. Yasaka shobo, Tokyo.
- NEPSTAD, D.; MCGRATH, D.; STICKLER C.; ALENCAR, A.; AZEVEDO, A.; SWETTE, B.; BEZERRA, T.; DIGIANO, M.; SHIMADA, J.; SEROA DA MOTTA, R.; ARMIJO, E.; CASTELLO, L.; BRANDO, P.; MATT, C; MCGRATH-HORN, M.; CARVALHO, O.; HESS, L. 2014. Slowing Amazon deforestation through public policy and interventions in beef and soy supply chains. *Science*. 344(6188): 1118-1123
- OONINCX D.; VAN ITTERBEECK, J.; HEETKAMP W.; VAN DEN BRAND, H.; VAN LOON, A.; VAN HUIS, A. 2010. An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption. *PLoS ONE* 5(12):144-145
- PAOLETTI, M.; NORBERTO, L.; DAMINI, R.; MUSUMECI, S. 2007. Human gastric juice contains chitinase that can degrade chitin, *Annual Nutritional Metabolics*. 51: 244-251.
- RAMOS ELORDUY, J.; PINO, J. 1990. Contenido calórico de algunos insectos comestibles de México. *Revista de la Sociedad Química de México*. 34: 56-65
- RAMOS-ELORDUY, J. 2009. Anthro-entomophagy: Cultures, evolution and sustainability. *Entomological Research* 39: 271-288
- RUMPOLD, B.A.; SCHLUTER, O. 2013. Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular Nutritional Food Research* 57: 802-823.
- STEINFELD, H.; GERBER, P.; WASSENAAR, T.; CASTEL, V.; ROSALES, M. 2006. *Livestock's Long Shadow: Environmental Issues and Options*. Rome: Food Agric. Organ. 319 pp
- TABASSUM-ABBASI.; ABBASI, T.; ABBASI, S. A. 2016. Reducing the global environmental impact of livestock production: the minilivestock option. *Journal of Cleaner Production*. 112: 1754-1766.
- THORNTON, P. K. 2010. Livestock production: recent trends, future prospects. *Philosophical transactions B*. 365 (1554): 2853-2867.
- TZOMPA-SOSA, D.; YI, L.; VAN VALENBERG, H.; VAN BOEKEL, M.; LAKEMON, C. 2014. Insect lipid profile: aqueous versus organic solvent-based extraction methods, *Food Reserach International*. 62: 1087-1094
- VAN HUIS, A.; VAN ITTERBEECK, J.; KLUNDER, H. ; MERTENS, E. ; HALLORAN, A. ; MUIR, G. ; VANTOMME, P.; 2013. Edible insects - Future prospects for food and feed security. *FAO Forestry Paper* 171
- VERBEKE, W. 2015. Profiling consumers who are ready to adopt insects as a meat substitute in a Western society.. *Food Quality and Preference*. 39 (2015) 147-155.
- XIAOMING, C.; YING, F.; HONG, Z. 2008. Review of the nutritive value of edible insects. *Edible insects and other invertebrates in Australia: future prospects, Proceedings of a Workshop*

on Asia-Pacific Resources and their Potential for Development, 19-21 Bangkok 2010, pp. 85-92.

## Sperm storage and seminal fluid proteins: Novel targets of vector control

Frank William Avila<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Max Planck Tandem Group in Mosquito Reproductive Biology, University of Antioquia, Complejo RutaN, calle 67 #52-20, Medellín, Colombia. [grupotandem.mosquito@udea.edu.co](mailto:grupotandem.mosquito@udea.edu.co)

---

**Abstract.** During copulation, males transfer to females not only sperm, but also hundreds of seminal fluid proteins (SFPs). SFPs, in aggregate, cause numerous behavioral and physiological changes in mated females that facilitate the production of progeny. For example, in insects, SFPs typically induce ovulation and egg-laying and also inhibit female re-mating to subsequent males. Further, SFPs are required to mediate the storage of sperm in the mated female. Female sperm storage is a universal process required for optimal fertility in all organisms examined to date. Thus, SFPs that regulate sperm storage are ideal targets for the control of disease vectors, including the zika and dengue vector *Aedes aegypti*. To date, nearly 100 *Ae. aegypti* SFPs have been identified but the role of individual SFPs in processes of fertility have not been defined. I will discuss what is currently known about *Ae. aegypti* SFPs, the post-mating response they mediate in this species; the possibility of targeting a single, species-specific protein to suppress fertility in this important tropical disease vector.

**Key words.** *Aedes aegypti*. Copulation. Dengue. Disease vector. Fertility. Zika.

**Resumen.** Durante la copula, los machos transfieren a las hembras no sólo espermatozoides, sino también cientos de proteínas del fluido seminal (SFPs). Las SFPs, en conjunto, causan numerosos cambios fisiológicos y de comportamiento en las hembras apareadas, que facilitan la producción de prole. Por ejemplo, en los insectos, los SFPs típicamente inducen ovulación y oviposición, e inhiben la cópula con machos subsiguientes. Además, los SFPs son indispensables en el almacenamiento de esperma en hembras apareadas. El almacenamiento de esperma en hembras es un proceso universal, requerido para una fertilidad óptima en todos los organismos examinados hasta la fecha. En consecuencia, los SFPs que regulan el almacenamiento de esperma son moléculas ideales para el control de vectores de enfermedades tropicales, incluyendo *Aedes aegypti*, el vector principal de los virus del zika y el dengue. Hasta la fecha, se han identificado casi 100 SFPs asociados a *Ae. aegypti*, pero no se ha establecido la acción de SFPs individuales en los procesos de fertilidad. En la presente revisión, discutiré lo que se conoce sobre las SFPs asociadas a *Ae. aegypti*, la respuesta post-apareamiento que éstas median en esta especie, y la posibilidad de modificar una proteína específica para suprimir la fertilidad en este importante vector de enfermedades tropicales.

**Palabras clave.** *Aedes aegypti*. Copula. Dengue. Fertilidad. Vector de enfermedades. Zika.

**Seminal fluid proteins are modulators of fertility.** In insects, the act of mating has a profound effect on females—mating initiates a behavioral and physiological ‘switch’ by inducing several responses in processes related to fertility (Gillott 2003, Avila *et al.* 2011). Many of these changes are intuitive: females will substantially increase the rate of egg production and begin to lay eggs.

Other changes are less obvious: food preferences may change (Tsukamoto *et al.* 2014), structural changes of the female reproductive tract may occur (Mattei *et al.* 2015); large-scale transcriptomic changes will initiate (McGraw *et al.* 2004, Alfonso-Parra *et al.* 2016). Collectively, these changes are referred to as the female post-mating response.

The transfer of seminal fluid—a mixture of sperm, proteins, lipids; carbohydrates —from males to females during mating is a major component of the post-mating switch. While it is generally thought that sperm are the major effectors of the female post-mating response, the primary signal is the receipt of seminal fluid proteins (SFPs) by females (Gillott 2003, Avila *et al.* 2011). SFPs are secreted from tissues of the male reproductive tract and transferred, along with sperm, to females during copulation. In insects, male typically transfer ~100-200 SFPs during copulation (Avila *et al.* 2011), but the exact number is specific to the species.

Much of our knowledge into the activity and function of SFPs has come from studies in the model organism *Drosophila melanogaster*. Upon the receipt of SFPs, *Drosophila* females will increase the rates of ovulation and egg-laying (Heifetz *et al.* 2000, Chapman *et al.* 2003), increase food consumption (Carvalho *et al.* 2006), increase foraging activities (Isaac *et al.* 2010), decrease 'siesta sleep' (Isaac *et al.* 2010), slow the transit of food through the digestive system (Apger-McLaughon and Wolfner 2013), sexual receptivity to subsequent courting males is reduced (Chapman *et al.* 2003, Gioti *et al.* 2012), a mating plug is formed in the uterus (Bertram *et al.* 1996, Lung and Wolfner 2001); their lifespan is significantly shortened (Wigby and Chapman 2005). SFPs also induce an immune response (Domanitskaya *et al.* 2007) and are required for the storage of sperm in the mated female (Avila and Wolfner 2009, Ravi Ram and Wolfner 2009, Avila *et al.* 2010). Many of these changes (e.g. reduced sexual receptivity and increased egg-laying) are common post-mating changes in insects (Gillott 2003, Avila *et al.* 2011).

*Drosophila* males transfer around 200 SFPs to females during mating (Findlay *et al.* 2008, Findlay *et al.* 2009, Yamamoto and Takemori 2010), the majority which originate from the accessory gland of the male reproductive tract (Findlay *et al.* 2008). Genetic ablation of the accessory gland results in sterility, even if females receive a normal complement of sperm (Xue and Noll 2000), showing SFPs to be essential for fertility. The site of action of the majority of SFPs is within the female reproductive tract—most SFPs are detectable in the female reproductive tract for 4-6 hours after mating (Ravi Ram *et al.* 2005). However, a few SFPs are able to leave the reproductive tract and go into circulation where they can access additional tissues (Lung and Wolfner 1999), such as the nervous system, to effect behavioral change (Yapici *et al.* 2008).

Individual SFPs have been identified that effect individual post-mating responses. For example, the SFP ovulin (Acp26Aa) is required to induce ovulation post-mating (Heifetz *et al.* 2000, Heifetz *et al.* 2005). Ovulin mediates this effect by increasing the activity of neurons that innervate oviduct musculature (Rubinstein and Wolfner 2013). The SFP sex-peptide is required for the induction post-mating egg-laying (Chapman *et al.* 2003), the increase in post-mating feeding and foraging activity (Carvalho *et al.* 2006, Isaac *et al.* 2010), the decrease in female sexual receptivity (Chapman *et al.* 2003); for proper sperm function (Ravi Ram and Wolfner 2007, Avila *et al.* 2010). Unlike most SFPs, whose effects are short-term, sex-peptide's effects are long-lasting due to peptide's ability to bind to sperm tails (Peng *et al.* 2005), enabling sex-peptide to exert its effects

as long as females have stored sperm. Sex-peptide binds to sperm via its N-terminus and is slowly cleaved from sperm by an unidentified female protease, liberating the C-terminus of the peptide (Peng *et al.* 2005). Inside the female, sex-peptide interacts with the sex-peptide receptor (SPR), a G-protein coupled receptor that is expressed in two tissues: a subset of neurons of the female reproductive tract (Yapici *et al.* 2008, Hasemeyer *et al.* 2009, Yang *et al.* 2009) and in secretory cells of the female sperm storage organs (Avila *et al.* 2015a).

While the effects of SFPs work to activate the machinery in females required for the successful generation of progeny (and are therefore beneficial to females), many of the changes harm the females or only benefit the male. For example, SFPs reduce female sexual receptivity, an effect thought to reduce competition from other males for the fertilization of female eggs. This reduces the genetic variation of a females' offspring—while males are free to copulate with additional females, females are behaviorally prevented from further copulation. Additionally, the energetic requirements of egg-production and egg-laying are responsible for the reduced lifespan of mated *Drosophila* females (Barnes *et al.* 2008). Due to these effects, it is believed that males and females are in a 'race' to control all aspects of reproduction, which has led to the rapid evolution of several SFPs. In fact, SFPs are some of the most rapidly evolving genes in the genome (Swanson and Vacquier 2002, Clark *et al.* 2006). The previously mentioned SFP ovulin, for example, is the most rapidly evolving protein in the *Drosophila* genome (Wong *et al.* 2006).

**The process of sperm storage is required for fertility and is regulated by SFPs.** Sperm storage is a universal process in animals with internal fertilization, from insects to mammals (Avila *et al.* 2011, Suarez 2016). However, the mechanism used by females to store sperm is species dependent. The reproductive tracts of female insects typically have specialized organs where sperm are stored. *Drosophila* females have two such organs—the single seminal receptacle and the paired spermathecae—where they can store up to 1000 sperm for ~2 weeks after mating (Bloch Qazi *et al.* 2003).

Sperm storage is comprised of three basic steps. After transfer to the female reproductive tract, sperm must 1) travel to and enter the sites of storage, 2) be maintained viably within storage; 3) be released from storage in order to fertilize eggs. Perturbation of any of these steps will drastically reduce the fertility of a mating pair (Avila *et al.* 2011).

*Drosophila melanogaster* SFPs have been identified that function at each step of sperm storage. These include the SFP PEBme, which is required to prevent the loss of the sperm from the female reproductive tract after sperm transfer (Avila *et al.* 2015b). The SFP Acp36DE mediates a series of muscle contractions of the uterus that move sperm to the sites of storage (Avila and Wolfner 2009). Acp36DE is also required for sperm accumulation into the storage organs (Neubaum and Wolfner 1999, Bloch Qazi and Wolfner 2003). Once sperm are within storage, the SFP Acp29AB is required for them to be maintained there (Wong *et al.* 2008). Finally, the SFP sex-peptide and a network of SFPs that bind sex-peptide to sperm tails (Ravi Ram and Wolfner 2009), are each required for sperm to be released from storage (Ravi Ram and Wolfner 2007, Avila *et al.* 2010)—removal of any of these SFPs from the ejaculate results in a significant reduction of female fertility. These experiments highlight the importance sperm storage in fertility and demonstrate the possibility of targeting a single SFP to disrupt this process and, ultimately, reduce fertility.



Studies in *Drosophila* have paved the way to understand the activity of SFPs in other species. To date, SFPs are known effectors of female post-mating responses in bees, crickets, beetles and a host of other insects. More importantly, a concerted effort is being made to identify SFPs important in fertility in insect vectors of human disease, such as in the malaria vector *Anopheles gambiae* (Baldini *et al.* 2012). I am currently focusing my efforts to understand SFP function in the tropical disease vector *Aedes aegypti*.

***Aedes aegypti* SFPs and the female post-mating response.** *Aedes aegypti* mosquitoes are one of the primary global vectors of arboviruses, including dengue, chikungunya and zika. The global distribution of *Ae. aegypti* is currently more extensive than ever recorded—the vector is now found on all continents (Kraemer *et al.* 2015). Thus, controlling the population of this vector; by extension the diseases it spreads, is of primary importance to researchers.

*Aedes aegypti* females undergo numerous changes in response to mating, which include changes in host-seeking and feeding behavior (Lee and Klöwden 1999), an increase in egg-development and oviposition (Wallis 1956); the near elimination of sexual receptivity (Helinski *et al.* 2012); few females will re-mate after an initial mating (Degner and Harrington 2016). As in *Drosophila*, female post-mating responses are mediated by SFPs of the male accessory gland. Injection of accessory gland SFPs into virgin females is sufficient to induce egg-laying, host seeking behaviors; eliminates sexual receptivity (Craig 1967; Helinski *et al.* 2012) while expression GFP driven the promoter of a highly abundant SFP is specific to the accessory gland (Alfonso-Parra *et al.* 2014). These results suggest that the accessory gland is the primary site of SFP synthesis in *Ae. aegypti*.

*Aedes aegypti* males are able to mate with multiple females and transfer only ~20 % of their overall SFP load to females in a single mating (Alfonso-Parra *et al.* 2014). This suggests that males have the ability to successively inseminate up to 5 females (while simultaneously inhibiting them from re-mating again) before their SFP stores are depleted. Replenishment of accessory gland SFPs in depleted males takes ~48 hours (Alfonso-Parra *et al.* 2014), showing that males are capable of inseminating numerous females in their lifetime.

Due to the importance of seminal proteins in mediating female post-mating responses, much effort has been made to identify SFPs in this species. To date, ~100 *Aedes aegypti* SFPs have been identified (Sirot *et al.* 2011). However, specific SFPs that mediate individual female post-mating responses, including SFPs that regulate sperm storage, are currently unknown.

Moreover, little is known about sperm storage dynamics in *Aedes aegypti*. *Aedes* males transfer ~1800 sperm to females at a single mating (Ponlawat and Harrington 2009). Within the female reproductive tract, sperm are stored in one of three spermathecae. However, the number of transferred sperm stored; the fate of non-stored sperm is not known. Further, how females regulate the release sperm for the purpose of fertilizing eggs is also unknown. It is likely that SFPs are important regulators of this process. Further, because females typically mate only a single time, disrupting sperm storage will impact fertility while simultaneously ensuring that females won't mate again.

SFPs that regulate sperm storage are ideal targets for the purpose of *Aedes* population control. I am currently working to determine the stages of sperm storage in this species and to identify SFPs that regulate these stages. Because SFPs are rapidly evolving, they often have little homology in even closely related species, opening up the possibility to develop inhibitors to sperm storage SFPs that are specific to the targeted species. Therefore, it is imperative that we characterize sperm storage in this important vector and identify the SFPs that regulate this process.

## References

- ALFONSO-PARRA, C.; F. W. AVILA, P. DEEWATTHANAWONG, L. K. SIROT, M. F. WOLFNER; L. C. HARRINGTON. 2014. Synthesis, depletion and cell-type expression of a protein from the male accessory glands of the dengue vector mosquito *Aedes aegypti*. *Journal of insect physiology* 70: 117-124.
- ALFONSO-PARRA, C.; Y. H. AHMED-BRAIMAH, E. C. DEGNER, F. W. AVILA, S. M. VILLARREAL, J. A. PLEISS, M. F. WOLFNER; L. C. HARRINGTON. 2016. Mating-Induced Transcriptome Changes in the Reproductive Tract of Female *Aedes aegypti*. *PLoS neglected tropical diseases* 10: e0004451.
- APGER-MCGLAUGHON, J.; M. F. WOLFNER. 2013. Post-mating change in excretion by mated *Drosophila melanogaster* females is a long-term response that depends on sex peptide and sperm. *Journal of insect physiology* 59: 1024-1030.
- AVILA, F. W.; M. F. WOLFNER. 2009. Acp36DE is required for uterine conformational changes in mated *Drosophila* females. *Proc Natl Acad Sci USA* 106: 15796-15800.
- AVILA, F. W.; A. L. MATTEI; M. F. WOLFNER. 2015a. Sex peptide receptor is required for the release of stored sperm by mated *Drosophila melanogaster* females. *Journal of insect physiology* 76: 1-6.
- AVILA, F. W.; K. R. RAM, M. C. B. QAZI; M. F. WOLFNER. 2010. Sex Peptide Is Required for the Efficient Release of Stored Sperm in Mated *Drosophila* Females. *Genetics* 186: 595-600.
- AVILA, F. W.; L. K. SIROT, B. A. LAFLAMME, C. D. RUBINSTEIN; M. F. WOLFNER. 2011. Insect seminal fluid proteins: identification and function. *Annual review of entomology* 56: 21-40.
- AVILA, F. W.; A. B. COHEN, F. S. AMEERUDEEN, D. DUNEAU, S. SURESH, A. L. MATTEI; M. F. WOLFNER. 2015b. Retention of Ejaculate by *Drosophila melanogaster* Females Requires the Male-Derived Mating Plug Protein PEBme. *Genetics* 200: 1171-1179.
- BALDINI, F.; P. GABRIELI, D. W. ROGERS; F. CATTERUCCIA. 2012. Function and composition of male accessory gland secretions in *Anopheles gambiae*: a comparison with other insect vectors of infectious diseases. *Pathogens and global health* 106: 82-93.
- BARNES, A. I.; S. WIGBY, J. M. BOONE, L. PARTRIDGE; T. CHAPMAN. 2008. Feeding, fecundity and lifespan in female *Drosophila melanogaster*. *Proceedings. Biological sciences / The Royal Society* 275: 1675-1683.
- BERTRAM, M. J.; D. M. NEUBAUM; M. F. WOLFNER. 1996. Localization of the *Drosophila* male accessory gland protein Acp36DE in the mated female suggests a role in sperm storage. *Insect biochemistry and molecular biology* 26: 971-980.

- BLOCH QAZI, M. C.; M. F. WOLFNER. 2003. An early role for the *Drosophila melanogaster* male seminal protein Acp36DE in female sperm storage. *The Journal of experimental biology* 206: 3521-3528.
- BLOCH QAZI, M. C.; Y. HEIFETZ; M. F. WOLFNER. 2003. The developments between gametogenesis and fertilization: ovulation and female sperm storage in *Drosophila melanogaster*. *Developmental biology* 256: 195-211.
- CARVALHO, G. B.; P. KAPAHI, D. J. ANDERSON; S. BENZER. 2006. Allocrine modulation of feeding behavior by the Sex Peptide of *Drosophila*. *Current biology* : CB 16: 692-696.
- CHAPMAN, T.; J. BANGHAM, G. VINTI, B. SEIFRIED, O. LUNG, M. F. WOLFNER, H. K. SMITH; L. PARTRIDGE. 2003. The sex peptide of *Drosophila melanogaster*: female post-mating responses analyzed by using RNA interference. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 100: 9923-9928.
- CLARK, N. L.; J. E. AAGAARD; W. J. SWANSON. 2006. Evolution of reproductive proteins from animals and plants. *Reproduction* 131: 11-22.
- CRAIG, G. B.; Jr. 1967. Mosquitoes: female monogamy induced by male accessory gland substance. *Science* 156: 1499-1501.
- DEGNER, E. C.; L. C. HARRINGTON. 2016. Polyandry Depends on Postmating Time Interval in the Dengue Vector *Aedes aegypti*. *The American journal of tropical medicine and hygiene* 94: 780-785.
- DOMANITSKAYA, E. V.; H. LIU, S. CHEN; E. KUBLI. 2007. The hydroxyproline motif of male sex peptide elicits the innate immune response in *Drosophila* females. *The FEBS journal* 274: 5659-5668.
- FINDLAY, G. D.; M. J. MACCOSS; W. J. SWANSON. 2009. Proteomic discovery of previously unannotated, rapidly evolving seminal fluid genes in *Drosophila*. *Genome Res* 19: 886-896.
- FINDLAY, G. D.; X. YI, M. J. MACCOSS; W. J. SWANSON. 2008. Proteomics reveals novel *Drosophila* seminal fluid proteins transferred at mating. *PLoS Biol* 6: e178.
- GILLOTT, C. 2003. Male accessory gland secretions: Modulators of female reproductive physiology and behavior. *Annual review of entomology* 48: 163-184.
- GIOTI, A.; S. WIGBY, B. WERTHEIM, E. SCHUSTER, P. MARTINEZ, C. J. PENNINGTON, L. PARTRIDGE; T. CHAPMAN. 2012. Sex peptide of *Drosophila melanogaster* males is a global regulator of reproductive processes in females. *Proceedings. Biological sciences / The Royal Society* 279: 4423-4432.
- HASEMEYER, M.; N. YAPICI, U. HEBERLEIN; B. J. DICKSON. 2009. Sensory neurons in the *Drosophila* genital tract regulate female reproductive behavior. *Neuron* 61: 511-518.
- HEIFETZ, Y.; O. LUNG, E. A. FRONGILLO; M. F. WOLFNER. 2000. The *Drosophila* seminal fluid protein Acp26Aa stimulates release of oocytes by the ovary. *Current biology* : CB 10: 99-102.
- HEIFETZ, Y.; L. N. VANDENBERG, H. I. COHN; M. F. WOLFNER. 2005. Two cleavage products of the *Drosophila* accessory gland protein ovulin can independently induce ovulation. *Proc Natl Acad Sci USA* 102: 743-748.
- HELINSKI, M. E.; P. DEEWATTHANAWONG, L. K. SIROT, M. F. WOLFNER; L. C. HARRINGTON. 2012. Duration and dose-dependency of female sexual receptivity responses to seminal fluid proteins in *Aedes albopictus* and *Ae. aegypti* mosquitoes. *Journal of insect physiology* 58: 1307-1313.

- ISAAC, R. E.; C. X. LI, A. E. LEEDALE; A. D. SHIRRAS. 2010. *Drosophila* male sex peptide inhibits siesta sleep and promotes locomotor activity in the post-mated female. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences* 277: 65-70.
- KRAEMER, M. U.; M. E. SINKA, K. A. DUDA, A. Q. MYLNE, F. M. SHEARER, C. M. BARKER, C. G. MOORE, R. G. CARVALHO, G. E. COELHO, W. VAN BORTEL, G. HENDRICKX, F. SCHAFFNER, I. R. ELYAZAR, H. J. TENG, O. J. BRADY, J. P. MESSINA, D. M. PIGOTT, T. W. SCOTT, D. L. SMITH, G. R. WINT, N. GOLDING; S. I. HAY. 2015. The global distribution of the arbovirus vectors *Aedes aegypti* and *Ae. albopictus*. *eLife* 4: e08347.
- LEE, J. J.; M. J. KLOWDEN. 1999. A male accessory gland protein that modulates female mosquito (Diptera: Culicidae) host-seeking behavior. *Journal of the American Mosquito Control Association* 15: 4-7.
- LUNG, O.; M. F. WOLFNER. 1999. *Drosophila* seminal fluid proteins enter the circulatory system of the mated female fly by crossing the posterior vaginal wall. *Insect biochemistry and molecular biology* 29: 1043-1052.
- LUNG, O.; M. F. WOLFNER. 2001. Identification and characterization of the major *Drosophila melanogaster* mating plug protein. *Insect biochemistry and molecular biology* 31: 543-551.
- MATTEI, A. L.; M. L. RICCIO, F. W. AVILA; M. F. WOLFNER. 2015. Integrated 3D view of postmating responses by the *Drosophila melanogaster* female reproductive tract, obtained by micro-computed tomography scanning. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 112: 8475-8480.
- MCGRAW, L. A.; G. GIBSON, A. G. CLARK; M. F. WOLFNER. 2004. Genes regulated by mating, sperm, or seminal proteins in mated female *Drosophila melanogaster*. *Current Biology* 14: 1509-1514.
- NEUBAUM, D. M.; M. F. WOLFNER. 1999. Mated *Drosophila melanogaster* females require a seminal fluid protein, Acp36DE, to store sperm efficiently. *Genetics* 153: 845-857.
- PENG, J.; S. CHEN, S. BUSSER, H. LIU, T. HONEGGER; E. KUBLI. 2005. Gradual release of sperm bound sex-peptide controls female postmating behavior in *Drosophila*. *Current biology* : CB 15: 207-213.
- PONLAWAT, A.; L. C. HARRINGTON. 2009. Factors associated with male mating success of the dengue vector mosquito, *Aedes aegypti*. *The American journal of tropical medicine and hygiene* 80: 395-400.
- RAVI RAM, K.; M. F. WOLFNER. 2007. Sustained post-mating response in *Drosophila melanogaster* requires multiple seminal fluid proteins. *PLoS genetics* 3: e238.
- RAVI RAM, K.; M. F. WOLFNER. 2009. A network of interactions among seminal proteins underlies the long-term postmating response in *Drosophila*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 106: 15384-15389.
- RAVI RAM, K.; S. JI; M. F. WOLFNER. 2005. Fates and targets of male accessory gland proteins in mated female *Drosophila melanogaster*. *Insect biochemistry and molecular biology* 35: 1059-1071.
- RUBINSTEIN, C. D.; M. F. WOLFNER. 2013. *Drosophila* seminal protein ovulin mediates ovulation through female octopamine neuronal signaling. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 110: 17420-17425.
- SIROT, L. K.; M. C. HARDSTONE, M. E. HELINSKI, J. M. RIBEIRO, M. KIMURA, P. DEEWATTHANAWONG, M. F. WOLFNER; L. C. HARRINGTON. 2011. Towards a semen

- proteome of the dengue vector mosquito: protein identification and potential functions. *PLoS neglected tropical diseases* 5: e989.
- SUAREZ, S. S. 2016. Mammalian sperm interactions with the female reproductive tract. *Cell and tissue research* 363: 185-194.
- SWANSON, W. J.; V. D. VACQUIER. 2002. The rapid evolution of reproductive proteins. *Nat Rev Genet* 3: 137-144.
- TSUKAMOTO, Y.; H. KATAOKA, H. NAGASAWA; S. NAGATA. 2014. Mating changes the female dietary preference in the two-spotted cricket, *Gryllus bimaculatus*. *Frontiers in physiology* 5: 95.
- WALLIS, R. C. L.; C.A. 1956. Egg formation and oviposition in blood-fed *Aedes aegypti* Mosq News.
- WIGBY, S.; T. CHAPMAN. 2005. Sex peptide causes mating costs in female *Drosophila melanogaster*. *Current biology* : CB 15: 316-321.
- WONG, A.; S. N. ALBRIGHT; M. F. WOLFNER. 2006. Evidence for structural constraint on ovulin, a rapidly evolving *Drosophila melanogaster* seminal protein. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 103: 18644-18649.
- WONG, A.; S. N. ALBRIGHT, J. D. GIEBEL, K. R. RAM, S. JI, A. C. FIUMERA; M. F. WOLFNER. 2008. A role for Acp29AB, a predicted seminal fluid lectin, in female sperm storage in *Drosophila melanogaster*. *Genetics* 180: 921-931.
- XUE, L.; M. NOLL. 2000. *Drosophila* female sexual behavior induced by sterile males showing copulation complementation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 97: 3272-3275.
- YAMAMOTO, M. T.; N. TAKEMORI. 2010. Proteome profiling reveals tissue-specific protein expression in the male reproductive system of *Drosophila melanogaster*. *Fly* 4: 36-39.
- YANG, C. H.; S. RUMPF, Y. XIANG, M. D. GORDON, W. SONG, L. Y. JAN; Y. N. JAN. 2009. Control of the postmating behavioral switch in *Drosophila* females by internal sensory neurons. *Neuron* 61: 519-526.
- YAPICI, N.; Y. J. KIM, C. RIBEIRO; B. J. DICKSON. 2008. A receptor that mediates the post-mating switch in *Drosophila* reproductive behaviour. *Nature* 451: 33-37.

## **Simposios**

---

## **Simposio 1.**

# **Uso de herramientas biotecnológicas para la investigación en entomología y áreas relacionadas del conocimiento**

---

**Coordinación: Gloria Patricia Barrera Cubillos**  
Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - CORPOICA

### **Participantes:**

Gloria Patricia Barrera. CORPOICA  
Laura Fernanda Villamizar. Lincoln Research Centre. New Zealand

Carmenza E. Góngora B. Centro Nacional de Investigaciones de Café. Cenicafé

Jorge Evelio Ángel Díaz, Maikol Y. Santamaría Galindo, Sandra Milena Parada Pire, Julián  
Martínez Henao, Everth E. Ebratt Ravelo. Instituto Colombiano Agropecuario - ICA

Mariano Nicolás Belaich. Universidad Nacional de Quilmes, Argentina



## SIMPOSIO

### Uso de herramientas biotecnológicas para investigación en entomología y áreas relacionadas del conocimiento

**Coordinadora: Gloria Patricia Barrera Cubillos**

Ph. D. Biotecnología. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - CORPOICA

---

Desde fines del siglo 20 la investigación sobre los sistemas biológicos se ha beneficiado por el desarrollo de nuevas tecnologías, las cuales posibilitaron incrementar el conocimiento sobre su constitución y funcionamiento. Estas metodologías permitieron el auge de las disciplinas ÓMICAS, que nutrieron a diferentes ramas de la ciencia como la entomología y biomedicina, generando nuevas y revolucionarias aplicaciones. Muchas de las nuevas metodologías han sido empleadas para el mejoramiento de la agricultura global, con especial interés en el control de plagas y enfermedades que causan reducción en la productividad de los cultivos.

La modificación de los ecosistemas por las actividades humanas genera que algunas especies de insectos se conviertan en plagas (organismos que dañan al hombre o su propiedad, se alimentan, compiten por alimentos o transmiten enfermedades). Por ejemplo, la agricultura intensiva fomenta el desarrollo de plagas de insectos mediante la concentración de alimentos (plantas cultivadas y alimentos almacenados) siendo más crítico en el caso de monocultivos, lo cual puede reducir la eficacia de los enemigos naturales que atacan las especies de plagas en entornos naturales. Los insectos plaga pueden causar daño directo por la alimentación o la fabricación de refugios en la planta o daño indirecto siendo transmisores de enfermedad de planta en planta (vectores), permitiendo la entrada de patógenos por el sitio donde se alimentan, o provocando deterioro y reducción de la fotosíntesis por el follaje afectado.

Para el control de insectos plaga, se han desarrollado diversas estrategias, las cuales incluyen el uso de insecticidas de síntesis química y organismos vivos presentes naturalmente en el medio ambiente tales como animales, plantas y microorganismos (bacterias hongos y virus) (Mazid *et al.* 2011). Una nueva generación de controladores biológicos se basa en la combinación de moléculas, la explotación de metabolitos secundarios y otros coadyuvantes que mejoran la estabilidad de los bioproductos por largos periodos de tiempo.

Las desventajas de los plaguicidas químicos además de su efecto tóxico (Eyer 1995) y contaminante por acumulación en medio ambiente, es el desarrollo de resistencias en algunas especies de insectos y la aparición de nuevas plagas debido a la eliminación de parasitoides y depredadores.

En este sentido, el desarrollo de alternativas de control que disminuyan el uso de agentes químicos tiene un gran auge a nivel mundial. La investigación y desarrollo de controladores

biológicos presenta varias etapas, desde la generación de la idea hasta obtener un producto listo para ser escalado y lanzado al mercado. Dentro de las etapas del desarrollo es necesario investigar sobre las especies y biotipos de los insectos a controlar, la caracterización del ingrediente activo del bioproducto, ya sean microorganismos o metabolitos, las pruebas de actividad insecticida en laboratorio, invernadero y campo, hasta el desarrollo de un bioproducto disponible para aplicación en campo que sea útil en la estrategia de manejo integrado de plagas. En todas estas etapas, las herramientas moleculares son de gran utilidad, no solo para la generación de conocimiento sino también como herramientas diagnósticas y de seguimiento.

En este simposio se presentarán ejemplos del uso de herramientas moleculares aplicadas para la investigación y desarrollo de bioplaguicidas, desde la utilización de herramientas moleculares para complementar la determinación de especies de insectos plaga, su divergencia genética entre y dentro de poblaciones, hasta la caracterización y evaluación de agentes entomopatógenos utilizados como controladores biológicos.

---

## Uso de herramientas moleculares para la aplicación en investigación y desarrollo de bioplaguicidas

Gloria Patricia Barrera<sup>1</sup> y Laura Fernanda Villamizar<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ph. D. Biotecnología. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Corpoica, Bogotá, Colombia.

<sup>2</sup>Ph. D. Ciencias Farmacéuticas. AgResearch Ltd. Lincoln Research Centre. Christchurch 8140, New Zealand.  
*gbarrera@corpoica.org.co.*

---

### Introducción

Los cultivos agrícolas a nivel global presentan disminución de su potencial productivo debido a la presencia de insectos plaga, principalmente en áreas tropicales y subtropicales (Arora y Shera 2014). Los plaguicidas de origen sintético o agroquímicos han contribuido a mejorar la producción agrícola minimizando las pérdidas; sin embargo, su uso indiscriminado durante las últimas cuatro décadas produjo reacciones ecológicas adversas que incluyen el desarrollo de resistencias de diversas plagas, toxicidad ambiental, disminución de microflora de la rizósfera y riesgos en la salud humana, entre otros.

Una alternativa al manejo con agroquímicos es el uso de bioplaguicidas que hasta hace poco era limitado a algunos nichos de mercado como la agricultura orgánica, especialmente en cultivos hortícolas. Últimamente, han surgido nuevas tendencias, relacionadas con el uso de bioplaguicidas en programas de manejo integrado de plagas (MIP) en combinación con productos químicos para reducir la utilización de estos últimos, y ganar productividad, calidad y flexibilidad en tiempos de cosecha. Además, su aplicación se está ampliando en cultivos de gran extensión como maíz, arroz, algodón o cultivos de semillas oleaginosas (Markest y Markets 2012). La Industria del control biológico está creciendo entre un 12 y 17 % anual, especialmente en productos bioplaguicidas entre otros. Se espera que el crecimiento para el año 2020 sea del 12,3 % lo que representa un mercado de 4,6 mil millones de dólares, que para el 2025 será de 7 mil millones de dólares (ABIM 2015).

Las tres estrategias básicas para utilizar control biológico en un programa de manejo integrado de plagas incluyen la importación o control biológico clásico (introducción de agentes exóticos en el área), la conservación (prácticas para proteger y aumentar enemigos naturales) y el aumento de agentes controladores (incluyendo agentes microbianos), por inundación o inoculación (Arora y Shera 2014). El control biológico inundativo es utilizado comercialmente en 0,4 % del área cultivada global y posee una relación beneficio-costos similar o mejor que el control con agroquímicos (Van-Lenteran 2008).

Los bioplaguicidas a base de microorganismos patógenos de insectos (virus, bacterias y hongos) han ganado gran relevancia y son el mayor componente de muchos programas de control de plagas. La utilidad de los bioplaguicidas microbianos depende de su efectividad y facilidad de manejo, donde se destacan características como la alta virulencia, alta transmisibilidad y larga persistencia en campo. Además, la producción masiva de los microorganismos debe ser factible,

---

económica y eficiente, y los formulados deben presentar una vida útil prolongada y ser aptos para la aplicación en campo con equipos convencionales.

El aumento de la demanda del mercado global por los bioplaguicidas ha motivado un incremento acelerado de los esfuerzos de investigación tanto de la industria como de la academia, dirigidos a la generación de conocimiento alrededor de diferentes estrategias de control biológico y para el diseño y desarrollo de bioplaguicidas (modos de acción, relación hospedero-patógeno, virulencia, transmisibilidad, formulación, persistencia, etc.). El objetivo final de la investigación para el desarrollo de bioplaguicidas es contar con productos disponibles a nivel del agricultor a precio accesible y que se conviertan en una herramienta útil para el manejo integrado de plagas y enfermedades.

Diferentes aspectos pueden ser objeto de investigación en el desarrollo de un bioplaguicida, desde el insecto que se quiere controlar (hábitos, distribución de especies y biotipos), patógeno microbiano que lo afecta (caracterización de modo de acción), producción y formulación del patógeno hasta su comercialización. A continuación, se presentarán algunos ejemplos de la aplicabilidad de herramientas moleculares, enfocadas en diferentes etapas del desarrollo de bioplaguicidas en Corpoica.

Identificación de especies y biotipos de insectos plaga. La identificación de insectos plaga es crucial para el estudio de alternativas de control. La identificación convencional se basa en datos morfológicos y estudios taxonómicos. Sin embargo, el parecido morfológico de especies cercanamente relacionadas ha llevado al uso de datos moleculares para asistir la taxonomía convencional para la identificación y caracterización de diferentes insectos. Actualmente existe gran cantidad de información disponible en las bases de datos públicas, la cual fortalece la investigación en filogenética molecular de insectos.

Existen varios trabajos publicados sobre análisis moleculares utilizando regiones genómicas mitocondriales para diferenciar especies (López 2011; Versteirt *et al.* 2014) y biotipos o especies crípticas de insectos que son difíciles de separar morfológicamente (Velez-Arango *et al.* 2008; Palacio-Cortés 2014; Joyce *et al.* 2014). El ADN mitocondrial (ADNmt) se utiliza para asistir la identificación, delimitación y taxonomía de insectos debido a su estructura genética simple, herencia uniparental y su alta tasa de evolución (Avisé *et al.* 1987). Además, debido al alto número de copias en la mayoría de las células, el ADNmt es fácilmente recuperable a partir de muestras no conservadas de manera óptima, como ocurre con algunas muestras de campo. Específicamente, pequeñas regiones del ADNmt, ubicadas en los genes codificantes de las subunidades I y II de la *citocromo oxidasa* (COI y COII, respectivamente), han sido utilizadas como marcadores universales para identificar organismos (Hebert *et al.* 2003; Palacio-Cortés *et al.*, 2014; Lange *et al.* 2004).

Dentro de un proyecto dirigido al desarrollo de estrategias de control de plagas en el cultivo de caña panelera, se identificaron las especies de barrenadores del tallo *Diatraea* spp. presentes en las diferentes zonas productoras del país. La identificación convencional de las especies de *Diatraea* se realiza mediante la morfología de la genitalia del macho adulto, lo cual implica la cría de las muestras recogidas en campo y a selección solamente de machos. Además, se genera

pérdida de muestras de hembras, larvas o posturas, muestras parasitadas o material poco conservado. Por lo anterior, para este trabajo se validó la utilidad de dos marcadores moleculares basados en *Citocromo oxidasa c*, para discriminar entre especies de *Diatraea*.

Para ello se utilizaron controles provenientes de una cría previamente establecida e identificada por CENICAÑA. Se utilizaron cebadores universales para la amplificación por PCR de las regiones de COI y COII. Las secuencias fueron analizadas y se determinó la coincidencia de la información molecular con los datos morfológicos, además de la comparación con secuencias de diferentes especies de *Diatraea* descritas en diferentes regiones geográficas de América (Barrera *et al.* 2016).

Los análisis bioinformáticos demostraron una adecuada clasificación de los individuos dentro de las especies identificadas morfológicamente. Además, el análisis molecular discriminó subpoblaciones dentro de una misma especie, indistinguibles morfológicamente. Por ejemplo, las muestras analizadas de *D. saccharalis* presentaron dos agrupamientos separados por su distancia genética, lo cual sugiere la presencia de especies crípticas, previamente reportadas por otros autores (Joyce *et al.* 2014; Lange *et al.* 2004; Palacio-Cortés *et al.* 2010; Pashley *et al.* 1990). Las diferencias entre poblaciones de *D. saccharalis* se han reportado desde 1990, donde se demostró la presencia de dos grupos de *D. saccharalis* en muestras de Brasil y Estados Unidos (Pashley *et al.* 1990). Estas diferencias encontradas a nivel molecular, han sido confirmadas por la respuesta diferencial de individuos de cada grupo de *D. saccharalis* a extractos de feromonas (Palacio-Cortés *et al.* 2010).

La utilidad de los marcadores moleculares para la identificación de especies de insectos plaga debe ser validada para cada caso, pues no todos los marcadores tienen la misma capacidad de discriminación en todas las familias. Los resultados de este trabajo, demuestran la utilidad del marcador molecular para la asistencia en la identificación de especies de *Diatraea* en campo. Dentro de las ventajas de esta herramienta, se incluyen el mayor número de muestras que se pueden analizar, la factibilidad de usar individuos de cualquier sexo y estado de desarrollo, y la discriminación de grupos dentro de una misma especie.

Caracterización de agentes entomopatógenos. El control microbiano de insectos ocurre en la naturaleza y en algunas ocasiones ayuda a la supresión de poblaciones de insectos plaga. Para el desarrollo de bioplaguicidas, estos microorganismos son evaluados por su capacidad insecticida y utilizados como agentes de control biológico de tipo inundativo.

Parte del éxito en el desarrollo de bioplaguicidas se debe al conocimiento de los modos de acción, especificidad, tiempos de letalidad, entre otras propiedades, del entomopatógeno controlador. En las últimas décadas la caracterización de los microorganismos ha contribuido a la potencialización de los efectos insecticidas de las cepas seleccionadas. Por ejemplo, los genes y proteínas asociadas a virulencia patogenicidad o productividad, son analizados para la selección de cepas con las características deseadas o al mejoramiento genético de las mismas.

*Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) es una plaga que puede causar grandes pérdidas en las producciones de maíz y otros cultivos. Por lo tanto, existe una reconocida

demanda para desarrollar métodos sostenibles de control contra esta plaga. Dentro de un proyecto dirigido al desarrollo de un bioplaguicida para el control del gusano cogollero del maíz *Spodoptera frugiperda*, CORPOICA utilizó una estrategia basada en el uso de un nucleopoliedrovirus múltiple aislado de larvas de este insecto (SpfrMNPV). Para lo anterior, fue necesario establecer las bases para el desarrollo, mediante la caracterización molecular del virus.

Inicialmente se evaluó la diversidad intraespecífica del SpfrMNPV a nivel interpoblacional. Durante un muestreo larvario en diferentes regiones de Colombia se obtuvieron 38 aislamientos, los cuales se analizaron mediante perfiles de restricción con diferentes endonucleasas y se seleccionó el de mayor prevalencia (92 %) (Barrera *et al.* 2011). El análisis del genoma mostró la presencia de 145 ORFs (*Open Reading Frame*), 2 de los cuales no se encontraron en virus aislados en diferentes regiones de América y de la misma especie (Barrera *et al.* 2011). Análisis bioinformáticos más exhaustivos demostraron que los 2 ORFs fueron adquiridos por el virus en eventos recientes de recombinación homóloga entre virus de *Spodoptera frugiperda* y *Spodoptera litura* (Barrera *et al.* 2015). El análisis de la diversidad intrapoblacional mostró que un aislamiento está conformado por varios genotipos, los cuales se diferencian por una región genómica localizada entre los ORFs sf20 a sf33, donde se localizan los genes adquiridos en la recombinación con *S. litura*. Esta variabilidad influyó en la patogenicidad y virulencia de cada genotipo, siendo uno de ellos 4,4 veces más potente que el aislamiento silvestre, sin embargo la productividad viral fue inferior (Barrera *et al.* 2013). Esto sugiere que la presencia de algunos genotipos disminuye la potencia del virus pero incrementan la productividad del aislamiento silvestre, el cual está estructurado para maximizar capacidad de transmisión en condiciones naturales.

En la misma región variable descrita anteriormente, se localizan genes codificantes para enzimas que aumentan la capacidad de infectar y replicarse, incrementando la dispersión y persistencia de los virus en su hospedero (Hubbard *et al.* 2014). Entre estas proteínas se encuentran: la quitinasa que es responsable de la digestión de la quitina, uno de los principales componentes del exoesqueleto de los insectos; y la catepsina, una proteasa que participa en el rompimiento de la estructura celular y la integridad de las larvas muertas, maximizando la dispersión del virus. Además, en la misma región se encontró el gen codificante de la enzima ecdysteroid UDP-glucosyltransferasa (EGT), la cual inactiva la hormona necesaria para el proceso de muda en las larvas, generando la muerte de las larvas en el cambio de estadio (O'Reilly y Miller 1991).

La caracterización de esta región genómica contribuyó a la comprensión del comportamiento biológico de los diferentes genotipos del virus y a la selección de un aislamiento para el desarrollo de un bioplaguicida. La información genómica de los baculovirus permite actualmente el desarrollo de estrategias novedosas, que incluyen la sobreexpresión o delección de genes para mejorar la actividad insecticida.

Desarrollo de metodologías de seguimiento y cuantificación. Los virus entomopatógenos más utilizados para el desarrollo de bioplaguicidas pertenecen a la familia *Baculoviridae*. Un ejemplo de ello son los Granulovirus (GVs), cuyos viriones están contenidos en una matriz proteica con forma de gránulo. La granulina es la proteína mayoritaria en estos gránulos, posee un rango de tamaño entre 26.000 y 28.000 daltons y es codificada por el gen *granulina* (ORF de 747 pb),

altamente conservado en los genomas de los GVs y ampliamente utilizado en estudios filogenéticos (Rohrman 2013; Zanotto *et al.*, 1993; De Moraes y Maruniak 1997).

CORPOICA desarrolló un bioplaguicida a base de un granulovirus de *Tecia solanivora* (TesoGV), para el control de la polilla guatemalteca de la papa (*Tecia solanivora* Povolny, 1973) en campo. Este bioplaguicida demostró su potencial reduciendo la población de larvas en un 96 % en experimentos bajo condiciones controladas en casa malla y con una eficacia del 83 % en campo (Gómez *et al.* 2011).

Para la determinación y cuantificación de Granulovirus se utilizan varias metodologías, entre ellas algunas cualitativas como la microscopía óptica de campo oscuro, pruebas de reproducción de síntomas virales, electroforesis en geles denaturantes de poliacrilamida y ELISA (*Enzyme-Linked Immuno Sorbent Assay*) (Parola *et al.* 2003). Además, existen metodologías de carácter cuantitativo como la espectrofotometría (Zeddám *et al.* 2003) que es poco específica y posee baja sensibilidad, además de presentar limitaciones para cuantificar virus en muestras complejas como formulaciones o muestras de suelo (Graham *et al.* 2015). Por tales razones y considerando que las metodologías basadas en determinación de ADN son específicas y sensibles, se diseñó y estandarizó una metodología basada en q-PCR (*quantitative* PCR o PCR en tiempo Real) sobre el gen de la granulina, la cual fue útil para la búsqueda de nuevas cepas, el seguimiento del virus en suelo, el control del ingrediente activo en el proceso de manufactura del bioplaguicida y en la cuantificación de la concentración en el producto terminado, un parámetro determinante para asegurar la calidad del bioproducto. Esta metodología además de constituirse en parte del control de calidad rutinario de los lotes de producción, fue utilizada por el laboratorio certificado que adelantó los estudios toxicológicos requeridos para el registro de venta del bioinsumo, demostrando su gran aplicabilidad.

### Conclusiones y Perspectivas

Las herramientas moleculares pueden ser de gran ayuda en las investigaciones relacionadas con el desarrollo de estrategias de control biológico. Con estas técnicas basadas en el análisis del ADN, es posible resolver problemas de taxonomía de insectos plaga, pero también de parasitoides y depredadores para su control. Es posible controlar la pureza de las colonias y estudiar los fenómenos de desarrollo de resistencia a plaguicidas y otras medidas de control. También son aplicables a la detección, identificación, entendimiento del modo de acción y seguimiento de microorganismos entomopatógenos, convirtiéndose en algunos casos, en la única herramienta para adelantar un confiable control de calidad de bioplaguicidas o para estudios de su persistencia en el ambiente. El costo de estas metodologías moleculares posiblemente ha limitado su implementación. Sin embargo, cada día se desarrollan técnicas y servicios más competitivos desde el punto de vista económico, que seguramente asociados a unos adecuados análisis de beneficio y costo, llevarán a su mayor desarrollo y uso masificado e indispensable en el estudio de insectos plaga y particularmente en la industria de bioplaguicidas.

### Referencias

ABIM. 2015. 10th Annual Biocontrol Industry Meeting, Switzerland.



- ARORA, R.; SHERA P. S. 2014. Genetic improvement of biocontrol agents for sustainable pest management. In "Basic and Applied Aspects of Biopesticides"(pp. 255-285). Springer India.
- AVISE J. C.; ARNOLD, J.; BALL, R. M.; BERMINGHAM, E; LAMB, T.; NEIGEL, J. E.; REEB, C. A.; SAUNDERS, N. 1987. Intraspecific phylogeography: the mitochondrial DNA bridge between population genetics and systematics. Annual Review of Ecology and Systematics 18: 489-522.
- BARRERA, G.; SIMÓN, O.; VILLAMIZAR, L.; WILLIAMS, T.; CABALLERO, P. 2011. *Spodoptera frugiperda* multiple nucleopolyhedrovirus as a potential biological insecticide: Genetic and phenotypic comparison of field isolates from Colombia. Biological Control 58: 113-120.
- BARRERA, G.; WILLIAMS, T.; VILLAMIZAR, L.; CABALLERO, P.; SIMÓN O. 2013. Deletion genotypes reduce occlusion body potency but increase occlusion body production in a Colombian *Spodoptera frugiperda* nucleopolyhedrovirus population. PLoS one 8: e77271.
- BARRERA, G.; BELAICH, M.; PATARROYO, M.; VILLAMIZAR, L.; GHIRINGHELLI, P. 2015. Evidence of recent interspecies horizontal gene transfer regarding nucleopolyhedrovirus infection of *Spodoptera frugiperda*. BMC genomics16: 1008.
- BARRERA, G.; BOTERO, L.; VARGAS, G.; VILLAMIZAR L. 2016. Identificación molecular de especies de insectos basados en ADN mitocondrial: caso *Diatraea* spp. Memorias. 43 Congreso Sociedad Colombiana de Entomología-SOCOLEN. Manizales-Colombia.
- DE MORAES, R. R.; MARUNIAK, J. E. 1997. Detection and identification of multiple baculoviruses using the polymerase chain reaction (PCR) and restriction endonuclease analysis. Journal of Virological Methods 63: 209-217.
- GÓMEZ, J.; MORENO, C. A.; VEGA, K.; COTES, A. M.; VILLAMIZAR, L. 2011. Formulation effect over insecticidal activity of *Phthorimaea operculella* granulovirus VG003 for controlling *Tecia solanivora*. IOBC/wprs Bulletin 66: 441-445.
- GRAHAM, R. I.; TUMMALA, Y.; RHODES, G.; CORY, J. S.; SHIRRAS, A.; GRZYWACZ, D.; WILSON, K. 2015. Development of a Real-Time qPCR assay for quantification of covert baculovirus infections in a major African crop pest. Insects 6: 746-759.
- HEBERT, P. D. N.; CYWINSKA, A.; BALL, S. L.; DeWAARD, J. R. 2003. Biological identification through DNA barcodes. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences 270: 313-321.
- HUBBARD, M.; HYNES, R. K.; ERLANDSON, M.; BAILEY, K. L. 2014. The biochemistry behind biopesticide efficacy. Sustainable Chemical Processes 2: 18.
- JOYCE, A. L.; WHITE, W. H.; NUSSLY, G. S.; SOLIS, M. A.; SCHEFFER, S. J.; LEWIS, M. L.; *et al.* 2014. Geographic population structure of the sugarcane borer, *Diatraea saccharalis* (F.) (Lepidoptera: Crambidae), in the southern United States. PLoS ONE 9(10):. doi: 110036.
- LANGE, C. L.; SCOTT, K. D.; GRAHAM, G. C.; SALLAM, M. N.; ALLSOPP, P. G. 2004. Sugarcane moth borers (Lepidoptera: Noctuidae and Pyraloidea): phylogenetics constructed using COII and 16S mitochondrial partial gene sequences. Bulletin of Entomological Research 94 (5): 457-464.
- LÓPEZ, A. 2011. Analysis of mitochondrial DNA sequences (Cytb and ND1) in *Lucilia eximia* (Diptera: Calliphoridae). Revista Colombiana de Entomología 37(2): 273-278.
- MARKEST; MARKETS. 2012. Global biopesticides market trends and forecasts (2012-2017).
- O'REILLY, D. R.; MILLER, L. K. 1991. Improvement of a baculovirus pesticide by deletion of the egt gene. Nature Biotechnology 9(11): 1086-1089.
- PALACIO-CORTÉS, A. M.; ZARBIN, P. H.; TAKIYA, D. M.; BENTO, J. M.; GUIDOLIN, A. S.; CONSOLI, F. L. 2010. Geographic variation of sex pheromone and mitochondrial DNA in *Diatraea*

- 
- saccharalis* (Fab.; 1794) (Lepidoptera: Crambidae). Journal of Insect Physiology 56: 1624-1630.
- PAROLA, A.; SCIOCCO-CAPC, A.; GLIKMANNB, G.; ROMANOWSKI,V. 2003. An immunochemical method for quantitation of Epinotia aporema granulovirus (EpaGV). Journal of Virological Methods 112: 13-21.
- PASHLEY, D. P.; HARDY, T. N.; HAMMOND, A. M.; MIHM,J. A. 1990. Genetic evidence for sibling species within the sugarcane borer (Lepidoptera: Pyralidae). Annals of the Entomological Society of America 83: 1048-1053.
- ROHRMANN, G. F. 2013. Baculovirus molecular biology. National Center for Biotechnology Information (US), Bethesda (MD).
- VAN-LENTERAN, J. C. 2008. IOBC Internet book of biological control. 5th edn. www.IOBC-Global.org. Wageningen, The Netherlands.
- VERSTEIRT, V.; NAGY, Z. T.; ROELANTS, P.; DENIS, L.; BREMAN, F. C.; DAMIENS, D.; VAN BORTEL,W. 2015. Identification of Belgian mosquito species (Diptera: Culicidae) by DNA barcoding. Molecular ecology resources 15(2): 449-457.
- ZANOTTO, P. M.; KESSING, B. D.; MARUNIAK,J. E. 1993. Phylogenetic interrelationships among baculoviruses: evolutionary rates and host associations. Journal of Invertebrate Pathology 62: 147-164.
- ZEDDAM, J. L.; VÁSQUEZ, R. M.; VARGAS, Z.; LAGNAOUI, A. 2003. Producción viral y tasas de aplicación del granulovirus usado para el control biológico de las polillas de la papa *Phthorimaea operculella* y *Tecia solanivora* (Lepidoptera: Gelechiidae). Boletín de Sanidad Vegetal. Plagas. 29.

---

## Uso de herramientas moleculares para la caracterización de *Beauveria bassiana* y el entendimiento de la interacción *Beauveria bassiana* broca del café

Carmenza E. Góngora B.

Microbióloga. Ph.D. Disciplina de Entomología. Centro Nacional de Investigaciones de Café. Cenicafé.  
FEDERACAFE. [carmenza.gongora@cafedecolombia.com](mailto:carmenza.gongora@cafedecolombia.com)

---

En Colombia, el hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana* es un controlador natural de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae) que se considera la principal plaga de la caficultura colombiana, las larvas se alimentan de la semilla, causando pérdida en el peso del grano, disminución de la calidad y caída al suelo de los granos pequeños.

Desde comienzos de este siglo, el desarrollo de técnicas de biología molecular en Cenicafé se presentó como una alternativa rápida y eficaz para la selección de cepas de *Beauveria* altamente patógenas y virulentas contra la broca y para profundizar en el conocimiento de la diversidad genética de estas cepas. Específicamente, se trabajó con marcadores moleculares; características genéticas asociadas y estadísticamente correlacionadas con un rasgo de interés y transformación genética con genes involucrados en patogenicidad y resistencia a condiciones medioambientales.

En los primeros trabajos realizados en la colección de entomopatógenos de Cenicafé, se estudiaron 95 aislamientos (Gaitán *et al.* 2002) aislados de diferentes insectos hospederos en Colombia y otros lugares del mundo. Usando RAPDs (*Random Amplification of Polymorphic DNA*) e ITSs (Internal Transcribed Spacers), se encontró que la mayoría de las cepas de *Beauveria* se ubicaban en un gran grupo principal, donde la variabilidad intraespecífica era baja, pero que no se trataba de poblaciones clonales. La causa de esta diversidad genética intraespecífica, teniendo en cuenta que estas variaciones no provienen de una recombinación cromosómica ya que este hongo no se reproduce sexualmente, podría deberse a fenómenos de recombinación parasexual y de mutaciones espontáneas. Igualmente, no se pudo correlacionar genotipos de *B. bassiana* con su especificidad frente a un hospedero específico, ni agrupar las cepas por localidad.

Con base en estos resultados, se escogieron 11 cepas de *B. bassiana* de la colección, con el fin de evaluar el efecto del uso de mezclas de esporas en la patogenicidad del hongo frente a la broca del café. Para diferenciar las cepas, Cruz *et al.* (2006) las caracterizaron genéticamente mediante ITS, secuenciación de  $\beta$ -*tubulina* y AFLPs (*Amplified fragment length polymorphism*), permitiendo agrupar a los aislamientos en tres grupos distintos. Las pruebas de virulencia sobre la broca, empleando concentraciones de  $1 \times 10^6$  conidias/m, mostraron que la mortalidad sobre el insecto para cada cepa fluctuó entre 57,5 % y 89,1 %. Al mezclar cepas de virulencia superior al 82 % y diferentes genéticamente, se obtuvieron mortalidades significativamente bajas (57 %). Mientras que al mezclar cepas con virulencia inferior al 80 % y diferentes genéticamente (Bb9001, Bb9119, Bb9024), se obtuvieron los mayores porcentajes de mortalidad (93 %), siendo promisoría esta última combinación como alternativa para evaluar en campo. Cárdenas *et al.* (2007) corroboraron que la mezcla de cepas de baja virulencia (Bb9001, Bb9119, Bb9024) causó una alta

mortalidad (100 %) sobre la broca del café en pruebas de laboratorio y en pruebas de campo. Luego de realizar infestaciones artificiales con el insecto a ramas de árboles, se observó una mortalidad de 66,6 %, indicando que es posible incrementar la eficacia del entomopatógeno. El uso de mezclas se evidenció como una alternativa en vez de la utilización de una sola cepa para el control del insecto, y se abrió el campo para el desarrollo futuro de formulaciones compuestas. Este tipo de mezclas con diferentes cepas de hongos, no solo incrementan el espectro de acción sino que también aseguran su acción bajo diferentes condiciones ambientales (Góngora 2008).

Continuando con este trabajo, Vera *et al.* (2010) evaluaron el efecto de la mezcla de cepas de *B. bassiana* sobre frutos infestados dejados en el suelo y su impacto en la infestación de los frutos de la parte aérea de la planta. La mezcla de cepas redujo la infestación hasta en un 50 %. En los frutos disectados de cada árbol tratado, la mortalidad de las brocas estuvo por encima del 40 %, comparado con un 15 % de mortalidad en el control sin aplicación del hongo. Adicionalmente, las cepas de *B. bassiana* disminuyeron entre 55 y 75 % las poblaciones de insectos dentro de los nuevos frutos infestados en la parte aérea. Los resultados indican que *B. bassiana* disminuye significativamente la población de broca que emerge de frutos infestados del suelo, y reduce las futuras generaciones del insecto. Jaramillo *et al.* (2012) evaluaron el efecto de *Metarhizium anisopliae* en condiciones de campo y en combinación con la mezclas de cepas de *B. bassiana* antes mencionadas, validando el efecto de estas mezclas en un cultivo comercial de café. La cepa Ma9236 y la mezcla de cepas de *B. bassiana* más Ma9236 fueron efectivas reduciendo los niveles de infestación en los árboles entre el 18 y 47 % comparado con el testigo; el uso de una mezcla con diferentes espectros de acción bajo condiciones ambientales indica que es posible mantener los porcentajes de broca en el lote por debajo del 6,6 %. En laboratorio, la mezcla de *B. bassiana* logró afectar la capacidad de oviposición de las brocas en un 90 %, reiterando que las mezclas de cepas además de incrementar la mortalidad en las poblaciones de broca, afectan directamente nuevas generaciones.

Paralelamente, en Cenicafé se había venido trabajando en la identificación de los genes en *B. bassiana* involucrados en la virulencia del hongo. Es así como Mantilla *et al.* (2012) realizaron un estudio de expresión de genes en conidias y micelios de *B. bassiana* atacando la broca, y secuenciaron dos librerías de EST (expressed sequences tag). Se obtuvieron así 4.186 secuencias de ADNc, y de su análisis se concluyó que la expresión de genes es diferente entre las conidias e hifas que invaden la cutícula del insecto. Esto explicaría porqué la infección desarrollada por conidias es más eficiente que la observada por el micelio, ya que en estas se encontraron una elevada expresión de genes tales como los del tipo - ciclofilina, (relacionados con la formación del apresorio por parte del hongo), una serin proteasa alcalina (importante en el proceso de degradación de proteínas presentes en la cutícula), y una proteína quinasa activada por mitógenos (MAPK) (involucrada en unión y reconocimiento de la cutícula). Estos resultados tienen importantes implicaciones relacionadas con el adecuado momento de aspersión de los hongos con respecto al insecto, y a la ventana de oportunidad de acción de las conidias. Para que estas sean efectivas deben germinar y penetrar prontamente al momento de entrar en contacto con la cutícula del insecto, siendo estas y no el micelio el que causa el mayor efecto sobre la broca.

Adicionalmente, se realizó un estudio para identificar diferencias con respecto a la expresión de genes en cepas con baja virulencia (Bb 9024) vs aquellas con alta virulencia (Bb9205),

en donde se encontró que la cepa Bb 9024 produce menores cantidades de esterases con respecto a la cepa más patogénica, por lo que el efecto en la cutícula del insecto es menor.

Con el objetivo de aumentar la patogenicidad de la cepa, se determinó el efecto de la sobreexpresión de genes involucrados en la patogenicidad contra la broca del café. Es así como se sobreexpresaron genes de proteasas tipo subtilisinas (pr1A, pr1J) y esterasa (ste1) aislados de *M. anisopliae* en la cepa Bb9205. Para esto, se clonaron los genes en el plásmido para transformación pBarGPE1 (Góngora 2004) que confiere resistencia al herbicida glufosinato de amonio. Se realizó modificación de la cepa Bb9205 mediante Polietilenglicol PEG y electroporación y se evaluó la patogenicidad de las mismas. La expresión constitutiva de la proteasa en la cepa modificada Bb9205-pr1A mejoró su actividad insecticida al demostrar un incremento de mortalidad del 21,7 %, y una disminución del 14,3 % en el tiempo de mortalidad sobre la broca del café. En tanto, el transformante Bb9205-ste1 disminuyó en un 9,5 % el tiempo de mortalidad sobre broca al compararse con Bb9205 sin transformar (Rodríguez y Gongora 2005).

Adicionalmente, el proceso de infección del hongo sobre la plaga es limitado por las condiciones ambientales, como la radiación UV, que causa mortalidad en el hongo debido a daño en el ADN. Con el propósito de incrementar la tolerancia a la radiación UV, se aisló del hongo el gen de la fotoliasa y se logró susobrexpresión. Las colonias fueron expuestas a luz UV-B, con una irradiancia de 1200mWalt/m<sup>2</sup> durante 0, 1, 2 y 3h. Se obtuvieron cepas que mostraron mayor resistencia a luz UVB comparadas con la control, y mostraron porcentajes de viabilidad entre un 25 y 35 % superiores. Dos de estas cepas se evaluaron por qPCR para cuantificar la expresión relativa del gen usando micelio inducido en UV. Al comparar la expresión de la fotoliasa, dos cepas presentaron mayor expresión en todos los tratamientos evaluados con respecto a la cepa control y su virulencia se mantuvo (Góngora *et al.* 2015).

Los resultados obtenidos con estas diferentes herramientas moleculares finalmente nos han llevado a entender mejor las interacciones entre la broca y las diferentes cepas de *B. bassiana*, y como se pueden combinar otras estrategias para potencializar estas interacciones, de tal forma que hemos iniciado trabajos para determinar el efecto de los productos botánicos y aceites esenciales en la interacción broca y mezclas de cepas de *B. bassiana*.

Estos compuestos botánicos son de gran interés debido a que en la década de los 90 del siglo pasado se demostró que mostraban una actividad de contacto insecticida y o repelente sobre un amplio rango de insectos. Con el propósito de desarrollar un producto natural, eficaz y ambientalmente seguro para el control de la broca del café, a partir de la combinación de hongos entomopatógenos en mezcla y extractos botánicos (Benavides y Góngora 2015), se evaluó el efecto de la mezcla de dos extractos botánicos con cepas del hongo *B. bassiana* en la mortalidad de la broca del café en condiciones de laboratorio. Los dos extractos a concentraciones de 0,5 y 1,5 % mostraron un efecto sinérgico al ser combinados con las dos concentraciones de hongo usado, incrementando la mortalidad del hongo entre 20 y 50 %. El efecto combinado de estos extractos botánicos con hongos entomopatógenos incrementan y aceleran el tiempo de mortalidad de la broca del café, de tal manera que un producto conteniendo los dos será más efectivo en el control del insecto dado que en tan solo 5 días se pueden observar mortalidades cercanas al 100 %.

El objetivo final es causar un incremento de la mortalidad de la broca en un menor tiempo, lo que conllevará a menores porcentajes de infestación en los cultivos. Se espera poder contar con una alternativa inocua, ambientalmente segura y altamente eficaz en el control de la broca, así como de otros órdenes de insectos plagas en agricultura.

---

## Referencias

- BENAVIDES, P.; GÓNGORA, C. E. Patente. Formulaciones plaguicidas que comprenden extractos de ajo (*Allium sativum*), de ají (*Capsicum* sp.) y de ajeno (*Artemisa* spp.), o combinación de los mismos y los hongos entomopatógenos *Beauveria bassiana* o *Metarhizium anisopliae*, o combinación de los mismos "FORMULACIÓN PLAGUICIDA." Resolución No. 39025 de fecha 30 de julio de 2015. Inventors. FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA y ECOFLORA AGRO S.A.S. Numero de radicación: 13-010-500-00010-0000
- CÁRDENAS, A. B.; VILLALBA, D.; BUSTILLO, A.; MONTOYA, E.; GÓNGORA, C. 2007. Eficacia de mezclas del hongo *Beauveria bassiana* en el control de la broca del café. *Cenicafé* 58 (4): 293-303.
- CRUZ, L. P.; GAITÁN, A. L.; GÓNGORA, C.E. 2006. Exploiting the genetic diversity of *Beauveria bassiana* for improving the biological control of the coffee berry borer by strain mixtures. *Applied Microbiology and Biotechnology* 71 (6): 918-926.
- GAITÁN, A.; VALDERRAMA A.; SALDARRIAGA G.; VÉLEZ P.; BUSTILLO A. 2002. Genetic variability of *Beauveria bassiana* associated to the Coffee Berry Borer *Hypothenemus hampei* and other insects. *Mycological Research* 106: 1307-1314.
- GÓNGORA B.; C. E. 2004. Transformación de *Beauveria bassiana* cepa (Bb9112) con los genes de la proteína verde fluorescente y la proteasa pr1A de *Metarhizium anisopliae*. *Revista Colombiana de Entomología* 30: 15-21.
- GÓNGORA B.; C. E. 2008. Los hongos entomopatógenos en el control de insectos. Pp. 133-149. En: Bustillo, P.A. (ed.) *Los insectos y su manejo en la caficultura colombiana*. *Cenicafé*. Chinchiná (Colombia).
- GÓNGORA B.; C. E.; CÓRDOBA C, L. A.; MANTILLA A, J. G. 2015. Evaluación de cepas de *Beauveria bassiana* con tolerancia a luz UV y expresión relativa de fotoliasa. *Resúmenes 42 Congreso Socolen Medellín*.
- JARAMILLO, J. L.; MONTOYA, E. C.; BENAVIDES, P.; GÓNGORA, C. E. 2015. *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* para el control de broca del café en frutos del suelo. *Revista Colombiana de Entomología* 41 (1): 95-104.
- MANTILLA, J. G.; GALEANO, N. F.; GAITÁN, A. L.; CRISTANCHO, M. A.; KEYHANI, N. O.; GÓNGORA, C. E. 2012. Transcriptome analysis of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* grown on the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*). *Microbiology* 158: 1826-1842. doi:10.1099/mic.0.051664-0.
- RODRIGUEZ, M. L.; GÓNGORA, C. E. 2005. Transformación de *Beauveria bassiana* cepa Bb9205 con los genes pr1A, pr1J y ste1 de *Metarhizium anisopliae*. Y evaluación de su patogenicidad sobre la broca del café. *Revista Colombiana de Entomología* 31: 51-58.



---

**Moscas blancas: determinación y caracterización de sus biotipos y virus transmitidos (Crinivirus y Begomovirus) en el cultivo de tomate de mesa (*Solanum lycopersicum*) en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá**

Jorge Evelio Ángel Díaz<sup>1</sup>, Maikol Y. Santamaría Galindo<sup>2</sup>, Sandra Milena Parada Pire<sup>3</sup>, Julián Martínez Henao<sup>4</sup> y Everth E. Ebratt Ravelo<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Líder Nacional en Diagnóstico Molecular Agrícola Biol.; Ph.D, <sup>2</sup>Ing. en Agroecología, M.Sc.; <sup>3</sup>Ing. en Agroecología, M.Sc. en Entomología, <sup>4</sup>Biol.; cPh.D, <sup>5</sup>Ing.; cPh.D.  
Instituto Colombiano Agropecuario - ICA. [jorgecol@gmail.com](mailto:jorgecol@gmail.com)

---

## Introducción

La identificación de especies de mosca blanca (*Bemisia tabaci* y *Trialeurodes vaporariorum*) que es utilizada tradicionalmente maneja métodos como revisiones bajo estereoscopio basándose en diferencias morfológicas en el cuarto estadio ninfal o pupa (Rodríguez y Cardona 2001). *Bemisia tabaci* exhibe variaciones biológicas y genéticas entre sus poblaciones naturales dando como resultado la ocurrencia de biotipos (Brown *et al.* 1995).

Para este caso, donde los biotipos no se pueden distinguir morfológicamente, se pueden tener en cuenta características biológicas que los diferencian tales como fecundidad, rango de plantas hospederas y resistencia a insecticidas; sin embargo, estas no son muy exactas, por lo que se han utilizado técnicas para una identificación más precisa por medio de marcadores moleculares que muestran las diferencias genéticas existentes entre organismos de una misma especie revelando lugares de variación en el ADN (Collard *et al.* 2005).

Algunas de las pruebas utilizadas son la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) y la técnica de polimorfismos de ADN amplificado al azar (RAPD), debido a que los biotipos presentan patrones de bandas que permiten identificarlos (Perring, 2001; Rodríguez y Cardona 2001). RAPD-PCR producen fragmentos de ADN que pueden ser utilizados para diferenciar poblaciones de insectos y permiten diferenciar los biotipos A y B de *B. tabaci* (Gawel y Bartlett 1993).

La técnica de RAPD es una de las más adecuadas ya que utiliza cantidades mínimas de ADN, es rápida y precisa en el momento de diferenciar entre los biotipos, y además permite un manejo fácil de las muestras ya que se pueden conservarse etanol sin necesidad de refrigerar (Rodríguez y Cardona 2001). Por ello, se ha convertido en una herramienta muy poderosa en la investigación de variaciones genéticas en general, y en el caso particular de las especies del género *Bemisia*, se ha utilizado para analizar diversidad poblacional, para estudios taxonómicos, para relevar información biogeográfica y también, para la identificación de biotipos (Lima *et al.* 2002).

**El ADN mitocondrial.** El genoma mitocondrial es una molécula de ADN de estructura circular y de doble cadena (ADNmt), que se encuentra dentro de las mitocondrias, y por lo tanto, es extranuclear. En los animales, el genoma mitocondrial de la mayoría de los taxones contienen genes que son muy conservados, como lo son los 2 que codifican para los rARN mitocondriales

(ARNs ribosómicos), 22 genes que codifican para los 22 tARN (ARN de transferencia,) y 13 genes que codifican para ARNm (ARN mensajeros), y por lo tanto, para 13 proteínas, en adición a una región de control no codificante (D-loop) (Wolstenholme 1992; citado por Tjensvoll 2005). Los alelos contenidos en los genes mitocondriales son conservados a través de los diferentes fillum de animales, pero pueden diferir fuertemente entre los grupos de parientes lejanos. El ADNmt tradicionalmente ha sido usado en estudios genéticos a nivel de población. Sin embargo, durante las pasadas décadas el uso ha sido extendido hasta inclusive estudios de filogenia entre taxones cercanos y más distantemente relacionados, y los patrones de flujos de genes (Wilson *et al.* 2000; citado por Tjensvoll 2005).

Los objetivos del proyecto fueron caracterizar morfológica y molecularmente las especies y biotipos de moscas blancas en el cultivo de tomate de mesa (*Solanum lycopersicum*) en Cundinamarca y Boyacá, mediante la técnica de PCR-RADP, y desarrollar una metodología de diagnóstico molecular basada en la secuenciación del gen mitocondrial citocromo oxidasa I (mtCIO) para la detección de biotipos de moscas blancas. Adicionalmente, se planificó determinar la presencia de los virus PYVV, ToCV y TICV (Crinivirus- *Closteroviridae*) y del género *Begomovirus* (*Geminiviridae*) asociados al cultivo.

**Metodología.** Todo el trabajo experimental se realizó en el Laboratorio Nacional de Diagnóstico Fitosanitario (LNDF) de ICA Tibaitatá. Para el mismo se muestrearon 300 predios productores de tomate de mesa en municipios de los departamentos de Cundinamarca (Cáqueza, Fómeque, Choachí, Ubaque, Quetame, Fusagasugá, Silvania, Granada, Guaduas, Tibacuy, Tena, Pacho y Manta) y Boyacá (Villa de Leyva, Sutamarchán, Tinjacá, Santasofía, Miraflores, Sachica, Moniquirá, Raquirá, Gachantiva, Guateque, Pachavita, Tenza y La Capilla).

Se realizó la identificación de especies de moscas blancas recolectadas y de sus biotipos mediante las técnicas RAPDs y análisis de ADN mitocondrial (mtCOI).

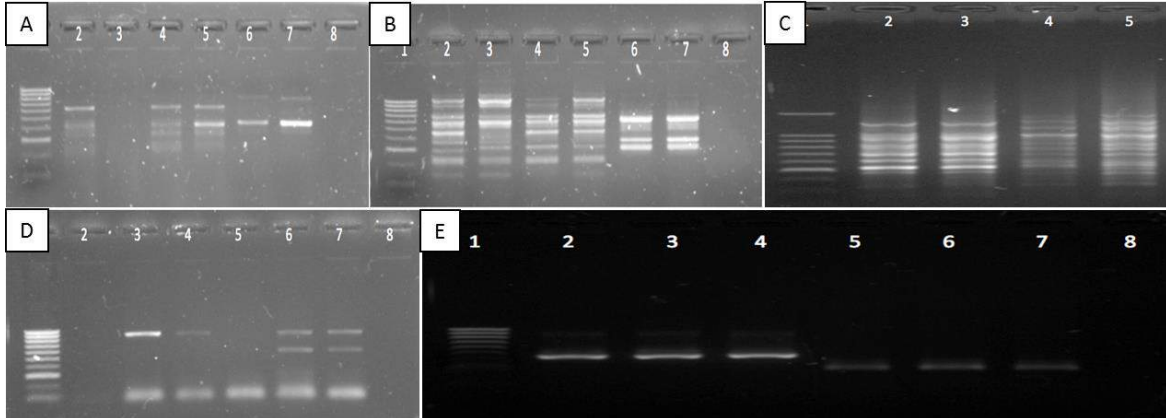
En plantas de tomate sintomáticas de infecciones virales donde se encontró presencia de moscas blancas se extrajo ADN y ARN para establecer la presencia de virus seleccionados (PYVV, ToCV, TICV, *Begomovirus* y *Torradovirus*) mediante PCR y RT-PCR con cebadores específicos (Brown *et al.* 2001; Dovas *et al.* 2002; Wintermantel *et al.* 2004; Wyatt y Brown 1996; Verbeek *et al.* 2013).

## Resultados

Determinación taxonómica de moscas blancas. Se determinaron las especies de moscas blancas *T. vaporariorum* y *B. tabaci* en base a ninfas instar IV y claves taxonómicas (Martín 1987; Caballero 1994). *T. vaporariorum* se registró en todos los municipios muestreados de Cundinamarca y Boyacá, en altitudes entre 653 msnm y 2.654 msnm. En contraste, *B. tabaci* se registró únicamente en coexistencia con *T. vaporariorum* en los municipios de Fusagasugá, Tibacuy, y Guaduas (occidente de Cundinamarca), en altitudes entre 653 msnm y 1.610 msnm.

Determinación molecular de moscas blancas. Se realizaron amplificaciones de la región mitocondrial mtCOI para la identificación de especies de moscas blancas y de biotipos de *Bemisia*

*tabaci* (Figuras 1D y 1E). Así, se identificaron los biotipos B y Q. Adicionalmente, se estandarizaron las condiciones de amplificación de RAPDs y para determinación de especies (Figura 1A y 1B) y de biotipos de *B. tabaci* con la utilización de los cebadores OPA9 y OPA4 (Figura 1C). Solo se encontró *B. tabaci* biotipo B en Cundinamarca en los municipios de Guaduas, Fusagasugá, Tibacuy y Pacho.



**Figura 1.** A. Perfil de amplificación preliminar con el cebador OPA4. Carril 2 y 3. Muestras de *B. tabaci* (biotipo desconocido). Carril 4 y 5. Muestras de *B. tabaci* biotipo B. Carril 6 y 7. Muestras de *Trialeurodes vaporariorum*. Carril 8. Control negativo. B. Perfil de amplificación preliminar con el iniciador OPA9. Carril 2 a 5. Muestras de *B. tabaci* biotipo B. Carril 6 y 7. Muestras de *Trialeurodes vaporariorum*. Carril 8. Blanco. C. Perfil de amplificación con el cebador OPA4. Carril 2 y 3. Muestras de *B. tabaci* biotipo B. Carril 4 y 5. Muestras de *B. tabaci* biotipo Q. D. Amplificación de mtCOI con cebadores BtabuniLF y BtabuniR. Carril 2 al 5. Muestras de *B. tabaci* biotipo B. Carril 6 y 7. Muestras de *Trialeurodes vaporariorum*. (E). Identificación de Biotipo B y Q de *B. tabaci* con cebadores BioQL y BioQR mitocondriales. Carril 2 a 4. *B. tabaci* biotipo B. Carril 5 a 7. *B. tabaci* biotipo Q.

**Determinación molecular de virus en muestras de tomate analizadas.** Se estandarizaron las condiciones de amplificación para Crinivirus, (PYVV, ToCV, TICV) Begomovirus y Torradovirus en el Laboratorio Nacional de Diagnostico Fitosanitario (LNDF) ICA Tibaitatá.

**Detección de PYVV.** Las 900 muestras provenientes de Cundinamarca fueron analizadas para determinar la presencia de PYVV; la amplificación mediante PCR generó un amplicón de 800 pb generando evidencia positiva para la presencia del virus (Figura 2A). Un total de 36 muestras positivas para PYVV se encontraron en las muestras analizadas del departamento de Cundinamarca, y 25 en el Departamento de Boyacá.

**Detección de TICV.** Para los controles para TICV se obtuvo un amplicón de PCR del tamaño esperado (223 pb) mediante la utilización de los cebadores TIC3 y TIC4 reportados por Dovas *et al.* 2002. Las muestras fueron amplificadas por PCR utilizando ADN contenido mediante dos reacciones distintas, utilizando ya sea el cebador HS2 o empleando hexámeros ADN<sub>6</sub>, aunque con este último procedimiento se redujo la eficiencia de obtención de amplicómeros. En las muestras de Cundinamarca y Boyacá analizadas no se encontró ninguna amplificación para TICV (Figura 2B).

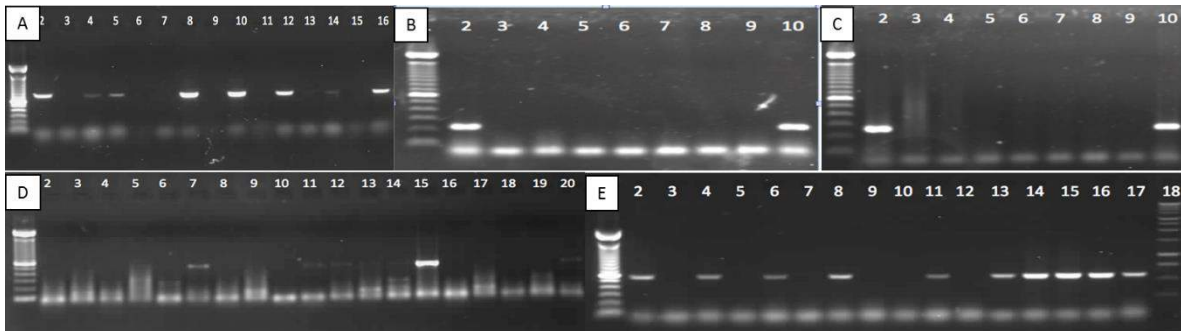
**Detección de ToCV.** Se logró la obtención del amplicón de PCR esperado (265 pb) mediante la metodología propuesta por Wintermantel *et al.* (2004). La detección se logró utilizando ADN contenido con el cebador *Solanaceae reverse primer* (GTGTTBGAYAACCAWGTGTT) y con hexámeros al azar (Figura 2C).

**Detección de Begomavirus.** Se realizó la amplificación del ADN obtenido con el fin de comprobar la identidad de los elementos genómicos circulares amplificados, se obtuvo el amplicón esperado de 520pb utilizando los cebadores AV494 y AC1048 (Wyatt y Brown 1996) (Figura 2D). Así, se detectaron 37 muestras positivas para Begomovirus en Cundinamarca. En las mismas se obtuvieron amplicones de 520 pb, resultado que se corresponde con el esperado. Las muestras positivas provinieron de los municipios de Fusagasugá, Guaduas, Pacho y Tibacuy en donde se encontró la presencia de *B. tabaci* (Figura 2D).

Para su confirmación, se secuenciaron 22 amplicones de Begomovirus obtenidos a partir de las muestras analizadas, y todas ellas se correspondieron con la especie *Potato yellow mosaic Panama virus* (PYMPV).

**Detección de Torradovirus en muestras agrupadas.** La detección de Torradovirus se realizó mediante una RT-PCR en dos pasos. Para la síntesis de ADNc se utilizó el cebador Torrado-2R (Verbeek *et al.* 2012). Luego, para la PCR posterior se utilizaron los cebadores Torrado-2F (5'TGGGATGARTGYAATGKCT3') y Torrado-2R (5'CCWGTCCACCAATTGCAATT3') con el perfil térmico reportado por Verbeek *et al.* (2012).

De este modo, se obtuvo un amplicón de 515 pb que corresponde con lo reportado por el mismo trabajo (Figura 2E) en 33 muestras. El 60 % de las mismas fueron provenientes del Departamento de Boyacá mientras que las restantes provinieron del Departamento de Cundinamarca; se evidenció una amplia distribución del virus en los lugares de muestreo.



**Figura 2.** A. Amplificación para PYVV. Muestras de tomate positivas para PYVV. B. Detección de TICV. Carril 2 y 10. Controles de TICV. Carril 3 al 9. Muestras analizadas para TICV. C. Detección de ToCV. Carril 2 y 10. Controles de ToCV. Carril 3 al 9. Muestras analizadas para ToCV. D. Amplificación con cebadores AV494 y AC1048 a partir de ADN obtenido por RCA en muestras de Fusagasugá. Carril 2 a 17. Muestras provenientes de Fusagasugá. Carril 18. Marcador de peso molecular 1Kb. E. Amplificaciones de Torradovirus. Carriles 2 al 19: muestras de tomate provenientes de Boyacá. Carriles 7, 11, 12, 13, 14, 15 y 20: muestras positivas para Torradovirus

## Discusión

La especie de mosca blanca *T. vaporariorum* se registró en todos los municipios muestreados de Cundinamarca y Boyacá, en altitudes entre 653 msnm y 2.654 msnm. *B. tabaci* se registró únicamente en coexistencia con *T. vaporariorum* en los municipios de Fusagasugá, Tibacuy, y Guaduas (occidente de Cundinamarca), en altitudes entre 653 msnm y 1.610 msnm. Lo anterior

está de acuerdo con lo registrado por Berrio (2007) y Martínez *et al.* (2012). Por otro lado, se encontró *B. tabaci* en el municipio de Pacho entre los 1.780 a los 1.940 msnm, en cultivos de la variedad Cherry, 83 msnm más alto que lo reportado por Martínez *et al.* 2012, igualmente coexistiendo con *T. vaporariorum*. En Boyacá no se encontró la presencia de *B. tabaci* a pesar que se muestrearon cultivos por debajo de los 1.600 msnm. Las dos especies habitaron en cultivos bajo invernadero y libre exposición afectando diferentes variedades de tomate de mesa.

Actualmente, el manejo químico es la principal herramienta de control de las moscas blancas. Sin embargo, se corroboró que esta estrategia se sigue implementando en este insecto semanalmente sin resultados efectivos, por lo que es necesario adelantar procesos de capacitación participativa a nivel local y regional, para el uso técnico de insumos de síntesis química e implementación de estrategias de control biológico, acompañado del fortalecimiento del reconocimiento del agente causal de daño (tanto moscas blancas como virus asociados) a técnicos y agricultores.

Mediante la implementación de metodologías moleculares RADPs y secuencias de ADN mitocondrial (mtCOI) para el análisis de muestras insectiles, se determinó que el biotipo B de *Bemisia tabaci* es el único encontrado en la regiones productoras de tomate de mesa estudiadas.

En las muestras de *T. vaporariorum* se generaron evidencias que sugieren una alta similitud genética en vista de los resultados obtenidos mediante RAPDs empleando los cebadores OPA4, OPA9 y OPC2, sin encontrarse patrones polimórficos que puedan ser asociados con variantes genéticas. Resultados similares se encontraron cuando se analizaron las secuencias correspondientes al gen mtCOI entre individuos de esta especie capturados en Boyacá y Cundinamarca.

En las muestras analizadas que presentaban sintomatología asociada a virus, se confirmó la presencia de PYVV en municipios donde se encontró la presencia de *T. vaporariorum*. La presencia de Begomovirus pudo establecerse en los municipios de Fusagasugá y Sylvania (Cundinamarca) donde se encontró coexistiendo *B. tabaci* y *T. vaporariorum*. La presencia de Torradovirus se pudo establecer tanto en el Departamento de Boyacá, como en Cundinamarca. Un aspecto importante de los resultados de este trabajo fue que no se encontró la presencia de los virus ToCV y TICV en las muestras de plantas de tomate analizadas, al menos mediante las tecnologías empleadas.

### **Agradecimientos**

Esta publicación es producto del proyecto de investigación código 2106-521-28363 “Moscas blancas: determinación y caracterización de sus biotipos y virus transmitidos (Crinivirus y Begomovirus) en el cultivo de tomate de mesa (*Solanum lycopersicum* L.) en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá”, financiado por Colciencias con el contrato No. CTB796-2011, ejecutado por el Instituto Colombiano Agropecuario, ICA, por medio de la Subgerencia de Análisis y Diagnóstico, Dirección Técnica Agrícola, Laboratorio Nacional de Diagnóstico Fitosanitario C.I. Tibaitatá. Se agradece a técnicos y profesionales de los municipios visitados, líderes del proyecto institucional de hortalizas de las seccionales ICA Cundinamarca e ICA Boyacá y especialmente a los agricultores de tomate de mesa que son el propósito de este trabajo.

---

## Referencias

- BERRIO, M. P. 2007. Identificación y distribución de especies y biotipos de moscas blancas sobre hortalizas en Cundinamarca. Trabajo de grado, Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Biología, Bogotá. 52 p.
- BROWN, J. K.; FROHLICH, D. R.; ROSELL, R. C. 1995. The sweetpotato or silverleaf whitefly: biotipos of *Bemisia tabaci* or a species complex? *Annals of Entomology* 40: 511-534.
- BROWN, J. K.; IDRIS, A. M.; TORRES-JEREZ, I.; BANKS, G. K.; S. D. WYATT. 2001. The core region of the coat protein gene is highly useful in establishing the provisional identification and classification of Begomoviruses. *Arch. Virol.* 146: 1581-1598.
- CABALLERO, R. 1994. Clave de campo para inmaduros de mosca blancas en Centroamérica (Homóptera: Aleyrodidae). Escuela Agrícola Panamericana, Departamento de protección Vegetal. Sección de entomología. El Zamorano (Honduras). p. 4.
- COLLARD, B. C. Y.; JAHUFER, M. Z. Z.; BROUWER, J. B.; PANG, E. C. K. 2005. An introduction to markers, quantitative trait loci (QTL) mapping and marker-assisted selection for crop improvement: The basic concepts. *Euphytica* 142: 169-196.
- DOVAS, C. I.; KATIS, N. L.; AVGELIS, A. D. 2002. Multiplex detection of Criniviruses associated with epidemics of a yellowing disease of tomato in Greece. *Plant Disease* 86: 1345-1349.
- GAWEL, N.; BARTLETT, A. 1993. Characterization of differences between whiteflies using RAPD - PCR. *Insect Molecular Biology* 2 (1): 33-38.
- LIMA, L.H.C.; CAMPOS, L.; MORETZOHN, M. C.; NAVIA, D.; OLIVEIRA, M. R. V. 2002. Genetic diversity of *Bemisia tabaci* (Genn.) populations in Brazil revealed by RAPD markers. *Genetics and Molecular Biology* 25: 217-223.
- MARTÍN, J. H. 1987. "An identification guide to common whitefly pest specie of the world (Homoptera: Aleyrodidae)", en *Tropical pest management*, vol 33, pp. 298-332.
- MARTÍNEZ, O; EBRATT, E; TURIZO, W; GUERRERO, O; ACOSTA, R. 2012. Presence of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) and Begomovirus, Associated with tomato crops *Solanum lycopersicum* L in Cundinamarca. *Agronomía Colombiana* 30 (3): 389-396.
- PERRING, T. 2001. The *Bemisia tabaci* species complex. *Crop Protection* 20: 725-737.
- RODRÍGUEZ, I.; CARDONA, C. 2001. Problemática de *Trialeurodes vaporariorum* y *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) como plagas de cultivos semestrales en el Valle del Cauca. *Revista Colombiana de Entomología* 27 (1- 2): 21-26.
- TJENSVOLL, K.; HODNELAND, K.; NILSEN, F.; NYLUND, A. 2005. Genetic characterization of the mitochondrial DNA from *Lepeophtheirus salmonis* (Crustacea; Copepoda). A new gene organization revealed. *Gene*, 353, 218-230 p.
- VERBEEK, M.; DULLEMANS, A. M. 2012. First report of tomato torrado virus infecting tomato in Colombia. *Plant Disease* 96 (4): 592.
- VERBEEK, M.; VAN BEKKUM, P.; DULLEMANS, A.; VAN DER VLUGT, R. 2013. Torradoviruses are transmitted in a semi-persistent and stylet-borne manner by three whitefly vectors. *Virus Res.* pii: S0168-1702 (13) 00432-2. doi: 10.1016/j.virusres.2013.12.003.
- WINTERMANTEL, W. 2004. Emergence of Greenhouse Whitefly (*Trialeurodes vaporariorum*) Transmitted Criniviruses as Threats to Vegetable and Fruit Production in North America. *APSnet Features*. Online: <https://www.apsnet.org/publications/apsnetfeatures/Documents/2004/GreenhouseWhitefly.pdf>. Consulta: Noviembre 2013.

WYATT, S. D.; BROWN, J. K. 1996. Detection of subgroup III geminivirus isolates in leaf extracts by degenerate primers and polymerase chain reaction. *Phytopathol* 86: 1288-1293.



---

## Investigación en virus entomopatógenos, caso baculovirus y su aplicación

Mariano Nicolás Belaich

Ph. D. Biotecnología. Laboratorio de Ingeniería Genética y Biología celular y Molecular, Universidad Nacional de Quilmes, Provincia de Buenos Aires, Argentina. [mbelaich@unq.edu.ar](mailto:mbelaich@unq.edu.ar)

---

**Los baculovirus.** Los baculovirus son patógenos de larvas de lepidópteros, himenópteros y dípteros que deben su nombre a la forma de bastón que poseen sus nucleocápsides. Poseen genomas de ADN doble hebra circular covalentemente cerrado de entre 80 y 180 kpb según la especie, portando entre 100 y 200 genes codificantes de proteínas (Miele *et al.* 2011). Una de sus características más particulares es que presentan dos fenotipos envueltos a lo largo de su ciclo de multiplicación en la naturaleza: los viriones brotados (BVs, por *Budded Viruses*); y los virus derivados de la oclusión (ODVs, por *Occlusion Derived Viruses*), los cuales están incluidos en cristales proteicos llamados cuerpos de oclusión (OBs, por *Occlusion Bodies*) (Rohrmann 2013). Los ODVs son los responsables de la infección primaria en la larva, la cual ocurre cuando ésta ingiere comida contaminada con OBs; mientras que los BVs son los encargados de la infección secundaria, que suele ser sistémica y en general, poliorganotrófica hasta provocar la muerte del individuo infectado. Actualmente, la familia *Baculoviridae* se clasifica en 4 géneros: *Alphabaculovirus* (nucleopoliedrovirus de lepidópteros), *Betabaculovirus* (granulovirus de lepidópteros), *Gammabaculovirus* (nucleopoliedrovirus de himenópteros), y *Deltabaculovirus* (nucleopoliedrovirus de dípteros) (Jehle *et al.* 2006). La gran diversidad de especies de baculovirus descritas, el rango de hospedador estrecho que presentan (sobre insectos que generalmente son plagas para la agricultura y la industria forestal), la disponibilidad de líneas celulares obtenidas a partir de numerosos hospedadores (dónde pueden multiplicarse las formas BVs y también producirse OBs), su capacidad para generar grandes cantidades de una proteína (la responsable del OB), su habilidad para transducir células de mamífero (pero sin generar infecciones productivas), y su bioseguridad (no infecta invertebrados benéficos y tampoco a ningún vertebrado ni al ser humano) han transformado a estos virus en entidades muy explotadas biotecnológicamente.

**Los baculovirus en el control biológico de plagas.** En vistas del impacto que poseen los insecticidas de naturaleza sintética en el ambiente, el uso de estrategias de control biológico ha ido cobrando relevancia. En tal sentido, los baculovirus aparecen como excelentes candidatos para constituirse en principios activos de formulaciones bioinsecticidas (Beas-Catena 2014). Para ello, es importante hallar y describir variantes autóctonas para las plagas que se desean controlar. Luego de la correcta identificación y de llevarse a cabo los estudios moleculares pertinentes, los cuales suelen incluir el aislamiento de los mejores genotipos y la secuenciación de sus genomas, es importante determinar los valores de las dosis letales (DL50) y los tiempos de letalidad medios (TL50) para así seleccionar a las cepas con mayor aptitud biocontroladora. De los cuatro géneros existentes, solo aquellas especies que infectan lepidópteros han sido desarrolladas para su uso comercial en todos los continentes. Así, se pueden mencionar como ejemplos exitosos de su producción y aplicación en América Latina formulaciones basadas en AgMNPV (nucleopoliedrovirus de *Anticarsia Gemmatalis*), CpGV (granulovirus de *Cydia pomonella*), PhopGV

(granulovirus de *Phtorimea operculella*) y SfMNPV (nucleopoliedrovirus de *Spodoptera frugiperda*), para preservar la sanidad de cultivos de soja, manzana, papa y maíz, respectivamente, contra las plagas que dan nombre a estos virus (Haase *et al.* 2015).

**Los baculovirus como sistemas de expresión de proteínas.** Como antes se mencionó, los OBs de los baculovirus están compuestos principalmente por una única proteína, denominada poliedrina en los alfa-, delta- y gamabaculovirus, o granulina en los betabaculovirus. En general, en momentos tardíos en las células infectadas por estos patógenos, la poliedrina o la granulina suele representar más del 30 % de la carga proteica total. Esta particularidad, más el hecho de que sus genomas son infectivos *per se* y toleran modificaciones, y de que se disponen de líneas celulares, como las derivadas de *Spodoptera frugiperda* (Vaughn *et al.* 1977) y *Trichoplusia ni* (Wickham *et al.* 1992), han transformado a los baculovirus en excelentes plataformas para la producción de proteínas recombinantes en contextos eucariotas. Esto ha dado lugar al nacimiento de los denominados BEVs (por *Baculovirus Expression Vectors*), generalmente basados en AcMNPV (nucleopoliedrovirus de *Autographa californica*), de los cuales existen numerosos sistemas comerciales de amplio uso en todo el mundo. Hoy en día, los sistemas BEVs son de muy sencilla manipulación, y han cobrado vital importancia para la industria farmacéutica y biotecnológica en general (van Oers *et al.* 2015).

**Los baculovirus en mamíferos.** Los BVs de los alfabaculovirus de Grupo I presentan una glicoproteína en su envoltura, denominada Gp64, que es un polipéptido fusogénico de clase III. Este factor es el responsable para el ingreso de las nucleocápsides a las células hospedadoras, iniciando así el proceso de infección secundaria en las larvas susceptibles (Kadlec *et al.* 2008). Además, se ha visto que los BVs, si bien no pueden completar un ciclo de multiplicación en células de mamífero, sí son capaces de transducirlas. Gracias a esta propiedad, los baculovirus se convirtieron en excelentes vehículos para el transporte de secuencias asociadas a procesos de terapia génica. Estas aplicaciones se encuadran dentro de las tecnologías BacMam (por *Baculoviruses applied on Mammals*) y han ganado relevancia sobre otros sistemas virales ampliamente explotados para tales fines, como los adenovirus, los adeno-asociados o los lentivirus. Las principales ventajas de los baculovirus en sus aplicaciones BacMam incluyen: a) su bioseguridad (no infectan más que a una o muy pocas especies de invertebrados y sólo lo hacen cuando no está afectada la morfología ocluida; son agentes de Grupo de Riesgo 1) (Kost y Condreay 2002); b) su gran capacidad de incorporar ADN heterólogo (hasta 38 kpb) (Cheshenko *et al.* 2001); c) su baja citotoxicidad y buena capacidad de transducir diversos tipos de células de mamífero (en estado *wild type* o pseudotipados) pero sin posibilidad de replicar y generar progenie (asegurando un efecto transitorio salvo que se agregue maquinaria de integración en caso de requerirse modificaciones estables) (Airenne *et al.* 2013; Turunen *et al.* 2014); d) la ausencia de respuesta inmune previa en el potencial receptor y una baja respuesta después de su inoculación (Lin *et al.* 2012; Luo *et al.* 2013); y e), la facilidad para su manipulación genómica y producción (disponibilidad de sistemas de modificación genética en bacterias y de numerosas líneas celulares de insecto susceptibles que incluso crecen en suspensión) (Sung *et al.* 2014).

---

## Referencias

- AIRENNE, K. J.; HU, Y.C.; KOST, T. A.; SMITH, R. H.; KOTIN, R. M.; ONO, C.; MATSUURA, Y.; WANG, S.; YLÄ-HERTTUALA, S. 2013. Baculovirus: an insect-derived vector for diverse gene transfer applications. *Mol Ther.* 21: 739-749.
- BEAS-CATENA, A.; SÁNCHEZ-MIRÓN, A.; GARCÍA-CAMACHO, F.; CONTRERAS-GÓMEZ, A.; MOLINA-GRIMA, E. 2014. Baculovirus biopesticides: An overview. *Journal of Animal and Plant Sciences.*
- CHESHENKO, N.; KROUGLIAK, N.; EISENSMITH, R.C.; KROUGLIAK, V. A. 2001. A novel system for the production of fully deleted adenovirus vectors that does not require helper adenovirus. *Gene Ther* 8:846-854.
- HAASE, S.; SCIOCCO-CAP, A.; ROMANOWSKI, V. 2015. Baculovirus insecticides in Latin America: historical overview, current status and future perspectives. *Viruses* 7 (5): 2230-2267.
- JEHLE, J. A.; LANGE, M.; WANG, H. L.; HU, Z. H.; WANG, Y. J.; HAUSCHILD, W. 2006. Molecular identification and phylogenetic analysis of baculoviruses from Lepidoptera. *Virology* 346: 180-193.
- KADLEC, J.; LOUREIRO, S.; ABRESCIA, N. G.; STUART, D.I.; JONES, I. M. 2008. The postfusion structure of baculovirus gp64 supports a unified view of viral fusion machines. *Nature Structural & Molecular Biology* 15 (10): 1024-1030.
- KOST, T. A.; CONDREAY, J. P. 2002. Innovations-biotechnology: Baculovirus vectors as gene transfer vectors for mammalian cells: Biosafety considerations. *J Am Biol Safety Ass* 7: 167-169.
- LIN, C. Y.; LIN, K. J.; LI, K. C.; SUNG, L.Y.; HSUEH, S.; LU, C. H.; CHEN, G. Y.; CHEN, C. L.; HUANG, S. F.; YEN, T. C.; CHANG, Y. H.; HU, Y. C. 2012. Immune responses during healing of massive segmental femoral bone defects mediated by hybrid baculovirus-engineered ASCs. *Biomaterials* 33: 7422-34.
- LUO, W. Y.; LIN, S. Y.; LO, K. W.; LU, C. H.; HUNG, C. L.; CHEN, C. Y.; CHANG, C. C.; HU, Y. C. 2013. Adaptive immune responses elicited by baculovirus and impacts on subsequent transgene expression *in vivo*. *J Virol* 87: 4965-4973.
- MIELE, S. A. B.; GARAVAGLIA, M. J.; BELAICH, M. N.; GHIRINGHELLI, P. D. 2011. Baculovirus: molecular insights on their diversity and conservation. *Int J Evol Biol.* 15;doi: 10.4061/2011/379424.
- ROHRMANN, G. F. 2013. *Baculovirus Molecular Biology*. National Library of Medicine (US), NCBI, Bethesda, Md, USA. Tercera edición. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK114593/>. Fecha acceso: 1 de abril 2017.
- SUNG, L. Y.; CHEN, C. L.; LIN, S. Y.; LI, K. C.; YEH, C. L.; CHEN, G. Y.; LIN, C. Y.; HU, Y. C. 2014. Efficient gene delivery into cell lines and stem cells using baculovirus. *Nat Protoc* 9: 1882-1899.
- TURUNEN, T. A.; LAAKKONEN, J. P.; ALASAARELA, L.; AIRENNE, K. J.; YLÄ-HERTTUALA, S. 2014. Sleeping Beauty-baculovirus hybrid vectors for long-term gene expression in the eye. *J Gene Med* 16: 40-53.
- VAN OERS, M. M.; PIJLMAN, G. P.; VLAK, J. M. 2015. Thirty years of baculovirus-insect cell protein expression: from dark horse to mainstream technology. *J Gen Virol* 96 (Pt 1):6-23.

- VAUGHN, J.L.; GOODWIN, R.H.; TOMPKINS, G. J.; MCCAWLEY, P. 1977. The establishment of two cell lines from the insect *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). In Vitro 13 (4): 213-217.
- WICKHAM, T. J.; DAVIS, T.; GRANADOS, R. R.; SHULER, M. L.; WOOD, H. A. 1992. Screening of insect cell lines for the production of recombinant proteins and infectious virus in the baculovirus expression system. Biotechnol Prog 8: 391-396.

## **Simposio 2.**

# **Vigilancia oficial de plagas de alto impacto en sistemas agrícolas y forestales**

---

**Coordinación: Carlos Espinel Correal**

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, CORPOICA

### **Participantes:**

Emilio Arévalo Peñaranda, María Fernanda Díaz Niño, Angela Patricia Castro Avila,  
Ana Milena Caicedo Vallejo, Jorge Hernán Palacino Córdoba  
Mariluz Rodas Avalos, Mónica Viviana Romero Vargas, Luz Yenifer Vizcaíno Morales, Rosa  
Elena Ramos Castiblanco  
Instituto Colombiano Agropecuario – ICA

---

SIMPOSIO

**Vigilancia oficial de plagas de alto impacto en sistemas productivos  
agrícolas y forestales de Colombia**

**Coordinador: Carlos Espinel Correal**

Biólogo-Entomólogo. Investigador Ph.D. Asociado. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria.

---

**Introducción**

El acuerdo sobre la aplicación de Medidas Sanitarias y Fitosanitarias de 1994, dispuesto por la Organización Mundial del Comercio (OMC), establece las reglas básicas para la normativa sobre inocuidad de los alimentos y salud de los animales y preservación de los vegetales. Todos los países deben aplicar medidas con el fin de garantizar la inocuidad de los productos alimenticios destinados al consumo humano y para evitar la propagación de plagas o enfermedades entre los animales y los vegetales. Este acuerdo reafirma el derecho soberano de todo gobierno a garantizar el nivel de protección sanitaria que estime apropiado con el fin de prevenir o limitar otros perjuicios causados a un país como resultado de la entrada, radicación o propagación de plagas.

En la actualidad, y como consecuencia del inmenso y continuo tráfico internacional de mercancías de seres vivos relacionados fundamentalmente con las actividades ganaderas, agrícolas y forestales, las comunidades de seres vivos se componen cada vez más de una combinación de especies nativas e introducidas. Por tal motivo es de gran interés disponer de información sobre estas especies, que permitan hacer extrapolaciones, generalizaciones y pronósticos, sobre todo en relación con aquellas especies (macro y microorganismos) con potencial para convertirse en plagas agrícolas de alto impacto económico.

Por tal razón, el objetivo del presente simposio es presentar los resultados de la vigilancia oficial de plagas de alto impacto en sistemas agrícolas y forestales en Colombia; entendiendo como *vigilancia* a un proceso oficial mediante el cual se recoge y registra información sobre la presencia o ausencia de una plaga utilizando encuestas, monitoreo u otros procedimientos. Esta tarea oficial es establecida, autorizada o ejecutada por la Organización Nacional de Protección Fitosanitaria (ONPF), que para el caso de Colombia es el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), y más exactamente la Dirección Técnica de Epidemiología y Vigilancia Fitosanitaria. Entre sus funciones está ejecutar acciones de vigilancia fitosanitaria directamente o a través de sensores externos sobre plagas de importancia económica y cuarentenaria en Colombia, para determinar su distribución e incidencia sobre las principales especies vegetales. De igual forma el mantener un sistema de información sobre la condición fitosanitaria del país y difundir la información, de ser procedente, de manera que el ICA pueda emitir oportunamente medidas y procedimientos para conservar o mejorar el estatus sanitario.

---

## Vigilancia oficial de plagas de alto impacto en sistemas productivos agrícolas de Colombia

Emilio Arévalo Peñaranda<sup>1</sup>, María Fernanda Díaz Niño<sup>2</sup>, Angela Patricia Castro Avila<sup>2</sup>,  
Ana Milena Caicedo Vallejo<sup>2</sup> y Jorge Hernán Palacino Córdoba<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ingeniero Agrónomo M.Sc. Director Técnico de Epidemiología y Vigilancia Fitosanitaria. Instituto Colombiano Agropecuario – ICA. [emilio.arevalo@ica.gov.co](mailto:emilio.arevalo@ica.gov.co). <sup>2</sup>Profesionales especializados. Dirección Técnica de Epidemiología y Vigilancia Fitosanitaria. Instituto Colombiano Agropecuario – ICA. [maria.diazn@ica.gov.co](mailto:maria.diazn@ica.gov.co); [angela.castro@ica.gov.co](mailto:angela.castro@ica.gov.co); [ana.caicedo@ica.gov.co](mailto:ana.caicedo@ica.gov.co). <sup>3</sup>Profesional especializado. Seccional Quindío. Instituto Colombiano Agropecuario – ICA. [jorge.palacino@ica.gov.co](mailto:jorge.palacino@ica.gov.co)

---

### Introducción

Todas las especies, de una u otra forma se dispersan y los fines de la dispersión y sus modalidades en el espacio y en el tiempo son numerosas. Esta dispersión puede ser de tipo intraareal (tiene lugar dentro del área de distribución natural de la especie) o extraareal (cuando excede los límites de la distribución natural de la especie); en este último caso, se produce lo que se conoce como invasión, que corresponde a la llegada de una especie a un lugar o región que no había ocupado antes, seguida del establecimiento en el sitio y posterior expansión (Dingle 1996; Yela *et al.* 1997).

En la actualidad, como consecuencia del intenso y continuo tráfico de mercancías a lo largo y ancho del planeta y como resultado de la importación y exportación de seres vivos relacionados fundamentalmente con las actividades ganaderas, agrícolas y forestales, las comunidades de seres vivos se componen cada vez más de una combinación de especies nativas e introducidas (Yela *et al.* 1997).

Una plaga se define como cualquier especie, raza o biotipo vegetal o animal o agente patógeno dañino para las plantas o productos vegetales (FAO 1990; revisado FAO 1995; CIPF 1997); y una plaga cuarentenaria se define como una plaga de importancia económica potencial para el área en peligro aun cuando la plaga no esté presente, o si está presente no está extendida y se encuentra bajo control oficial (CIPF 2012).

Según la Organización Mundial de Comercio (OMC), en el Acuerdo de Aplicación de Medidas Sanitarias y Fitosanitarias de 1994, todos los países, deben aplicar disposiciones que garanticen la sanidad de los productos destinados al consumo humano, con el objeto de evitar la propagación de plagas entre los animales y los vegetales. Por tal motivo, la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria (CIPF), la cual tiene como finalidad proteger las plantas cultivadas y silvestres, previniendo la introducción y propagación de plagas de las plantas y productos vegetales que se pueda originar a través del comercio internacional, apoya con la elaboración de los estándares de Normas Internacionales de Medidas Fitosanitarias (NIMF).

**Los sistemas nacionales de vigilancia de plagas.** De acuerdo a la NIMF No. 8 “Determinación de la situación de una plaga en un área”, todos los países importadores y exportadores necesitan



información relativa a la situación de plagas para la elaboración de los análisis de riesgos, el establecimiento de reglamentaciones de importación y exportación y el establecimiento y mantenimiento de las áreas libres de plagas.

Con el fin de disponer de información sobre las especies expansivas o introducidas, que permita realizar extrapolaciones, generalizaciones y pronósticos, en relación con aquellas especies con potencial para convertirse en plagas de alto impacto para la producción agrícola y forestal y la admisibilidad en los mercados de destino, las Organizaciones Nacionales de Protección Fitosanitaria (ONPF) realizan actividades de vigilancia. De acuerdo a lo establecido en la NIMF No. 6, “Directrices para la vigilancia”, los sistemas de vigilancia fitosanitaria de un país deben contar con elementos de vigilancia general y específica para el levantamiento de registros de plagas. La vigilancia general es la determinación de la condición de una plaga a través de la consulta y análisis de diferentes fuentes de información, que se encuentran disponibles o son proporcionadas para el uso de la ONPF, mientras que la vigilancia específica se conforma por procedimientos mediante los cuales las ONPF, obtienen información sobre plagas de interés en sitios específicos de un área, durante un periodo de tiempo definido.

El ICA como ONPF de Colombia, a través de la resolución 3593 de 2015 “Por medio del cual se crea el mecanismo para establecer, mantener, actualizar y divulgar el listado de plagas reglamentadas de Colombia”, publica el listado de plagas cuarentenarias ausentes, presentes y no cuarentenarias reglamentadas. La Dirección Técnica de Epidemiología y Vigilancia Fitosanitaria del ICA, a través de sus planes y proyectos: Plan Nacional Mosca de la Fruta (PNMF), vigilancia de plagas de control oficial, vigilancia del HLB y otras plagas cuarentenarias de los cítricos y vigilancia de plagas cuarentenarias del aguacate Hass, desarrolla acciones de vigilancia en 28 departamentos del país a través de la consolidación de redes de monitoreo, directo e indirecto. A continuación se relacionan las principales especies de artrópodos sujetas a vigilancia específica (tabla 1), de acuerdo a su estatus:

**Tabla 1.** Artrópodos plaga sujetos a vigilancia oficial de acuerdo a su estatus fitosanitario.

<b>Plagas cuarentenarias ausentes</b>	<b>Plagas cuarentenarias presentes</b>
<i>Anastrepha ludens</i> (Lowe) (Diptera: Tephritidae)	<i>Ceratitis capitata</i> (Wiedemann)
<i>Anastrepha suspensa</i> (Lowe) (Diptera: Tephritidae)	<i>Stenoma catenifer</i> (Lepidoptera: Elachistidae)
<i>Bactrocera</i> Macquart (Diptera: Tephritidae)	<i>Heilipus lauri</i> Boheman (Coleoptera: Curculionidae)
<i>Ceratitis cosyra</i> (Walker) (Diptera: Tephritidae)	<i>Heilipus trifasciatus</i> (Fabricius) (Coleoptera: Curculionidae)
<i>Ceratitis punctata</i> (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae)	<i>Maconellicoccus hirsutus</i> (Green) (Hemiptera: Pseudococcidae)
<i>Ceratitis quinaria</i> (Bezzi) (Diptera: Tephritidae)	<i>Parabemisiomyricae</i> (Kuwana) (Hemiptera: Aleyrodidae)
<i>Ceratitis rosa</i> Karsch (Diptera: Tephritidae)	<i>Rhynchophorus palmarum</i> L. (Coleoptera: Curculionidae)

---

*Dacus* Fabricius  
(Diptera: Tephritidae)

*Strategus aloeus* L.  
(Coleoptera: Scarabaeidae)

---

**La vigilancia de moscas de la fruta.** Las moscas de la fruta son insectos plaga que causan pérdidas de producción en un amplio rango de frutas hospedantes y restringen el acceso a diversos mercados alrededor del mundo. Dentro de la familia Tephritidae se han descrito alrededor de 4.000 especies y se reportan más de 260 especies vegetales hospedantes, entre las cuales se encuentran frutales, plantas silvestres, flores y vegetales (Porrás y Lecuona 2008).

El ICA, desde 1998 implementa el sistema de vigilancia de moscas de la fruta en Colombia a través del Plan Nacional Mosca de la Fruta (PNMF), el cual tiene como objetivo la detección, control y erradicación de estas especies con el fin de asegurar la condición fitosanitaria de la producción frutícola en Colombia y potenciar la capacidad de esta producción con destino a mercados especializados.

Actualmente el plan cuenta con 132 redes oficiales de trapeo, establecidas en 25 departamentos del país, lo cual permite inferir sobre la condición fitosanitaria de 194.980 ha aproximadamente. A través de estas redes, se vigilan especies de los géneros *Anastrepha*, *Bactrocera*, *Ceratitis* y *Dacus*, siguiendo los parámetros de la Agencia Internacional de Energía Atómica y de las Normas Internacionales, empleando trampas Jackson y McPhail y atrayentes como proteína hidrolizada, Trimedlure, Metileugenol y Cuelure.

Las acciones de control de moscas de la fruta en Colombia se han dirigido a la supresión de la mosca del Mediterráneo, *Ceratitiscapitata*, en diferentes zonas frutícolas del país así como al mantenimiento de la condición de las áreas declaradas libres y de baja prevalencia. Adicionalmente se preparan equipos de trabajo para la erradicación de cualquier brote de moscas invasivas, no nativas.

**Las plagas cuarentenarias del aguacate Hass.** De acuerdo a la evaluación de riesgos de plagas, elaborada para la exportación de frutos frescos de aguacate variedad Hass de origen Colombia hacia Los Estados Unidos, se establecieron como plagas cuarentenarias de alto riesgo de introducción, las especies *S. catenifer*, *H. lauri* y *H. trifasciatus*.

La especie *H. lauri* es considerada como una de las principales plagas del aguacate en Colombia por sus hábitos alimenticios y de oviposición, causando hasta un 80 % en pérdidas de producción (Corpoica 2011; Orjuela 2011). Su importancia se basa en el daño directo que ocasionan los adultos a los frutos de aguacate en el proceso de alimentación de la epidermis y pulpa del fruto realizando una perforación para continuar con el proceso de oviposición; las larvas recién emergidas inician el proceso de alimentación, barrenando la pulpa hasta alcanzar la semilla. La especie *H. trifasciatus* ha sido reportada en Panamá (Dietz y Barber 1920), Costa Rica (González Herrera 2003), Nicaragua (Maes 2004, citado por Castañeda-Vildózola *et al.* 2013) y Colombia (Rubio *et al.* 2009). Los aspectos más relevantes de la biología de esta especie son muy similares a los reportados para *H. lauri*; los adultos se alimentan de frutos, hojas y brotes y las hembras perforan el fruto para ovipositar; las larvas se alimentan de la pulpa hasta alcanzar la semilla (se

pueden encontrar entre una y cuatro larvas por semilla) y la formación de la pupa ocurre dentro de la semilla (Castañeda-Vildózola *et al.* 2013).

La especie *S. catenifer* se encuentra reportada en Norte América, específicamente en México (con distribución restringida). En América Central y el Caribe en los países de Bélize, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Panamá. En Sur América se registra la presencia en Argentina, Brasil, Colombia, Ecuador, Guyana, Perú y Venezuela (CABI 2017). El daño principal de *S. catenifer* lo causa la larva al alimentarse internamente de la pulpa y la semilla del fruto de aguacate, lo cual demerita el fruto y causa la caída de la misma (Núñez 2008). Las larvas también barrenan los tallos y brotes terminales (Wolfenbarger y Colburn 1966).

El acceso al mercado de los Estados Unidos exige el establecimiento de lugares de producción libres de las plagas cuarentenarias, con un área buffer (zona tampón) perimetral de un kilómetro, siendo necesario caracterizar la condición fitosanitaria de todos los predios que componen el área, realizar el diagnóstico de las plagas cuarentenarias e implementar todas las actividades de manejo para la erradicación de las mismas, con el fin de obtener núcleos de producción librese iniciar el proceso de vigilancia epidemiológica sistemática, tal y como se establece en las NIMF No. 10 “*Requisitos para el establecimiento de lugares de producción libres de plagas y sitios de producción libres de plagas*” y la NIMF No. 14 “*Aplicación de medidas integradas en un enfoque de sistemas para el manejo de riesgos de plagas*”. Actualmente el ICA desarrolla estas acciones en los lugares de producción establecidos en los departamentos de Antioquia, Caldas, Quindío, Risaralda, Tolima y Valle del Cauca.

**El HLB de los cítricos y su vector *Diaphorina citri* Kuwayana (Hemiptera: Liviidae).** El Huanglongbing (HLB) es la enfermedad más devastadora para la industria citrícola a nivel mundial llevando a la reducción masiva en la producción de frutas y a la muerte de árboles infectados (Bové 2006). La enfermedad se encuentra asociada a tres especies de proteobacterias restringidas al floema: *Candidatus Liberibacter asiaticus* (Las), *Ca. Liberibacter africanus* (Laf) y *Ca. Liberibacter americanus* (Lam) (Folimonova y Achor 2010). Estas bacterias son transmitidas a la planta por el insecto vector *Diaphorina citri*, especie reportada en Colombia desde el año 2007 (King *et al.* 2008). La vigilancia epidemiológica del ICA para la detección del HLB de los cítricos, desde el reporte oficial de presencia de *D. citri* en Colombia, ha permitido detectar la presencia del insecto vector en 26 departamentos del país.

**Otras plagas sujetas a vigilancia oficial.** En la actualidad, a través del proyecto de vigilancia de plagas de control oficial del ICA, el Instituto implementa acciones de vigilancia específica para otras especies plaga como *Maconellicoccus hirsutus* (Green) (Hemiptera: Pseudococcidae) y *Parabemisia myricae* (Kuwana) (Hemiptera: Aleyrodidae). La vigilancia de estas especies se realiza en 26 departamentos del país e incluye rastreos en especies hospedantes como anón, banano, guayaba, guanábana, mango y especies de cítricos como lima ácida, Tahití, mandarina, naranja y tangelo.

## Referencias

- CABI. 2017. Crop Protection Compendium. Wallingford, UK: CAB International. [www.cabi.org/cpc](http://www.cabi.org/cpc). (fecha acceso: mayo, 2017).
- CASTAÑEDA-VILDÓZOLA A.; EQUIHUA, A.; PEÑA J. J. 2013. Avocado Weevils of the Genus *Heilipus*. In: Potential invasive pests of agricultural crops. Ed. by Jorge E. Peña. (CABI invasivespecies series; v.3) CABI Publishing, 440 pp.
- CIPF (Convención Internacional de Protección Fitosanitaria). 1996. Norma Internacional para Medias Fitosanitarias (NIMF) No. 8. Determinación de la situación de una plaga en un área. 13pp.
- CIPF (Convención Internacional de Protección Fitosanitaria). 1997. Norma Internacional para Medias Fitosanitarias (NIMF) No. 6. Directrices para la vigilancia. 8pp.
- CIPF (Convención Internacional de Protección Fitosanitaria). 1999 Norma Internacional para Medias Fitosanitarias (NIMF) No. 10. Requisitos para el establecimiento de lugares de producción libres de plagas y sitios de producción libres de plagas. 8 pp.
- CIPF (Convención Internacional de Protección Fitosanitaria). 2002. Norma Internacional para Medias Fitosanitarias (NIMF) No. 14. Aplicación de medidas integradas en un enfoque de sistemas para el manejo de riesgos de plagas. 12 pp.
- CIPF (Convención Internacional de Protección Fitosanitaria). 2012. Norma Internacional para Medias Fitosanitarias (NIMF) No. 5. Glosario de términos fitosanitarios. 35pp.
- CORPOICA. 2011. Generación de tecnología para el manejo sostenible de insectos perforadores de frutos de aguacate en Colombia. Informe final. 176 pp.
- DIETZ, H. F.; BARBER, H. S. 1920. A new avocado weevil from the Canal Zone. *Journal of Agricultural Research* 20: 111-118.
- DINGLE, H. 1996. Migration. The biology of life on the move. Oxford University Press. Porras, L, Lecuona. R. 2008. Estudios de laboratorio para el control de *Ceratitiscapitata* (Wiedmann) (Diptera: Tephritidae) (Mosca del Mediterráneo) con *Beauveria bassiana*, *Agronomía Costarricense* 32 (2): 119-128.
- FOLINOVA, S.; ACHOR, D. 2010. Early events of Citrus Greening (Huanglongbing) disease development at the ultrastructural level. *Phytopathology*. Vol. 100. No. 9. 950-958 pp.
- GONZÁLEZ-HERRERA, A. 2003. Artrópodos asociados al cultivo del aguacate (*Persea americana* Mill.) en Costa Rica. *Proceedings V World Avocado Congress*. Málaga, Spain, p.449-454.
- KING, W.; GÓMEZ, C. E.; EBRATT, E. E.; RAMOS, A. A.; BURCKHARDT, D.; MORENO, H.; CASTAÑEDA, A. 2008. Detección de *Diaphorinacitri* (Hemiptera: Psyllidae) asociados en cítricos en Colombia, en xxxv congreso de la sociedad colombiana de entomología.
- NÚÑEZ, E. 2008. Plagas de paltos y cítricos en Perú, pp. 324-364 In R. Ripa and P. Larral eds., *Manejo de Plagas en Paltos y Cítricos*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, La Cruz, Región de Valparaíso, Chile.
- OMC (Organización Mundial del Comercio). 1994. Acuerdo sobre la Aplicación de Medidas Sanitarias y Fitosanitarias. [https://www.wto.org/spanish/tratop\\_s/sps\\_s/spsagr\\_s.htm#top](https://www.wto.org/spanish/tratop_s/sps_s/spsagr_s.htm#top) (fecha acceso: mayo 2017).
- ORJUELA, O. 2011. Evaluación del impacto de los insectos perforadores del fruto del aguacate (*Persea americana* MILLER) cv. Hass en el eje cafetero. Tesis de pregrado Biología. Universidad del Quindío. 80 pp.

- RUBIO, J. D.; POSADA, F. J.; OSORIO, O. I.; VALLEJO, L. F.; LÓPEZ, J. C. 2009. Primer registro de *Heilipuselegans* Guérin-Ménéville (Coleoptera: Curculionidae) atacando el tallo de árboles de aguacate en Colombia. Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica 12 (1): 59-68.
- WOLFENBARGER, D. O.; COLBURN, B. E. 1966. Recent observations on some avocado pests in México and El Salvador. Proceedings. Florida State Horticulture Society 79:335-337. [http://www.avocadosource.com/Journals/FSHSP /FSHSP\\_VOL\\_79\\_PG\\_335-337\\_1966.pdf](http://www.avocadosource.com/Journals/FSHSP /FSHSP_VOL_79_PG_335-337_1966.pdf). (Fecha acceso: mayo 2017).
- YELA, J.; DURÁ, E.; JIMENEZ, A.; BEITIA, F. 1997. La dispersión en insectos (Arthropoda: Insecta): invasión por especies introducidas por la acción humana frente a ampliación natural del área de distribución. Boletín S.E.A.; Nro. 20. 301-309 pp.

---

## Vigilancia fitosanitaria forestal oficial en Colombia: Nuevos reportes de insectos plaga en plantaciones forestales

Mariluz Rodas Avalos<sup>1,6</sup>, Mónica Viviana Romero Vargas<sup>2,6</sup>, Luz Yenifer Vizcaíno Morales<sup>3,6</sup>, Rosa Elena Ramos Castiblanco<sup>4,6</sup> y Emilio Arévalo Peñaranda<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Ingeniera Forestal, ICA Seccional Antioquia. *maria.diazn@ica.gov.co*. <sup>2</sup>Ingeniera Forestal. *monica.romero@ica.gov.co*. <sup>3</sup>Ingeniera Forestal Esp. <sup>4</sup>Ingeniera Forestal M Sc. *rosa.ramos@ica.gov.co*. <sup>5</sup>Ingeniero Agrónomo M Sc.; Director Técnico de Epidemiología y Vigilancia Fitosanitaria. Instituto Colombiano Agropecuario – ICA. *emilio.arevalo@ica.gov.co*. <sup>6</sup>Dirección Técnica de Epidemiología y Vigilancia Fitosanitaria, Programa Fitosanitario Forestal, Instituto Colombiano Agropecuario – ICA.

---

### Introducción

Actualmente en el país se encuentran establecidas aproximadamente 390.000 ha de plantaciones forestales comerciales, de acuerdo con las cifras de registro de cultivos forestales y sistemas agroforestales con fines comerciales, del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA, 2016). Los principales géneros y especies forestales empleados en proyectos de reforestación industrial en Colombia son: *Pinus* spp, *Eucalyptus* spp, *Tectona grandis*, *Gmelina arborea*, *Acacia mangium*, *Cordia alliodora*, *Cupressus lusitanica* y *Tabebuia rosea* (ICA, 2016).

Como parte de las acciones de vigilancia Fitosanitaria establecidas por el Instituto Colombiano Agropecuario a través de la Dirección Técnica de Epidemiología y Vigilancia Fitosanitaria se desarrolla el Programa Fitosanitario Forestal – PFF, el cual se encuentra orientado a la prevención, vigilancia y mitigación de plagas endémicas y plagas cuarentenarias ausentes de los cultivos forestales y sistemas agroforestales con fines comerciales.

En la vigencia inmediatamente anterior año 2016, el Programa Fitosanitario Forestal del ICA realizó vigilancia fitosanitaria específica a 103.000 ha de plantaciones forestales de carácter comercial. Para el 96 % de esta área no se reportó o detectó ningún tipo de afectación, 2 % presentaron afectaciones de tipo abiótico y el 2 % presentó afectaciones de origen biótico (artrópodos y/o enfermedades). Las afectaciones por artrópodos se presentaron en 1.436 ha de las 103.000 ha vigiladas con una incidencia del 1,4 % (ICA, 2017).

En desarrollo de las actividades de vigilancia fitosanitaria forestal el ICA ha tenido nuevos reportes de detección de plagas forestales para el país, consideradas como *plagas de alto impacto*, por la afectación en el desarrollo y crecimiento de las especies forestales.

Los nuevos reportes están relacionados principalmente con artrópodos como: complejo de insectos perforadores de las subfamilias Platypodinae y Scolytinae (Coleoptera: Curculionidae); defoliadores como *Schizurasp.* (Lepidoptera: Notodontidae) e *Isa* sp. (Lepidoptera: Limacodidae) en plantaciones de *Acacia mangium* de la Orinoquia; *Glycaspis brimblecombei* (Hemiptera: Psyllidae) y *Gonipterus plantensis* (Coleoptera: Curculionidae) en plantaciones forestales de

---

*Eucalyptus* spp. en Antioquia (ICA, 2017) y *Nystalea* sp. (Lepidoptera: Notodontidae), defoliador en plantaciones forestales de *Eucalyptus pellita* en Vichada (ICA, 2017).

El impacto de estos insectos plaga se evidencia primordialmente en la reducción de las tasas de crecimiento de las especies forestales por defoliación y la afectación del principal producto obtenido de las mismas como la madera.

Dos artrópodos plaga exóticos y específicos del género forestal *Eucalyptus*, detectados en Colombia son *Glycaspisbrim blecombei* y *Gonipterus platensis*, que causan defoliación y que pueden causar la muerte de los árboles en grados avanzados de afectación.

Teniendo en cuenta los daños registrados a partir de la aparición de *G. brimblecombei* y *G. platensis* en Colombia y la ausencia de información específica relacionada con su comportamiento en el país, el Instituto Colombiano Agropecuario- ICA adelanta investigaciones relacionadas con la dinámica poblacional y los posibles controles biológicos de estos dos insectos plaga. Las investigaciones se efectúan en el departamento de Antioquia, donde se realizaron los reportes oficiales para estas plagas en el país.

La alta susceptibilidad de cerca de 65.000ha establecidas con el género *Eucalyptus* en Plantaciones forestales en el país (ICA 2016), determina la importancia de estos estudios, fortaleciendo el sector forestal y el mantenimiento de la sanidad forestal de Colombia.

El ICA realiza vigilancia oficial a estas plagas, presenta información periódica de la distribución y estructura los planes de acción para que los reforestadores del país cuenten con información básica de cada plaga , reporten presencia y conozcan medidas generales de manejo.

**Insectos perforadores de fuste en plantaciones de *Acacia mangium*.** En la región Orinoquia se han presentado nuevos reportes sobre afectaciones de perforadores de fuste en *Acacia mangium*; específicamente en plantaciones ubicadas en los municipios de Puerto Gaitán y San Martín del departamento del Meta, donde se detectaron e identificaron dos nuevas especies para Colombia : *Costaroplatus manus* de la subfamilia Platypodinae (Coleoptera: Curculionidae) y *Gnathotrupes assidus* de la subfamilia Scolytinae (Coleoptera: Curculionidae).

Otros insectos perforadores reportados en plantaciones forestales de *Acacia mangium* afectando los fustes y por ende la madera de esta especie forestal son *Euplatypus parallelus*, *Platypus* sp. y *Teloplatus* sp. insectos de la subfamilia Platypodinae (Coleoptera: Curculionidae); *Xyleborus volvulus* y *Monarthrum* sp. de la subfamilia Scolytinae (Coleoptera: Curculionidae)

Los insectos de estas subfamilias son conocidos como escarabajos de la corteza (Bark beetles) y los escarabajos de ambrosía (Ambrosia beetles). Su importancia se debe a su asociación con patógenos que ocasionan importantes enfermedades en los árboles. Los escarabajos de la corteza se alimentan del floema de su hospedante, pero la mayoría de especies suplementan su dieta con relaciones de simbiosis con hongos. En contraste, los escarabajos de ambrosía subsisten completamente de los hongos (Ploetz *et al.* 2013). Los escarabajos de ambrosía barrenan la madera de sus hospedantes, construyen sus galerías e introducen los hongos a los que se encuentran asociados, los cuales se constituirán en el principal alimento de larvas y adultos. La



mayor parte de las especies de este grupo se distribuye en las zonas tropicales (Pérez de la Cruz *et al.* 2011).

**Defoliadores en plantaciones de *Acacia mangium*.** Se presentan dos nuevos reportes de artrópodos plaga en la especie forestal *Acacia mangium*, defoliadores detectados en plantaciones forestales ubicadas en el municipio de Puerto Carreño, departamento del Vichada y en el municipio de Medina, Cundinamarca.

***Isa sp.*** (Lepidoptera: Limacodidae): Este defoliador detectado en el departamento de Vichada, alcanzó un porcentaje de incidencia del 12 %, con una afectación sobre 135 ha en un período de tres meses aproximadamente. El daño que ocasiona la larva se caracteriza por defoliar severamente los árboles.

Los primeros estadios raspan las láminas foliares, seguidamente van realizando perforaciones hasta que en estadios más avanzados se alimentan por completo de la hoja incluyendo las nervaduras principales. La larva defolia severamente los tres primeros cuartos de las copas de los árboles, no afectan las hojas jóvenes o rebrotes. (ICA, 2015).

Los insectos de esta familia son comúnmente llamados las Orugas Babosa, Gusanos Babosa o “Slugcaterpillars”, debido a su similitud con las babosas. Estos insectos en su fase de larva carecen de propatas y en lugar de estas hay cinco pares de discos de succión con ganchos. Las orugas babosas se alimentan de especies latifoliadas y presentan patrones de alimentación con formación de ventanas u orificios, además de ser esqueletizadoras (Coulson y Witter, 1990).

***Schizura sp.*** (Lepidoptera: Notodontidae): Este defoliador presente en los departamentos de Cundinamarca y Vichada, se presenta como una plaga estacional, la cual incrementa sus poblaciones hacia los meses de julio y agosto. En las áreas evaluadas se encontraron porcentajes de incidencia de hasta el 100 % y severidad del 9 %. Las detecciones se presentaron en los municipios de Puerto Carreño – Vichada y Medina, Cundinamarca.

Los síntomas observados fueron defoliaciones en los tres primeros cuartos de copa de los árboles, es decir de forma ascendente. Se encontraron huevos en láminas foliares, larvas alimentándose del follaje y adultos (polillas) posados en los fustes de los árboles y perforaciones en las hojas por efectos de la alimentación de las larvas (ICA, 2015). Los adultos de la familia Notodontidae son mariposas nocturnas de tamaño mediano a grande. Los Notodontidos son por lo general de colores y patrones oscuros y crípticos. Sus cuerpos son muy peludos y pesados, son llamadas comúnmente “Prominentmoths” o polillas prominentes. Suelen tener alas largas que se pliegan sobre el dorso durante el reposo (Miller y Hammond, 2003).

#### **Defoliadores en plantaciones de *Eucalyptus spp.***

***Nystalea sp.*** (Lepidoptera: Notodontidae): Se reportó su presencia y afectación en el Municipio de Puerto Carreño, departamento del Vichada. La afectación se detectó en 20 ha de una plantación forestal de *Eucalyptus pellita*. Se observaron defoliaciones causadas por larvas en hojas hasta el

segundo cuarto de copa de los árboles. Se encontraron larvas de todos los tamaños, de color vino tinto en sus estados iniciales y de diferentes colores en los instares más avanzados (ICA, 2017 b).

Este género se ha reportado en Colombia defoliando cultivos de guayaba - *Psidium guajava* (Gallego y Vélez, 1992; Posada, 1989). En revisión de literatura no se encuentran otros reportes para el país afectando otras especies agrícolas o forestales, diferentes de las mencionadas

Esta especie es conocida popularmente como la oruga dragón debido a las protuberancias dorsales, principalmente en los últimos segmentos abdominales, las cuales adquieren una forma de cabeza, asimilando un dragón (Magistrali *et al.* 2013).

Según el diagnóstico realizado por el ICA se descartó que la muestra correspondiera a *N. nyseus*. Sin embargo, realizando revisiones de literatura se encontró que esta especie está reportada como plaga en plantaciones forestales de eucalipto en Brasil, en donde se observaron grandes cantidades de orugas subiendo por el tronco en sentido desde la base hacia el ápice en áreas totalmente infestadas. El daño causado por *N. nyseus* se caracteriza por el consumo de hojas de eucalipto, en el sentido del pecíolo hacia los bordes, y, en casos severos puede dejar apenas las nervaduras centrales. Además, el ataque de este insecto puede ocasionar la pérdida prematura de las hojas o puede comprometer el volumen de madera (Magistrali *et al.* 2013).

***Glycaspis brimblecombei* Moore.** El psílido de los eucaliptos rojos, *Glycaspis brimblecombei* Moore 1964, es un insecto originario del sur de Australia, perteneciente al orden Hemiptera, suborden Sternorrhyncha, familia Psyllidae, que infesta cerca de 25 especies de eucaliptos y es reconocido como una especie de importancia económica regular (Cibrián & Íñiguez, 2001). Las consecuencias de la infestación se traducen en pérdidas de follaje, reducción del crecimiento, muerte de ramas y aumento de susceptibilidad al ataque por otros insectos y enfermedades. Las defoliaciones sucesivas completas del árbol y la intervención de organismos oportunistas, pueden causar la muerte del hospedero (Cibrián & Íñiguez, 2001).

Dentro de los principales hospederos de *G. brimblecombei* se citan especialmente: *Eucalyptus camaldulensis* Dehn.; *E. tereticornis* Sm. y *E. cladocalix* (Moore, 1970, 1983, 1988; Carver, 1987; Dahltenet *et al.* 2003). Sin embargo, se ha reportado su ataque en otras especies como: *E. brassina*, *E. bridgesiana*, *E. camphora*, *E. dealbata*, *E. mannifera*, *E. nitens*, *E. rudis*, *E. globulus*, *E. diversicolor*, *E. sideroxylon*, *E. blakely*, *E. brassina*, *E. botryoides*, *E. cornuta*, *E. deglupta*, *E. grandis*, *E. marginata*, *E. punctata*, *E. rudis*, *E. robusta* y el híbrido *E. urograndis* (FAO, 2006). En plantaciones comerciales, los efectos del ataque de *G. brimblecombei* pueden traducirse en la reducción del crecimiento en diámetro y altura, la prolongación de la edad de cosecha y en un aumento en los costos de producción. Según estimaciones realizadas en el estado de California (Estados Unidos), la plaga puede ocasionar la muerte del 15 % de *Eucalyptus camaldulensis* atacados en un primer año y del 30 al 40 % en el segundo año de infestación (Ide M *et al.* 2006).

*G. brimblecombei* se reportó en el continente americano, en California en 1998 (Brennan *et al.* 1998; Brennan *et al.* 1999), la Florida en 2001 (Halbert *et al.* 2001), México en 2000. (García *et al.* 2002; Romo *et al.* 2007). Chile en 2002 (Sandoval & Rothmann, 2002; Olivares *et al.* 2003, 2004), Brasil 2003(Santana, 2003; Lutinskiet *et al.* 2006), Argentina en 2004 (Bouvetet *et al.* 2005),

Ecuador en 2006 (Onore&Gara, 2007) y Perú en 2008 (Burckhardt *et al.* 2008). En Colombia, de acuerdo con los registros de diagnóstico del ICA, *G. brimblecombei* fue detectado por primera vez en el año 2012 en plantaciones de *E. camaldulensis* y *E. teriticornis* ubicadas en el municipio de Jericó – Antioquia.

***Gonipterus platensis* Marelli.** *Gonipterus platensis* Marelli 1926 (Coleoptera: Curculionidae), conocido como Gorgojo del Eucalipto, considerado como uno de los principales escarabajos defoliadores a nivel mundial debido a los daños ocasionados en las diferentes regiones donde fue introducida (Wilken *et al.* 2008). Originario de Australia, se estableció en Sur América en Argentina, Uruguay, Chile y Brasil (Lanfranco; Dungey, 2001) y Uruguay (EPPO; 2005). Diferentes especie de Eucaliptos son citadas como hospedantes de *G. platensis* en diferentes regiones del mundo, En la región de origen del insecto *G. Scutellatus* ataca principalmente *Eucalyptus viminalis*, *E. globulose* *E. punctata*, siendo *E.viminala* especie preferida, en Chile y Brasil. *Gonipterus* sp.lo reportan defoliando *Eucalyptus globulus*, *E camaldulensis*, *E dunnii*, *E. robusta*, *E. rostrata*, y *E. viminalis* (Freitas, 1979; Mansilla & Perez, 1996; Lubianca, 1955).

Los adultos y las larvas son considerados defoliadores de importancia económica internacional (Cadahia, 1980; Oliveira, 2006), este ataca principalmente el tercio alto de la planta, las larvas de instar I y II se alimentan de los mesófilos de la hoja (Abril, 2016)<sup>1</sup>, dejando la epidermis expuesta, dando la apariencia del daño causado por un minador de hojas, las larvas de instar III y IV comen toda la hoja, alimentándose de brotes jóvenes desde la epidermis hasta la base de la hoja.

Las defoliaciones ocasionadas por larvas y adultos reducen la tasa de crecimiento o vigor de las plantaciones de eucalipto, al alimentarse de los brotes más jóvenes provocan malformaciones del fuste y reducen la altura de la planta en un 30 % del crecimiento bianual, las defoliaciones sucesivas durante 4 años pueden generar la muerte del 30 % de las plantas (Parra & Gonzales, 1999; Oliveira, 2006).

Esta plaga fue detectada en el año 2016 en plantaciones y árboles aislados de *Eucalyptus* spp. en los municipios de Medellín (Corregimiento de Santa Elena), San Pedro de los Milagros y Rionegro del departamento de Antioquia y está sometida a vigilancia oficial por ser considerada de importancia potencial y de alto riesgo para los cultivos forestales de carácter comercial de eucaliptos en todo el país (ICA, 2016). La identificación de esta plaga fue realizada en el Laboratorio de Diagnóstico Fitosanitario del ICA Seccional Antioquia con la colaboración del especialista en Curculionidae Dr. Rolf Oberprieler (CSIRO – Australia), determinando que se trata de la especie *Gonipterus platensis* Marelli, 1926 (Coleoptera: Curculionidae), conocido también como “*Eucalyptus* Snout Beetle, *Eucalyptus* Weevil, Gumtree Weevil” (OEPP/EPPO, 2005).

El Gorgojo del eucalipto tiene una alta capacidad de dispersión, pues es capaz de sujetarse firmemente sobre cualquier superficie rugosa incluidas personas, vehículos o camiones de carga que pasen cerca de rodales infestados, transportándose así adultos, larvas o huevos a otras áreas

<sup>1</sup>Comunicación personal 2 de diciembre de 2016 por Gonzalo Abril González. Ingeniero Agrónomo Msc. Entomología.

con plantaciones sin afectación. Así mismo, debe considerarse que en las áreas infestadas la movilización de plantas o trozas son otra fuente de dispersión (Parra y Gonzales, 1999).

## Referencias

- BRENNAN, E.; HRUSA, F.; WEINBAUN, S.; LEVISON, W. 2001. Resistance of *Eucalyptus* species to *Glycaspis brimblecombei* (Homoptera: Psyllidae) in the San Francisco bay Area. Pan-Pacific Entomologist 77(4): 249-253.
- BOUVET, J. P. R.; HARRAND, L.; BURCKHARDT, D. 2005. Primera cita de *Blastopsylla occidentalis* y *Glycaspis brimblecombei* (Hemiptera: Psyllidae) para la República Argentina. Revista Sociedad Entomológica Argentina 64 (1-2): 99-102.
- CADAHIA, D. 1980. Proximidad de dos nuevos enemigos de los Eucalyptus en España. Boletín de sanidad vegetal. Plagas 6 (2); 165-192.
- CARVER, M. 1987. Distinctive motory behavior in some adult psyllids (Homoptera: Psyllidae). Journal of the Australian Entomological Society 26: 369-372.
- CONVENCIÓN INTERNACIONAL DE PROTECCIÓN FITOSANITARIA (CIPF). 1997. Norma Internacional de Medidas Fitosanitarias – NIMF 6. Directrices para la vigilancia. Directrices para la vigilancia. Última versión en español, 8 p.
- COULSON, R. N.; WITTER, J. A. 1990. Entomología Forestal, ecología y control. México. 747 p.
- CIBRIÁN, T. D.; ÍÑIGUEZ G.; DAHLSTEN, D. L. 2001. Conchuela del Eucalipto *Glycaspis brimblecombei* Moore (Homoptera: Psylloidea; Spondyliapidae) Una nueva plaga del eucalipto introducida a México. Memorias del XXXVI Congreso Nacional de Entomología. Santiago de Querétaro, Querétaro. pp. E-95.
- DAHLTEN, D.; DREISTADT, S.; GARRISON, R.; GILL, R. 2003. *Eucalyptus* Redgum Conos Psyllid. Pest Notes. University of California. Publication 7460. Agriculture and Natural Resources. 4 p.
- EUROPEAN AND MEDITERRANEAN PLANT PROTECTION ORGANIZATION (OEPP/EPPO). 2005. Data sheets on quarantine pests. *Gonipterus gibberus* and *Gonipterus scutellatus*. Bulletin OEPP/EPPO Bulletin 35: 368-370.
- FREITAS, S. 1979. Contribuição ao estudo da morfologia e biologia de *Gonipterus gibberus* (Boisduval, 1835) (Coleoptera: Curculionidae) e levantamento dos danos causados por esta espécie em eucaliptos dos arredores de Curitiba. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1979. 95 p (Doctoral dissertation, Dissertação (Mestrado em entomologia). Universidade Federal do Paraná).
- GALLEGO, F.L.; VELÉZ, 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.
- GARCIA J.; 2003. Análisis económico del control biológico del psílido del eucalipto en la ciudad de México. Tesis de maestría en Ciencias Forestales. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Chapingo. Texcoco, Estado de México. 92 p.
- HALBERT, S.; GILL, R.; NISSON, J. 2001. Two *Eucalyptus* psyllids new to Florida (Homoptera: Psyllidae). Department of Agriculture & Consumer Services, Division of Plant Industry, Entomology Circular 407(July/Aug.): 1-2.
- IDE M.; S.; MUÑOZ, C.; BEÉCHE, M.; MONCADA, J.; JAQUES, L.; GONZÁLEZ, P.; GOYCOOLEA, C. 2006. Detección y control Biológico de *Glycaspis brimblecombei* MOORE (Hemiptera: Psyllidae).

- Subdepartamento Vigilancia y Control de Plagas Forestales y Exóticas Invasoras. Servicio Agrícola y Ganadero. División de Protección Agrícola. Chile. Pag: 17.
- INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO (ICA). 2015. Informe de episodio inusual *Isa* sp. afectando plantaciones de *Acacia mangium* Puerto Carreño – Vichada. Documento interno de trabajo.
- INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO (ICA). 2015. Informe de episodio inusual *Schizurasp.* afectando plantaciones de *Acacia mangium* Puerto Carreño – Vichada. Documento interno de trabajo.
- INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO (ICA). 2016. Informe de estadísticas de registro de cultivos forestales de carácter comercial y de remisiones de movilización de madera expedidos por el ICA. Documento Interno de Trabajo.
- INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO (ICA). 2017. Informe de resultados de vigilancia oficial específica de los forestales cultivables en el país. Documento interno de trabajo.
- INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO (ICA). 2017. Informe de episodio inusual *Nystaleasp.* afectando plantaciones de *Eucalyptus pellitaen* Puerto Carreño – Vichada. Documento interno de trabajo.
- LUBIANCA, J.L. 1955. O *Gonipterus gibberus* Boisduval, como praga do eucalipto no Rio Grande do Sul. A Granja 11: 54-57.
- MAGISTRALI, I.; CORREA, E.; GARLET, J.; BOSCARDIN, J.; MORTARI, L.; BORGES, N. 2013. Registro de *Nystaleanyseus* (CRAMER, 1775) in *Eucalyptus saligna* Smith in Rio Grande do Sul State, Brazil. Ciencia Rural, Santa Maria 43 (5): 761-763.
- MANSILLA-VÁZQUEZ, J. P.; Pérez-Otero, R. 1996. El defoliador del eucalipto *Gonipterus scutellatus*. Phytoma España v. 81, p. 36-42.
- MILLER, J. C; HAMMOND, P.C. 2003. Lepidoptera of the Pacific Northwest: Caterpillars and adults. Forest Health Tecnology Enterprise Team, USDA, Forest Service, FHTET. 324p.
- MOORE, K. M. Observations on some Australian forest insects. 24. Results from a study of the genus *Glycaspis* (Homoptera: Psyllidae). Australian Zoologist 1970 Vol. 15 No. 3 pp. 343-76.
- OLIVARES, T. S.; DANIEL, H; BURCKHARDT, Y.; LUISA. A.; CERDA, A. 2004. *Glycaspis brimblecombei* Moore “Psilido de los Eucaliptos rojos” (Hemiptera: Psyllidae: Spondylia spidinae): Caracteres taxonómicos. Revista Chilena de Entomología 30 (1): 5-10.
- OLIVEIRA, N. C. D. 2006. Biología de *Gonipterus scutellatus* (Coleoptera: Curculionidae) em *Eucalyptus* spp. em diferentes temperaturas.
- ONORE, G.; GARA, R. L. 2007. First record of *Glycaspis brimblecombei* (Hemiptera: Psyllidae) in Ecuador, biological notes and associated fauna. Extended Abstracts of the 4th European Hemiptera Congress Ivrea Turin, Italia, p. 41-42.
- Organización Para las Naciones Unidas la Agricultura y la Alimentación FAO Plagas y Enfermedades de los Eucaliptos y Pinos en el Uruguay. Apoyo a la defensa y protección de las plantaciones forestales en Uruguay. 2006. Pag: 173
- ROMO, J. L.; GARCIA. J.; CIBRIAN. D.; SERRANO. E. 2007. Análisis económico del control biológico del Psilido del Eucalipto en la ciudad de México. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 13 (1): 47-52.
- PARRA, P.; GONZALES, M. 1999. Gorgojo del eucalipto. Informativo Sanitario Vegetal: Subgerencia de Tecnología Silvícolas, Chile, 2: 1-12.

- 
- PÉREZ DE LA CRUZ, M.; VALDÉZ, J. M.; ROMERO N. J.; EQUIHUA, M. A.; SÁNCHEZ, S.; DE LA CRUZ P, A. 2011. Fluctuación poblacional, plantas huéspedes, distribución y clave para la identificación de Platypodinae (Coleoptera: Curculionidae) asociados al agroecosistema cacao en Tabasco, México. Acta zoológica Mexicana 27: 1.
- PLOETZ, R. C; HULCR, J.; WINGFIELD, M. J.; DE BEER, Z. W. 2013. Destructive tree diseases associated with ambrosia and bark beetles: Black swan events in tree pathology? Plant Disease 95:7.
- POSADA, L. 1989. Lista de insectos dañinos y otras plagas en Colombia. Instituto Colombiano Agropecuario, Boletín Técnico No. 4). 662 p.
- SANDOVAL, A.; ROTHMANN, S. 2002. Detección del psílido de los eucaliptosrojos, *Glycaspis brimblecombei* Moore 1964, en Chile (Homoptera: Psyllidae). Libro de Resúmenes XXIV Congreso Nacional de Entomología.
- SANTANA, Q.; MENEZES, A.; DA SILVA, H. D. A. F. J.; BELLOTE, A. F. J.; MARCASSI, R. 2004. Parasitóides do psilídeo-de-concha, *Psyllaephagus bliteus* (Hymenoptera: Euclyptidae) encontrado no Brasil. <http://ww2.cnpf.embrapa.br/contador/parasit.pdf> (fecha de consulta: 14 de abril de 2004).
- TOOKE, F. 1955. The eucalyptus snout beetle *Gonipterus scutellatus*. A study of its ecology and control by biological means. Entomology Memoir, Department of Agriculture South Africa 3: 1-282.
- WILCKEN, C. F.; POGETTO, M.H.F.A.D.; COUTO, E.B.; FERREIRA FILHO, P. J. 2005. Eficiência de *Beauveria bassiana* (Boveril) no controle do gorgulho do eucalipto *Gonipterus scutellatus* (Coleoptera: Curculionidae) em condições de laboratório. Anais do Simpósio de Controle Biológico, Recife, p. 109.

## **Simposio 3.**

# **Aplicación de nuevas tecnologías para entender la evolución de resistencia a diferentes estrategias de manejo de plagas**

---

### **Coordinación: Carolina Camargo y Efraín Becerra**

Investigador Postdoctoral Asociado Universidad de la Florida Departamento de Entomología; Dow Agrosciences

### **Participantes:**

Jairo Rodríguez Ch.

Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia

Lucio Navarro-Escalante

Purdue University, West Lafayette, Indiana, USA

Efraín Becerra Contreras

CPR&D Dow AgroSciences de Colombia S.A

Blair D. Siegfried

University of Florida, USA



---

## Aplicación de nuevas tecnologías para entender la evolución de resistencia a diferentes estrategias de manejo de plagas

Coordinadores: Carolina Camargo<sup>1</sup> y Efraín Becerra<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Investigador Postdoctoral Asociado Universidad de la Florida Departamento de Entomología; <sup>2</sup>Dow Agrosciences

---

**Resumen.** Los avances en genómica y en biología molecular han acelerado el desarrollo de productos para el manejo de problemas fitosanitarios. El fitomejoramiento y los cultivos transgénicos son algunas de las herramientas biotecnológicas más comunes en los programas de manejo integrado de plagas (MIP). La rápida y generalizada adopción de estas herramientas biotecnológicas para el manejo de insectos - plaga ha sido influenciada por los beneficios que estas tecnologías brindan a los agricultores, tales como la protección del cultivo durante todo su ciclo y la reducción de aplicación de plaguicidas. Sin embargo, el uso de estas por sí solas puede generar riesgos de evolución de resistencia en poblaciones de plagas en áreas con una alta tasa de adopción y uso extendido de la tecnología, alta presión de plagas, y con la no implementación de prácticas de manejo integrado de plagas y de manejo de resistencia. El objetivo de este simposio no es sólo presentar tecnologías emergentes, sino también discutir la importancia de entender la evolución de la resistencia al desarrollar nuevas estrategias para el manejo de plagas. Los ponentes de este simposio ofrecerán una visión general de los métodos biológicos, bioquímicos y moleculares que se utilizan actualmente para detectar y cuantificar la resistencia a compuestos químicos incorporados en plantas. También se discutirá la aplicación de nuevas tecnologías moleculares y genómicas para entender los mecanismos que usan los insectos para hacer frente a las defensas de las plantas y a las toxinas en cultivos transgénicos. El desarrollo de resistencia en artrópodos plaga a las nuevas tecnologías es un problema económico y ecológico importante que compromete la durabilidad de las herramientas emergentes. El objetivo final de este simposio es fomentar los intercambios científicos y técnicos entre la comunidad de entomólogos interesados en la aplicación de nuevas tecnologías para el manejo de plagas y comprender la evolución de la resistencia a las herramientas biotecnológicas que son y/o pueden ser utilizadas en Colombia.

**Abstract.** Recent advances in genomics and molecular biology have facilitated product development for pest control. Plant breeding and transgenic crops have been some of the most commonly used biotechnological tools for integrated pest management (IPM) programs. Benefits of these technologies for growers such as the simplified season-long crop protection and the reduction of pesticide applications have influenced the rapid and widespread adoption of these biotechnological tools for pest management. However, the widespread use of these technologies alone can impose increased selective pressures and increase risks of resistance evolution in areas with extended use, high adoption rates, high pest pressure; lack of integrated pest and resistance management practices. The objective of this symposium is not only to present emerging technologies for pest control, but to discuss the importance of understanding resistance evolution when developing new strategies for pest management. The speakers from this symposium will provide an overview of the biological, biochemical; molecular methods that are currently used to detect and quantify resistance to plant-incorporated protectants. Moreover, the application of

new molecular and genomic technologies to understand the mechanisms that insects use to cope with plant defenses and toxins in transgenic crops will be discussed. Resistance to new technologies in arthropod pests is a significant economic and ecological problem that compromises the durability of emerging tools for pest control. The ultimate goal of this symposium is to foster scientific and technical exchanges between the community of entomologist interested in the application of new technologies for pest management and to understand evolution of resistance to biotechnological tools that are/or could be used in Colombia.

## Introducción

La evolución de resistencia a insecticidas es un tema que se persive de muchas maneras. Para un agricultor es la pérdida de eficacia de un producto para controlar una plaga. Para un toxicólogo es el cambio en la suceptibilidad de una población basada en una dosis letal. Un ecólogo se preocupa por los impactos de la aplicación de insecticidas en la biodiversidad y la incorporación de insecticidas en las cadenas tróficas. Para un genetista la evolución de resistencia es un intento a entender la herencia de un fenotipo resistente (McKenzie 1996). Si bien todas estas visiones son diferentes, para todos estos grupos es importante entender a que velocidad se desarrolla la resistencia a una estrategia de manejo de plagas. Los insectos presentan un caso excepcional de estudio ya que su tiempo evolutivo no consiste en millones de años, sino en escalas de tiempo cortas, en algunos casos hasta de 10 años (Onstad 2014).

En artrópodos la resistencia ha sido documentada a diferentes estrategias de manejo incluyendo resistencia a insecticidas, prácticas culturales como la rotación de cultivos, defensas químicas en las plantas, enemigos naturales y otros biocontroladores (Onstad, 2014). Existen más de 500 especies de artrópodos que han evolucionado resistencia a toxinas aplicadas para su manejo, incluyendo 23 especies de insectos benéficos (Georghiou, 1972, Georghiou and Lagunes-Tejada, 1991). Entender como evoluciona la resistencia, cuando evoluciona y los mecanismos que los insectos usan para tolerar las estrategias de manejo es indispensable para maneter la eficacia y el éxito de las estrategias de manejo desarrolladas por todas las personas vinculadas de una forma u otra a la entomología. Esperamos que este simposio sea un espacio que promueva la discusión científica en el tema de resistencia a estrategias de manejo de plagas en Colombia y la concientización en la importancia de predecir, prevenir y retrasar los procesos de evolución de resistencia en las plagas de neustro país.

## Referencias

- GEORGHIOU, 1972. The evolution of resistance to pesticides. Annual Review of Ecol. Syst. 3:133-168
- GEORGHIOU, G, P.; LAGUNES-TEJADA, A. 1991. The ocurrence of Resistance to pesticides in Artropods. FAO. UN. Rome, p.138.
- McKENZIE, J.A. 1996. Ecological and Evolutionary aspects of insecticide resistance. RG.LANDES Co. USA. 885 p.
- ONSTAD, D.W. 2014 Insect Resistance Management. Elsevier. USA. 538 p.

---

## Monitoreo de la Susceptibilidad a tecnologías Bt y Vip en algodónero y Maíz en Colombia

Jairo Rodríguez Ch.

Asociado de Investigación, Área de Investigación en Agrobiodiversidad. Centro Internacional de Agricultura Tropical, A.A. 6713, km. 17 recta Cali-Palmira, Valle del Cauca, Colombia. [j.chalarca@cgiar.org](mailto:j.chalarca@cgiar.org)

---

La incorporación de la biotecnología moderna en la agricultura, ha dado como resultado la generación de cultivos modificados genéticamente con resistencia a insectos (CMG). Los cultivos que expresan proteínas Bt con efecto insecticida derivados del *Bacillus thuringiensis*, alcanzaron durante el 2016 un área global de 185.1 millones de hectáreas sembradas en 26 países. Los cultivos Bt, se han constituido en una herramienta más dentro del programa de manejo integrado de plagas (MIP) para el control de algunos insectos plaga. La adopción del algodónero Bt no solo ha facilitado el manejo de ciertas plagas de lepidópteros, si no que ha permitido una reducción en el uso de insecticidas de síntesis con su concebido efecto en el medio ambiente. Adicionalmente, la adopción del maíz (*Zea mays* L.), han contribuido sustancialmente a la reducción del impacto del barrenador del tallo (*Ostrinia nubilalis*). Para el caso de la soya, los reportes mencionan el control ejercido por la delta-endotoxina ( $\delta$ -endotoxin) producida por algunas cepas de *B. thuringiensis* sobre larvas de *Anticarsia gemmatalis*. Solo para el 2012, se evidencia una reducción de 497 millones de kilos de ingrediente activo de pesticidas, una reducción en las emisiones de CO<sub>2</sub> en 26.7 mil millones de kilos; en términos de conservación para el período 1996 a 2012 al dejar de usar 123 millones de hectáreas de suelo.

Para el caso de Colombia, la introducción, liberación y comercialización de estos cultivos están enmarcados dentro del Protocolo de Cartagena sobre Bioseguridad como un instrumento internacional que regula los organismos vivos modificados (OVM), producto de la biotecnología moderna. Colombia empezó a cultivar semillas genéticamente modificadas (CGM) desde el año 2002, cada vez el número de hectáreas de CGM ha aumentado de manera significativa. Para el 2016, Colombia ocupó el puesto 18 en el ranking mundial de los países que han adoptado esta tecnología con 110,923 hectáreas plantadas con maíz y algodónero. Para el caso del maíz, el departamento del Meta fue el de mayor área sembrada en 2016 con 24,169 ha, seguido por los departamentos de Córdoba y Tolima con 22,876 y 18,327 ha, respectivamente.

Dentro de las incertidumbres que se pueden presentar por la rápida adopción de los CGM se destaca, los posibles cambios en la susceptibilidad de las plagas blanco a las proteínas Bt, aspecto que ponen en alerta la continuidad y eficacia de estos cultivos como táctica de manejo, para lo cual los programas de IRM han implementado estrategias para retrasar la evolución de resistencias a las proteínas Bt. En este sentido el Comité Técnico Nacional de Bioseguridad (CTN) en cabeza del ICA, tienen establecida como prioridad un programa de monitoreo de la susceptibilidad a las proteínas Cry y Vip. Con el propósito de poder identificar en su momento cambios en la susceptibilidad de las poblaciones de campo de las plagas objetivo de las tecnologías Bt (Tabla 1). Este programa comprende entre otros aspectos: (1) determinar la dosis letal media (DL50), para las poblaciones de campo objetivo de las tecnologías, (2) establecer una dosis de

referencia para cada una de las especies objetivo en cada una de las zonas donde las tecnologías sean liberadas, y (3) establecer monitoreos periódicos en poblaciones de campo.

**Tabla 1.** Proteínas aprobadas y liberadas comercialmente en Colombia y sus plagas objetivo

Cultivo	Eventos	Plagas Blanco
Algodonero	Cry1Ac	<i>H. virescens</i> <sup>1</sup> , <i>P. gossypiella</i> <sup>2</sup> , <i>A. argillacea</i> <sup>3</sup> y <i>S. frugiperda</i> <sup>4</sup>
	Cry1Ac + Cry2Ab	<i>H. virescens</i> , <i>P. gossypiella</i> , <i>A. argillacea</i> y <i>S. frugiperda</i>
	Cry1Ab + Cry2Ae	<i>H. virescens</i> , <i>P. gossypiella</i> , <i>A. argillacea</i> y <i>S. frugiperda</i>
Maíz	Cry1Ab	<i>D. saccharalis</i> <sup>5</sup> , <i>S. frugiperda</i> y <i>H. zea</i> <sup>6</sup>
	Cry1F	<i>D. saccharalis</i> , <i>S. frugiperda</i> , <i>H. zea</i>
	Vip3Aa20 + Cry1Ab	<i>D. saccharalis</i> , <i>S. frugiperda</i> y <i>H. zea</i>
	Cry1A.105 + Cry2Ab2	<i>D. saccharalis</i> , <i>S. frugiperda</i> y <i>H. zea</i>
	Cry1A.105 + Cry2Ab2 + Cry3Bb1	<i>D. saccharalis</i> , <i>S. frugiperda</i> , <i>H. zea</i> y <i>Diabrotica</i>
	Cry1A.105 + Cry2Ab2 + Cry1F	<i>D. saccharalis</i> , <i>S. frugiperda</i> , <i>H. zea</i>
	Cry1Fa2 + Cry1Ab + Vip3Aa20	<i>D. saccharalis</i> , <i>S. frugiperda</i> , <i>H. zea</i>

En este sentido el ICA y el CIAT, vienen desarrollando investigación encaminada a establecer la susceptibilidad de las plagas objetivo de las diferentes proteínas Bt aprobadas y liberadas comercialmente en las diferentes zonas agro-ecológicas de Colombia. Para esto, se desarrollan actividades en dos líneas: (i) establecimiento y monitoreo de línea base de susceptibilidad, (ii) evaluación de los efectos subletales por el consumo de material vegetal que expresa proteínas Cry o Vip. Para entender un poco de lo que se trata, se presenta un resumen de los protocolos y algunos resultados obtenidos a la fecha por parte del CIAT.

Establecimiento y monitoreo de línea base de susceptibilidad: Esta actividad es apoyada con las colectas en campo en cuatro subregiones agrícolas de Colombia, donde se encuentran liberadas las tecnologías Bt en maíz y algodón. A la fecha el ICA, dispone del estado de la susceptibilidad de poblaciones de *S. frugiperda* en cada una de las subregiones agrícolas de Colombia, para cada una de las proteínas Bt aprobadas y liberadas comercialmente en Colombia (Tabla 2).

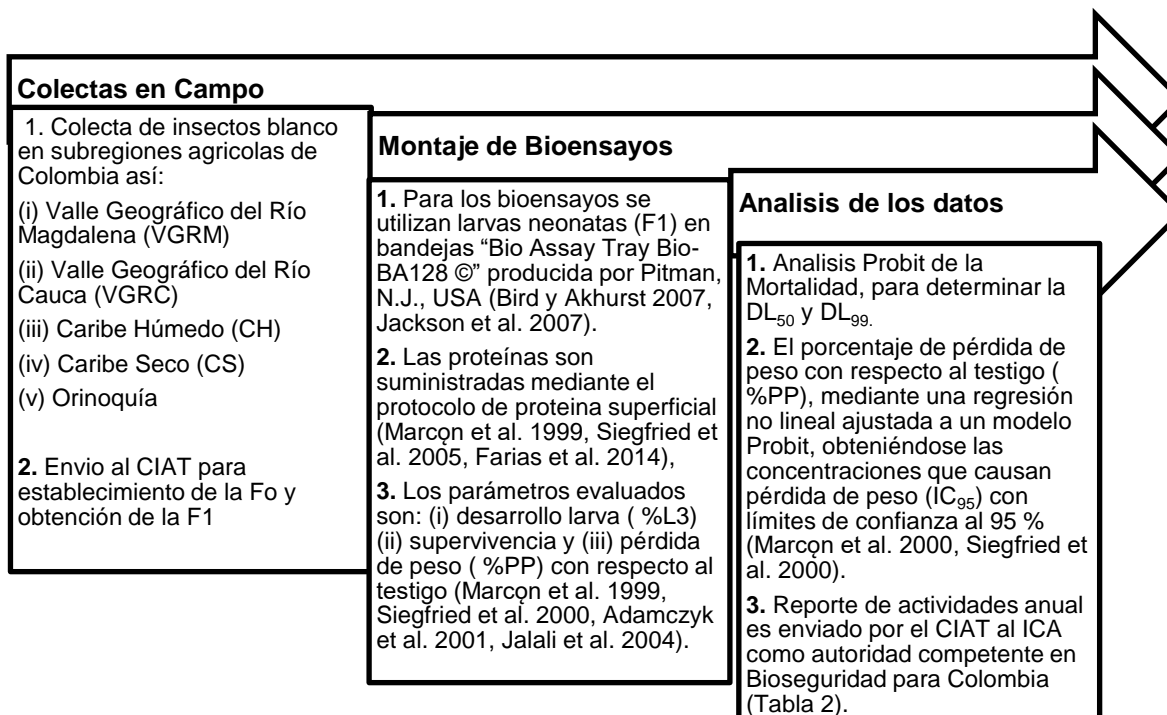


Figura 1. Esquema de para programa de monitoreo susceptibilidad plagas blanco de las tecnologías Bt en Colombia.

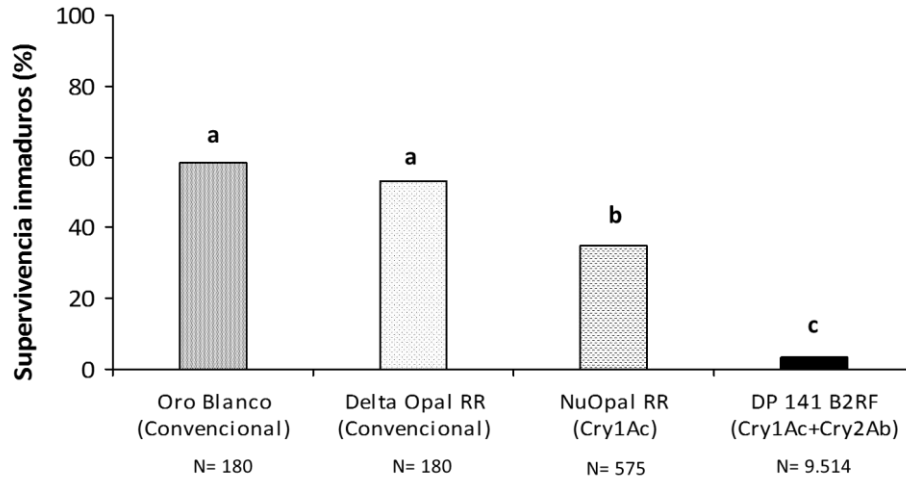
**Tabla 2.** Mapa del monitoreo de la susceptibilidad de poblaciones de *S. frugiperda* a las proteínas Bt liberadas en Colombia en función de la mortalidad en el CH.

Temporada	Cry1A.105	Cry1Ab	Cry1Ab-FL	Cry1Ac	Cry1F	Cry2Ab2	Vip3Aa20
2009	x	x	-	-	x	-	-
2010	x	x	-	-	x	x	-
2011	x	x	x	x	x	x	x
2012	x	x	x	x	x	x	x
2013	x	x	x	x	x	x	x
2014	x	x	x	x	x	x	x
2015*	x	-	x	x	x	x	x
2016*	x	-	x	x	x	x	x

\*Se implementa proteína superficial (ng/cm<sup>2</sup>)

Evaluación de los efectos subletales: Para determinar el efecto por el consumo de material vegetal, se llevaron a cabo estudios con variedades de algodónero que expresan proteínas Cry NuOpal RR (Bollgard® que expresa Cry1Ac), DP141 B2RF (Bollgard II® que expresa Cry1Ac y Cry2Ab) y variedades que no expresan proteínas Cry Delta Opal RR® (No Bt) y Oro Blanco (variedad no Bt de Corpoica-Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria). Las hojas que se

usaron como alimento para las larvas, fueron cosechadas del tercio superior (40 ddg). Se dispuso de una población F1 de larvas colectadas en cultivos no Bt. Las larvas en una primera fase de confinaron inicialmente en bandejas plásticas con tapa, hasta que alcanzaban el instar 2, posteriormente eran individualizadas en copas desechables de dos onzas con tapa, el número de larvas cambió según la variedad, teniendo en cuenta la supervivencia. Con los adultos provenientes de cada variedad se establecieron las tablas de vida bajo condiciones de laboratorio, en una incubadora ( $27 \pm 1^\circ\text{C}$ ,  $65 \pm 10\%$  HR y 12 h fotoperiodo). Los adultos fueron alimentados con una solución de miel de abeja y agua en proporción 1:3. Se pudo determinar que la supervivencia de larvas de *S. frugiperda* alimentadas con Oro Blanco fue 58 % y 52 % con Delta Opal RR (No Bt), supervivencias diferentes a lo obtenido con NuOpal RR (35 %) y 3 % con DP 141 B2RF (Fig. 1). Solo la supervivencia en DP 141 B2RF fue significativamente diferente a las variedades no Bt. Se determinó que la antibiosis de DP 141 B2RF fue alta en larvas de primer y segundo instar.



**Figura 2.** Supervivencia de inmaduros de *S. frugiperda* alimentados sobre algodón GM (NuOpal RR Bollgard® y DP 141 B2RF Bollgard II®) y No Bt (Delta Opal RR) y Oro Blanco ( $P < 0.05$ , DMS). (Cría para construcción de Tablas de vida).

En la Tabla 3 se observa el efecto sobre el parámetro  $R_o$  en las larvas de *S. frugiperda* que consumieron DP 141 B2RF, con una reducción del 99 y 98 % comparado con las que consumieron Oro Blanco y Delta Opal RR, respectivamente. La tasa intrínseca de crecimiento ( $r_m$ ) de *S. frugiperda* en DP 141 B2RF fue 4.5 veces menor que para Oro Blanco (Tabla 3).

**Tabla 3.** Parámetros demográficos en hembras de *S. frugiperda* tablas de vida completas.

Larvas alimentadas en:	$R_o$	$r_m$	T	$\lambda$	Dt
Oro Blanco (Convencional)	335.7 a	0.172 a	33.9 b	1.187 a	4.0 b
Delta Opal RR (No Bt)	261.8 a	0.164 a	34.0 b	1.178 a	4.2 b

NuOpal RR (Cry1Ac)	121.1 b	0.158 a	30.5 c	1.171 a	4.4 b
DP 141 B2RF Cry1Ac+Cry2Ab)	<b>4.1 c</b>	<b>0.038 b</b>	<b>37.1 a</b>	<b>1.039 b</b>	<b>17.7 a</b>

$R_o$  = Tasa reproductiva neta,  $r_m$  = Tasa intrínseca de crecimiento de la población, T = Tiempo medio generacional, Dt = Tiempo de doblaje,  $\lambda$  = Tasa finita de crecimiento.

El impacto generado en la tasa reproductiva neta ( $R_o$ ), sobre las larvas de *S. frugiperda* que consumieron algodónero DP 141 B2RF, se reflejaron en un tiempo de doblaje (Dt) de la población más prolongado. Teniendo como efecto, un menor número de generaciones por ciclo del cultivo en comparación con los materiales No-Bt.

## Referencias

- AGROBIO 2017. Estadísticas de cultivos GM. Disponible: <http://www.agrobio.org/transgenicos-en-el-mundo-colombia-region-andina/>
- ARMSTRONG, C.; PARKER, G.; PERSHING, J.; BROWN, S.; SANDERS, P.; DUNCAN, D.; STONE, T.; DEAN, D.; DEBOER, D. HART, J. 1995. Field evaluation of European corn borer control in progeny of 173 transgenic corn events expressing an insecticidal protein from *Bacillus thuringiensis*. *Crop Science*, 35 (2): 550.
- BETZ, F.; HAMMOND, B.; FUCHS, R. 2000. Safety and advantages of *Bacillus thuringiensis*-protected plants to control insect pests. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 32 (2): 156-173.
- BLANCO, C.; CHIARAVALLE, W.; DALLA-RIZZA, M.; FARIAS, J.; GARCÍA-DEGANO, M.; GASTAMINZA, G.; MOTA-SÁNCHEZ, D.; MURÚA, M.; OMOTO, C.; PIERALISI, B. 2016. Current situation of pests targeted by Bt crops in Latin America. *Current Opinion in Insect Science*, 15: 131-138.
- CARRIERE, Y.; CROWDER, D. W.; TABASHNIK, B. E. 2010. Evolutionary ecology of insect adaptation to Bt crops. *Evolutionary Applications*, 3 (5-6): 561-573.
- CARRIÈRE, Y.; ELLERS-KIRK, C.; SISTERTON, M.; ANTILLA, L.; WHITLOW, M.; DENNEHY, T. J.; TABASHNIK, B. E. 2003. Long-term regional suppression of pink bollworm by *Bacillus thuringiensis* cotton. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 100 (4): 1519-23.
- GOULD, F. 1998. Sustainability of transgenic insecticidal cultivars: integrating pest genetics and ecology. *Annual Review of Entomology*, 43 (1): 701-726.
- HEAD, G. P.; GREENPLATE, J. 2012. The design and implementation of insect resistance management programs for Bt crops. *GM crops & food*, 3 (3): 144-153.
- HOMRICH, M.; PASSAGLIA, L.; PEREIRA, J.; BERTAGNOLLI, P.; PASQUALI, G.; ZAIDI, M.; ALTOSAAR, I.; BODANESE-ZANETTINI, M. 2008. Resistance to *Anticarsia gemmatalis* Hübner (Lepidoptera, Noctuidae) in transgenic soybean (*Glycine max* (L.) Merrill Fabales, Fabaceae) cultivar IAS5 expressing a modified Cry1Ac endotoxin. *Genetics and Molecular Biology*, 31: 522-531.
- HUANG, F.; ANDOW, D. A.; BUSCHMAN, L. L. 2011. Success of the high-dose/refuge resistance management strategy after 15 years of Bt crop use in North America. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 140 (1): 1-16.
- ISAAA 2016. Global status of commercialized Biotech/GM crops: 2016. ISAAA briefs, 52: ISAAA. Ithaca, NY.



- JAMES, C. 2015. Global Status of commercialized Biotech/GM Crops: 2015, ISAAA Brief No. 51. ISAAA, Ithaca, N.Y.
- MABUBU, J. I.; NAWAZ, M.; HUA, H. 2016. Advances of transgenic Bt-crops in insect pest management: An overview. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 4 (3): 48-52.
- MACRAE, T.; BAUR, M.; BOETHEL, D.; FITZPATRICK, B.; GAO, A.; GAMUNDI, J.; HARRISON, L.; KABUYE, V.; MCPHERSON, R.; MIKLOS, J. 2005. Laboratory and field evaluations of transgenic soybean exhibiting high-dose expression of a synthetic *Bacillus thuringiensis* cry1A gene for control of Lepidoptera. *Journal of Economic Entomology*, 98 (2): 577-587.
- MIKLOS, J. A.; ALIBHAI, M. F.; BLEDIG, S. A.; CONNOR-WARD, D. C.; GAO, A. G.; HOLMES, B. A.; KOLACZ, K. H.; KABUYE, V. T.; MACRAE, T. C.; PARADISE, M. S.; TOEDEBUSCH, A. S.; HARRISON, L. A. 2007. Characterization of soybean exhibiting high expression of a synthetic *Bacillus thuringiensis* cry1A transgene that confers a high degree of resistance to lepidopteran pests. *Crop Science*, 47 (1): 148-157.
- OMOTO, C.; BERNARDI, O.; SALMERON, E.; SORGATTO, R. J.; DOURADO, P. M.; CRIVELLARI, A.; CARVALHO, R. A.; WILLSE, A.; MARTINELLI, S.; HEAD, G. P. 2016. Field-evolved resistance to Cry1Ab maize by *Spodoptera frugiperda* in Brazil. *Pest management science*.
- PARROTT, W.; ALL, J.; ADANG, M.; BAILEY, M.; BOERMA, H.; STEWART, C. 1994. Recovery and evaluation of soybean plants transgenic for a *Bacillus thuringiensis* var. *Kurstaki* insecticidal gene. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 30 (3): 144-149.
- PERLAK, F.; OPPENHUIZEN, M.; GUSTAFSON, K.; VOTH, R.; SIVASUPRAMANIAM, S.; HEERING, D.; CAREY, B.; IHRIG, R.; ROBERTS, J. 2001. Development and commercial use of Bollgard® cotton in the USA-early promises versus today's reality. *The Plant Journal*, 27 (6): 489-501.
- PILCHER, C.; RICE, M. 2003. Economic analysis of planting dates to manage European corn borer (Lepidoptera: Crambidae) with Bt corn. *Journal of Economic Entomology*, 96 (3): 941-949.
- ROUSH, R. T. 1994. Managing pests and their resistance to *Bacillus thuringiensis*: can transgenic crops be better than sprays? *Biocontrol Science and Technology*, 4 (4): 501-516.
- SHELTON, A. M.; ZHAO, J.-Z.; ROUSH, R. T. 2002. Economic, ecological, food safety; social consequences of the deployment of Bt transgenic plants. *Annual review of entomology*, 47 (1): 845-881.
- STEWART JR, C.; ADANG, M.; ALL, J.; BOERMA, H.; CARDINEAU, G.; TUCKER, D.; PARROTT, W. 1996. Genetic transformation, recovery; characterization of fertile soybean transgenic for a synthetic *Bacillus thuringiensis* cryIac gene. *Plant Physiology*, 112 (1): 121.
- TABASHNIK, B. E. 1994. Evolution of resistance to *Bacillus thuringiensis*. *Annual Review of Entomology*, 39 (1): 47-79.
- TABASHNIK, B. E.; BRÉVAULT, T.; CARRIÈRE, Y. 2013. Insect resistance to Bt crops: lessons from the first billion acres. *Nature biotechnology*, 31 (6): 510-521.
- TABASHNIK, B. E.; CARRIÈRE, Y. 2009. *Insect resistance to genetically modified crops*. CABI. Wallingford.
- VALENCIA-CATAÑO, S. J.; RODRÍGUEZ-CHALARCA, J.; BLANCO, C. A. 2016. Effect of Genetically-Modified Cotton Cultivars on Demographic Parameters of *Spodoptera frugiperda* 1 in Colombia. *Southwestern Entomologist*, 41 (4): 963-970.
- VALENCIA CATAÑO, S. J.; RODRIGUEZ CHALARCA, J.; BLANCO, C. A. 2016. Effect of genetically-modified cotton cultivars on demographic parameters of *spodoptera frugiperda* in Colombia= Efecto de cultivares de algodónero genéticamente modificado sobre

- parámetros demográficos de *Spodoptera frugiperda* en Colombia. *SOUTHWESTERN ENTOMOLOGIST*, 41 (4): 963-970.
- WALKER, D. R.; ALL, J. N.; MCPHERSON, R. M.; BOERMA, H. R.; PARROTT, W. A. 2000. Field evaluation of soybean engineered with a synthetic cry1Ac transgene for resistance to corn earworm, soybean looper, velvetbean caterpillar (Lepidoptera : Noctuidae); lesser cornstalk borer (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Economic Entomology*, 93 (3): 613-622.
- WILLIAMS, W.; BUCKLEY, P.; SAGERS, J.; HANTEN, J. 1998. Evaluation of transgenic corn for resistance to corn earworm (Lepidoptera: Noctuidae), fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae); southwestern corn borer (Lepidoptera: Crambidae) in a laboratory bioassay. *Journal of agricultural entomology (USA)*.

---

## Mecanismos moleculares de la mosca de Hess *Mayetiola destructor* (Diptera: Cecydomyiidae) involucrados en la evasión de resistencia en trigo

Lucio Navarro-Escalante<sup>1,2</sup>

Department of Entomology, Purdue University, West Lafayette, Indiana – USA. <sup>2</sup>Investigador Científico, Centro Nacional de Investigaciones de Café - CENICAFE, Manizales – Colombia.  
*lucio.Navarro@cafedecolombia.com.co*

---

Durante más de 350 millones de años de historia evolutiva, plantas e insectos fitófagos han desarrollado diferentes estrategias de defensa y ataque (Gatehouse 2002). Las plantas han desarrollado un arsenal de defensas, incluyendo barreras físicas, metabolitos secundarios tóxicos y respuestas moleculares de defensa inducidas. En paralelo, los insectos han encontrado diversos mecanismos para obtener los nutrientes de las plantas y al mismo tiempo han desarrollado adaptaciones fisiológicas para sobreponerse a las respuestas de defensa de éstas (Howe and Jander, 2008).

En el caso del trigo *Triticum* spp, las respuestas de defensa específicas inducidas por insectos fitófagos han sido usadas para el desarrollo de variedades con resistencia a la mosca de Hess, *Mayetiola destructor*. La larva de este insecto puede ocasionar graves daños en las variedades susceptibles debido a la supresión del crecimiento de las plantas y reducción en la producción. El mecanismo de resistencia en trigo involucra la detección de componentes proteicos presentes en la saliva de *M. destructor* y subsecuente inducción de diversas respuestas defensivas (Harris *et al.* 2003; J. J. Stuart *et al.* 2012). La larva de *M. destructor* secreta un gran número de proteínas (también llamadas “efectores”) en su saliva presumiblemente para el control fisiológico y modulación de defensas basales en plantas susceptibles (Chen *et al.* 2008, 2010). Algunas de estas proteínas efectoras al parecer son reconocidas por proteínas de resistencia (R) de la planta durante el ataque a variedades de trigo resistentes para la inducción de un segundo nivel de defensas (J. Stuart 2015). La aparición en campo de líneas de *M. destructor* capaces de evadir las defensas de plantas resistentes están despertando un interés en el rediseño de los métodos de control y están permitiendo entender mejor las bases moleculares de estos procesos.

La utilización de métodos de mapeo genético clásico han permitido identificar mutaciones en genes de *M. destructor* que codifican para proteínas efectoras que parecen ser responsables de la capacidad del insecto para sobrevivir en las variedades de trigo resistentes (Aggarwal *et al.* 2014; Zhao, Shukle, *et al.* 2015; Zhao, Navarro, *et al.* 2015). Estas mutaciones suprimen la expresión de genes o alteran las secuencias de tales proteínas efectoras, impidiendo que ellas puedan ser detectadas a nivel molecular por la planta. En varios de estos genes, la inserción de fragmentos de ADN en las regiones codificantes o promotoras han interferido con la expresión génica. Actualmente la aplicación de técnicas de secuenciación masiva de ADN para mapeo y análisis genético están facilitando el descubrimiento de nuevos genes del insecto responsables de la evasión de respuestas de resistencia del trigo.

Recientemente la secuenciación del genoma de *M. destructor* reveló una expansión masiva de familias de genes (~900 genes) que potencialmente codifican para proteínas efectoras (Zhao, Navarro, *et al.* 2015). Una de estas familias (familia SSGP71) constituye la familia génica más grande hasta ahora hallada en genomas de artrópodos. Análisis estructurales in silico de estas proteínas junto con ensayos de interacción de proteínas sugieren que ellas pueden interferir con procesos de desactivación de otras proteínas en plantas susceptibles de trigo al imitar estructuralmente ubiquitina-ligasas E3 de la planta. De manera interesante, dos genes miembros de esta familia (vH6 y vH9) fueron identificados como responsables de la capacidad de sobrevivencia de larvas sobre variedades de trigo portadores de los genes de resistencia H6 y H9, respectivamente (Zhao, Navarro, *et al.* 2015). En conclusión, insectos fitófagos con mecanismos de interacción con la planta hospedante similares a los utilizados por *M. destructor* tienen la capacidad de desarrollar estrategias moleculares para evadir el reconocimiento del ataque y superar la resistencia de sus plantas hospedantes.

## Referencias

- AGGARWAL, RAJAT, SUBHASHREE SUBRAMANYAM, CHAOYANG ZHAO, MING-SHUN CHEN, MARION O HARRIS; JEFF J STUART. 2014. "Avirulence Effector Discovery in a Plant Gallling and Plant Parasitic Arthropod, the Hessian Fly (*Mayetiola Destructor*)."  
*PloS One* 9 (6): e100958. doi:10.1371/journal.pone.0100958.
- CHEN, MING-SHUN, XUMING LIU, ZIHENG YANG, HUIXIAN ZHAO, RICHARD H SHUKLE, JEFFREY J STUART; SCOT HULBERT. 2010. "Unusual Conservation among Genes Encoding Small Secreted Salivary Gland Proteins from a Gall Midge."  
*BMC Evolutionary Biology* 10 (1): 296. doi:10.1186/1471-2148-10-296.
- CHEN, MING-SHUN, HUI-XIAN ZHAO, YU CHENG ZHU, BRIAN SCHEFFLER, XUMING LIU, XIANG LIU, SCOT HULBERT; JEFFREY J STUART. 2008. "Analysis of Transcripts and Proteins Expressed in the Salivary Glands of Hessian Fly (*Mayetiola Destructor*) Larvae."  
*Journal of Insect Physiology* 54 (1): 1–16. doi:10.1016/j.jinsphys.2007.07.007.
- GATEHOUSE, JOHN A. 2002. "Plant Resistance towards Insect Herbivores: A Dynamic Interaction."  
*New Phytologist* 156 (2): 145–169. doi:10.1046/j.1469-8137.2002.00519.x.
- HARRIS, M O, J J STUART, M MOHAN, S NAIR, R J LAMB; O ROHFRITSCH. 2003. "Grasses and Gall Midges: Plant Defense and Insect Adaptation."  
*Annual Review of Entomology* 48: 549–77. doi:10.1146/annurev.ento.48.091801.112559.
- HOWE, GREGG A GA; GEORG JANDER. 2008. "Plant Immunity to Insect Herbivores."  
*Annual Review of Plant Biology* 59: 41–66. doi:10.1146/annurev.arplant.59.032607.092825.
- STUART, JEFF. 2015. "Insect Effectors and Gene-for-Gene Interactions with Host Plants."  
*Current Opinion in Insect Science* 9: 56–61. doi:10.1016/j.cois.2015.02.010.
- STUART, JEFF J, MING-SHUN CHEN, RICHARD SHUKLE; MARION O HARRIS. 2012. "Gall Midges (*Hessian Flies*) as Plant Pathogens."  
*Annual Review of Phytopathology* 50: 339–57. doi:10.1146/annurev-phyto-072910-095255.
- ZHAO, CHAOYANG, LUCIO NAVARRO, HANG CHEN, THIAGO R BENATTI, JIAXIN QU, SANJAY CHELLAPILLA, ROBERT M WATERHOUSE, *et al.* 2015. "A Massive Expansion of Effector Genes Underlies Gall-Formation in the Wheat Pest *Mayetiola Destructor*."  
*Current Biology* : CB 25 (5): 613–20. doi:10.1016/j.cub.2014.12.057.

ZHAO, CHAOYANG, RICHARD SHUKLE, LUCIO NAVARRO ESCALANTE, MINGSHUN CHEN, STEPHEN RICHARDS; JEFFREY J STUART. 2015. "Avirulence Gene Mapping in the Hessian Fly (*Mayetiola Destructor*) Reveals a Protein Phosphatase 2C Effector Gene Family." *Journal of Insect Physiology*. doi:10.1016/j.jinsphys.2015.10.001.

---

## Metodología para evaluar la susceptibilidad de poblaciones de *Spodoptera frugiperda* a tejidos de maíz con apilamiento genético (Powercore™)

Efraín Becerra Contreras

I. A. CPR&D Dow AgroSciences de Colombia S.A [ehbecerra@dow.com](mailto:ehbecerra@dow.com). TM PowerCore technology and its corresponding logo is a registered trademark of Monsanto Technology LLC. The multi-event PowerCore™ technology was developed by Dow AgroSciences and Monsanto.

---

Colombia actualmente siembra alrededor de unas 100.000 ha de maíz genéticamente modificado (ICA 2016) en cultivos que expresan fundamentalmente resistencia a insectos plaga defoliadores como *Spodoptera frugiperda*, *Diatraea saccharalis*, *Helicoverpa zea*, y a herbicidas como glifosato y glufosinato de amonio. Una de las estrategias que se han desarrollado para minimizar el riesgo de desarrollo de resistencia es la inserción de varias proteínas Bt, con diferente mecanismo de acción, en una misma planta, dando origen al apilamiento genético. Con el objeto validar la metodología para evaluar la susceptibilidad de poblaciones de *S. frugiperda* a tejidos de maíz con apilamiento genético, se ha propuesto la implementación de una nueva metodología que de una forma sencilla nos ayudara a conocer su desempeño. Para esto se tomó la tecnología llamada Powercore™ (Cry1A.105 + Cry1F + Cry2Ab2 + EPSPS + PAT) y se dispuso de colectas de *S. frugiperda* en cultivos no-Bt en 5 poblaciones en la zona de Córdoba (CH), 9 en el Valle Geográfico del Río Magdalena (VGRM) y 3 en la Orinoquia comparadas con una población de CIAT – Palmira. Los materiales evaluados fueron. Con Powercore™ 2B602 PW y 2B810 PW, con Herculex™ 30F35 HR y el convencional SV 1035. Para cada población se evaluaron 25 larvas en 6 repeticiones (150 individuos por localidad). Todos los ensayos se realizaron con la F1 de las colectas de campo. Los híbridos de maíz se manejaron en condiciones de casa de malla y una vez que alcanzaron el estado vegetativo V4 – V8, se llevaron al laboratorio para la realización de los bioensayos. La presencia de las proteínas Cry1F y Cry1A.105 /Cry2Ab2 fue confirmada mediante un strip test. Las larvas neonatas fueron alimentadas con los tejidos de cada uno de los materiales de maíz y los parámetros evaluados fueron: mortalidad (número total de larvas muertas más las larvas que después de 7 días no pasaron del segundo instar larval), inhibición del crecimiento o desarrollo larval y, supervivencia considerada como aquellas larvas que sobrepasaron el tercer instar larval. Los resultados en función del porcentajes de mortalidad para el CH, oscilaron entre 99.9 y 55.6 % para Powercore™ 2B604 PW y 55,60 para SV1035. En el VGRM, el mayor valor en porcentaje de mortalidad se observó en Powercore™ 2B604 PW (91 %). Para la Orinoquia Powercore™ 2B604 PW con el 97,87 % fue el material que presentó el % más alto de mortalidad, en contraste con el 55,7 % observado en 30F35HR. Para el caso de CIAT (Colonia), los híbridos Powercore™ 2B604 PW y Powercore™ 2B810 PW exhibieron valores en el porcentaje de mortalidad superiores al 99,0 %. Al comparar las poblaciones de campo con la población de referencia (CIAT), podemos destacar que las poblaciones de *S. frugiperda* exhiben una alta susceptibilidad a los híbridos con apilamiento genético 2B604 PW y 2B810 PW. Esta metodología sirve para evaluar el desempeño de este tipo de tecnologías y complementa los trabajos realizados con dieta alimenticia más proteína con los cuales se puede conocer para cada proteína la dosis letal media, construir un modelo con un rango de dosis como el caso de una línea base y considerar evaluaciones empleando una dosis diagnóstico.

## Methodology to evaluate the of *Spodoptera frugiperda* populations susceptibility to corn tissue with genetic stacking (Powercore™)

Efraín Becerra Contreras

I. A. CPR&D Dow AgroSciences de Colombia S.A. [ehbecerra@dow.com](mailto:ehbecerra@dow.com)

TM PowerCore technology and its corresponding logo is a registered trademark of Monsanto Technology LLC. The multi-event PowerCore™ technology was developed by Dow AgroSciences and Monsanto.

Colombia currently planting about 100,000 ha of genetically modified maize (ICA 2016) in crops that express mainly resistance to insect pest such as *Spodoptera frugiperda*, *Diatraea saccharalis*, *Helicoverpa zea*; herbicides such as glyphosate and glufosinate ammonium. One of the strategies that have been developed to minimize the risk of resistance development is the insertion of several Bt proteins, with different mechanism of action, in the same plant, giving rise to genetic stacking. In order to validate the methodology to evaluate the susceptibility of populations of *S. frugiperda* to corn tissues with genetic stacking, it has been proposed the implementation of a new methodology that in a simple way will help us to know the performance of this kind of technologies. In this case we took the technology called Powercore™ (Cry1A.105 + Cry1F + Cry2Ab2 + EPSPS + PAT). *S. frugiperda* collections were used in 5 non-Bt populations in the Córdoba area (CH), 9 in the Geographical Valley of the Magdalena River (VGRM) and 3 in the Orinoquia, compared to a population of CIAT - Palmira. The evaluated materials were. With Powercore™ 2B602 PW and 2B810 PW, with Herculex™ 30F35 HR and the conventional SV 1035. For each population 25 larvae were evaluated in 6 replicates (150 individuals per locality). All the tests were performed with F1 from the field collections. The corn hybrids were handled under mesh house conditions and once they reached the vegetative state V4 - V8, they were taken to the laboratory for the realization of the bioassays. The presence of Cry1F and Cry1A.105 / Cry2Ab2 proteins was confirmed by a strip test. Neonate's larvae were fed with tissues of each of the corn materials and the parameters evaluated were: mortality (total number of dead larvae plus larvae that did not reach the third instar seven days after infestation), inhibition of growth or development larval and survival considered as those larvae that surpassed the third instar larval.

The results as a function of mortality percentages for CH ranged from 99.9 to 55.6 % for PowerCore 2B604 PW and 55.60 for SV1035. In VGRM, the highest mortality rate was observed in PowerCore 2B604 PW (91 %). For Orinoquia PowerCore 2B604 PW with 97.87 % was the material that presented the highest % of mortality, in contrast to 55.7 % observed in 30F35HR. In the case of CIAT (Colonia), the hybrids PowerCore 2B604 PW and PowerCore 2B810 PW showed values in the percentage of mortality higher than 99,0 %. When comparing the field populations with the reference population (CIAT), we can point out that the populations of *S. frugiperda* exhibit a high susceptibility to hybrids with genetic stack 2B604 PW and 2B810 PW. This methodology is used in order to evaluate the performance (synergy) of this type of technology and complements the work carried out with food diet plus protein where it is possible to know for each trait the average lethal dose, to construct a model with a dose range as the case of a baseline and consider evaluations using a diagnostic dose.



---

## Aplicación de ARNi para entender resistencia en cultivos transgénicos Application of RNAi to Understand Resistance in Transgenic Crops

Carolina Camargo<sup>1,2</sup>, Blair D. Siegfried<sup>1</sup>

<sup>1</sup>University of Florida Department of Entomology and Nematology, <sup>2</sup>Grupo Tándem Universidad de Antioquia –Max Planck Institute

---

### Introduction

RNA interference (RNAi) refers to a set of related processes in which small regulatory double-stranded RNAs direct sequence-specific repression of gene expression (Fire *et al.* 1998). This pathway has been implicated as a mechanism of defense against invasive nucleic acids from viruses or from mobile genetic elements; has been conclusively shown to regulate gene expression in virtually all eukaryotic organisms (Fire 2007, Mohr and Perrimon 2012). Both the pharmaceutical and agricultural industries have recognized RNAi as a mechanism to control the expression of target genes for either therapeutic (Chen and Xie 2012, Yang and Zhang 2012) or pest control (Price and Gatehouse 2008) purposes, resulting in a diversity of potential applications. Reports on use of RNAi in insects have been extensively reviewed (Huvenne and Smagge 2010, Aronstein *et al.* 2011). Genomic analyses have identified genes encoding the core components of the RNAi machinery in insects (Hammond *et al.* 2000); there are examples of both cell-autonomous (Boutla *et al.* 2003, Roignant *et al.* 2003) and systemic (Aronstein *et al.* 2006, Turner *et al.* 2006, Miller *et al.* 2008) RNAi. However, in most cases (especially in non-model insect species) the precise mechanisms responsible for the uptake of the dsRNA, processing and transport of siRNAs; amplification of the RNAi response, are still unknown. This lack of completely detailed RNAi machinery in most insects may explain the current disparity observed in the efficacy of RNAi in these organisms (Huvenne and Smagge 2010).

Since its discovery in 1998, RNAi has been widely recognized as one of the premier tools in functional genomics to assign and understand gene function (Fire *et al.* 1998). One of the main advantages of RNAi is its feasibility to perform *in vivo* experiments allowing for the study of phenotypes associated with gene expression in specific life-stages and specific tissues (Chen and Xie 2012, Yang and Zhang 2012). In insecticide toxicology and evolution of resistance to insecticides, RNAi technology has been widely applied to identify the genes encoding target proteins of insecticides, Bt toxins and the physiological mechanisms involved in processing lethal dsRNA (Tan *et al.* 2016). In this talk, we focus on recent applications and advances of RNAi in understanding evolution of resistance to Cry toxins from *Bacillus thuringiensis* and lethal dsRNA.

### Application of RNAi to understand resistance to Cry toxins from *Bacillus thuringiensis* (Bt)

Agriculture has utilized Bt for over 70 years in pest control. First as foliar spray formulations and in the last 20 years in transgenic plants expressing Bt toxins (Onstad 2014). The multi-step toxicity process includes, ingestion, solubilization and processing from a protoxin which is activated in the insect digestive fluid (Gill *et al.* 1992). The toxin moves through the peritrophic membrane and

binds to receptors located on the brush border membrane of the gut cells (Gill *et al.* 1992). The binding process of the toxin to the receptors cause pore formation that results in the uncontrolled ionic flux and collapse of normal cellular function (Gill *et al.* 1992, Soberon *et al.* 2010). Although the pore formation has been well established as the main mechanism of toxicity of Bt toxins, details on the receptors and regions of the Bt proteins themselves that target the midgut receptors are still not well understood (Onstad 2014). An alternative hypothesis based on the binding of Bt toxins to Cadherin-like proteins have been proposed as a potential toxicity mechanism (Tan *et al.* 2016). Understanding the receptor and Bt protein binding process is not only important to understand Bt mode of action, but also to access how resistance might evolve in order to correctly design insecticide resistance management practices (IRM) (Onstad, 2014, Tan *et al.* 2016). RNAi has been a useful and now more commonly used tool to validate and develop a functional characterization of Bt Toxin Receptors. In this section of the talk we will present the application of RNAi to understand the role of Cadherin-like proteins in Bt toxicity and resistance.

### **Application of RNAi to understand resistance to RNAi based technologies**

In pest control, RNAi has been suggested as the motivation for development of a new generation of insect-resistant crops expressing dsRNA (RNAi crops) targeting essential insect genes (Price and Gatehouse 2008). Efficacy of RNAi has been validated in a number of lepidopteran, coleopteran; hemipteran agricultural pest species (Huvette and Smagghe 2010, Terenius *et al.* 2011). The use of RNAi for insect control is supported by reports of toxicity induced by feeding of dsRNA and down-regulation of essential gene targets. Feeding of dsRNA targeting V-ATPase subunits has been reported to induce mortality in coleopteran (*Tribolium castaneum*), lepidopteran (*Manduca sexta*); hemipteran (*Acyrtosiphon pisum*) pests (Whyard *et al.* 2009), Furthermore, feeding on dsRNA targeting V-ATPaseA also induces an RNAi response in *D. virgifera virgifera* adults (Rangasamy and Siegfried 2012), highlighting this gene as a relevant target for RNAi-based insect control. More recently, dsRNA targeting the Snf7 gene involved in trafficking of membrane receptors has been reported to be as effective as dsRNA targeting V-ATPaseA in controlling *D. v. virgifera* and *D. undecimpunctata. howardi* larvae (Bolognesi *et al.* 2012, Ramaseshadri *et al.* 2013).

Since RNAi is naturally a defense response against endogenous parasitic and exogenous pathogenic nucleic acids, resistance to RNAi has been mostly characterized in viruses (Voinnet 2005). In contrast to these studies, there has been no research aimed at elucidating potential insect resistance mechanisms to RNAi insecticides. Considerable effort has been devoted to developing RNAi techniques for gene silencing in corn rootworms. Variation in the phenotypic response after exposure to dsRNA across western corn rootworm populations suggests that genetic and physiological differences can affect the effectiveness of lethal dsRNA in the field (Chu *et al.* 2014). Three main hypothesis have arise on how insects will evolve resistance to lethal dsRNA: 1) Change of the nucleotide sequence of the target mRNA 2) Changes in uptake mechanisms of RNAi in the cell and 3) Malfunction of a step along the RNAi pathway (Onstad, 2014). Our research have been focused on understading this last mechanism of resistance to lethal dsRNA. Results from our advances in understading evolution of resistance to dsRNA in *D. v. Virgifera* will be discussed.

---

## References

- ARONSTEIN, K.; T. PANKEW; E. SALDIVAR. 2006. SID-1 is implicated in systemic gene silencing in the honey bee. *J. Apic. Res.* 45: 20-24.
- ARONSTEIN, K.; B. OPPERT; M. LORENZEN. 2011. RNAi in agriculturally-important arthropods. In P. Grabowski (ed.), *RNA Processing*. InTech.
- BOUTLA, A.; C. DELIDAKIS, I. LIVADARAS; M. TABLER. 2003. Variations of the 3' protruding ends in synthetic short interfering RNA (siRNA) tested by microinjection in *Drosophila* embryos. *Oligonucleotides* 13: 295-301.
- BOLOGNESI, R.; P. RAMASESHADRI, J. ANDERSON, P. BACHMAN, W. CLINTON, R. FLANNAGAN, O. ILAGAN, C. LAWRENCE, S. LEVINE, W. MOAR, G. MUELLER, J. TAN, J. UFFMAN, E. WIGGINS, G. HECK; G. SEGERS. 2012. Characterizing the mechanism of action of double-stranded RNA activity against western corn rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte). *PLoS one* 7: e47534.
- CHEN, J.; J. XIE. 2012. Progress on RNAi-based molecular medicines. *Int. J. Nanomedicine* 7: 3971-80.
- CHU, C.-C.; W. SUN, J. L. SPENCER, B. R. PITTENDRIGH; M. J. SEUFFERHELD. 2014. Differential effects of RNAi treatments on field populations of the western corn rootworm. *Pesticide biochemistry and physiology* 110: 1-6.
- FIRE, A. Z. 2007. Gene silencing by double-stranded RNA. *Cell Death and Differentiation* 14: 1998-2012.
- GILL, S.S.; COWLES, E.A.; PIETRANTONIO, P.V.; 1992 The mode of action of *Bacillus thuringiensis* endotoxins. *Annual Rev. of Entomology* 37:515-536.
- HAMMON, S. M.; E. BERNSTEIN, D. BEACH; G. J. HANNON. 2000. An RNA-directed nuclease mediates post-transcriptional gene silencing in *Drosophila* cells. *Nature* 404: 293-6.
- HUVENNE, H.; G. SMAGGHE. 2010. Mechanisms of dsRNA uptake in insects and potential of RNAi for pest control: a review. *J. Insect Physiol.* 56: 227-35.
- MILLER, S. C.; S. J. BROWNB; Y. TOMOYASU. 2008. Larval RNAi in *Drosophila*? *Dev. Genes Evol.* 218: 505-10.
- MUTTI, N. S.; Y. PARK, J. C. REESE; G. R. REECK. 2006. RNAi knockdown of a salivary transcript leading to lethality in the pea aphid, *Acyrtosiphon pisum*. *J. Insect Sci.* 6: 1-7.
- MOHR, S. E.; N. PERRIMON. 2012. RNAi screening: new approaches, understandings; organisms. *Wiley Interdiscip. Rev. RNA* 3: 145-58.
- ONSTAD, D.W. 2014 *Insect Resistance Management*. Elsevier. USA. 538 p.
- PRICE, D. R.; J. A. GATEHOUSE. 2008. RNAi-mediated crop protection against insects. *Trends Biotechnol.* 26: 393-400.
- RAMASESHADRI, P.; G. SEGERS, R. FLANNAGAN, E. WIGGINS, W. CLINTON, O. ILAGAN, B. MCNULTY, T. CLARK; R. BOLOGNESI. 2013. Physiological and cellular responses caused by RNAi-mediated suppression of *Snf7* orthologue in western corn rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera*) larvae. *PLoS One* 8: e54270.
- RANGASAMY, M.; B. D. SIEGFRIED. 2012. Validation of RNA interference in western corn rootworm *Diabrotica virgifera virgifera* LeConte (Coleoptera: Chrysomelidae) adults. *Pest Manag. Sci.* 68: 587-591.

- ROIGNANT, J. Y.; C. CARRE, B. MUGAT, D. SZYMCZAK, J. A. Lepesant; C. Antoniewski. 2003. Absence of transitive and systemic pathways allows cell-specific and isoform-specific RNAi in *Drosophila*. *RNA* 9: 299-308.
- SOBERON, M.; PARDO, L.; MUÑOZ-GARAY, C.; SANCHEZ, J.; GOMEZ, I.; PORTA, H. 2010. Pore formation by Cry toxins. *Adv. Exp. Med. Biol.* 677:127-142
- TURNER, C. T.; M. W. DAVY, R. M. MACDIARMID, K. M. PLUMMER, N. P. BIRCH; R. D. Newcomb. 2006. RNA interference in the light brown apple moth, *Epiphyas postvittana* (Walker) induced by double-stranded RNA feeding. *Insect Mol. Biol.* 15: 383-91.
- TAN, Y. S.; RANGASAMY.; M. WANG.H VELEZ.; A.M HASLER, J.; McCASKILL, D.; XU, T.; CHEN, H.; JURZENSKI, J.; KELKER, M.; XU, X.; NARVA, N.; SIEGFRIED, B. 2016. RNAi induced knockdown of a cadherin-like protein (EF531715) does not affect toxicity of Cry34/35Ab1 or Cry3Aa to *Diabrotica virgifera virgifera* larvae (Coleoptera: Chrysomelidae). *Insect Biochemistry and Molecular Biology* 75 (2016) 117–124.
- TERENIUS, O.; A. PAPANICOLAOU, J. S. GARBUTT, I. ELEFThERIANOS, H. HUVENNE, S. KANGINAKUDRU, M. ALBRECHTSEN, C. AN, J. L. AYMERIC, A. BARTHEL, P. BEBAS, K. BITRA, A. BRAVO, F. CHEVALIER, D. P. COLLINGE, C. M. CRAVA, R. A. DE MAAGD, B. DUVIC, M. ERLANDSON, I. FAYE, G. FELFOLDI, H. FUJIWARA, R. FUTAHASHI, A. S. GANDHE, H. S. GATEHOUSE, L. N. GATEHOUSE, J. M. GIEBULTOWICZ, I. GÓMEZ, C. J. GRIMMELIKHUIJZEN, A. T. GROOT, F. HAUSER, D. G. HECKEL, D. D. HEGEDUS, S. HRYCAJ, L. HUANG, J. J. HULL, K. IATROU, M. IGA, M. R. KANOST, J. KOTWICA, C. LI, J. LI, J. LIU, M. LUNDMARK, S. MATSUMOTO, M. MEYERING-VOS, P. J. MILLICHAP, A. MONTEIRO, N. MRINAL, T. NIIMI, D. NOWARA, A. OHNISHI, V. OOSTRA, K. OZAKI, M. PAKONSTANTINO, A. POPADIC, M. V. RAJAM, S. SAENKO, R. M. SIMPSON, M. SOBERÓN, M. R. STRAND, S. TOMITA, U. TOPRAK, P. WANG, C. W. WEE, S. WHYARD, W. ZHANG, J. NAGARAJU, R. H. FFRENCH-CONSTANT, S. HERRERO, K. GORDON, L. SWEVERS; G. SMAGGHE. 2011. RNA interference in Lepidoptera: An overview of successful and unsuccessful studies and implications for experimental design. *J. Insect Physiol.* 57: 231-245.
- VOINNET, O. 2005. Induction and suppression of RNA silencing: insights from viral infections. *Nat. Rev. Genet.* 6: 206-20.
- WHYARD, S.; A. D. SINGH; S. WONG. 2009. Ingested double-stranded RNAs can act as species-specific insecticides. *Insect Biochem. Mol. Biol* 39: 824-32.
- YANG, W. Q.; Y. ZHANG. 2012. RNAi-mediated gene silencing in cancer therapy. *Expert. Opin. Biol. Ther.* 12: 1495-504.

## **Simposio 4.**

# **Microcosmos urbano: saberes sobre los insectos en las ciudades**

---

**Coordinación: Juliana Durán y Alexander Bustos**  
Subdirección Científica, Jardín Botánico de Bogotá

### **Participantes:**

Juliana Durán Prieto y Alexander Bustos  
Subdirección Científica, Jardín Botánico de Bogotá

Marcela Serrano, Marcela Albornoz, Gustavo Ardila, José Castro  
Subdirección Técnica, Oficina de Arborización urbana, Jardín Botánico de Bogotá

David Cibrián Tovar  
División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo, México

Guiomar Nates-Parra  
Departamento de Biología, Laboratorio de Investigaciones en Abejas,  
Universidad Nacional de Colombia

## SIMPOSIO

### Microcosmos urbano: saberes sobre los insectos en las ciudades

Coordinadores: Juliana Durán y Alexander Bustos

Subdirección Científica, Jardín Botánico de Bogotá, Avenida Calle 63 No. 68-95. <sup>1</sup>*jduran@jbb.gov.co*;  
<sup>2</sup>*hbustos@jbb.gov.co*

---

#### Introducción

Abundantes, diversos, cosmopolitas y con diversos roles ecológicos, los insectos son uno de grupos considerados bioindicadores ambientales y de biodiversidad en los ecosistemas urbanos (McIntyre 2000; Jones y Leather 2012). Su importancia en la polinización, control de plagas, descomposición y ciclaje de nutrientes, los convierte en uno de los taxa más importantes como prestadores de servicios ecosistémicos en las ciudades (Stanford *et al.* 2009; Youngsteadt *et al.* 2014; Lowenstein *et al.* 2015), en donde el deterioro de la calidad de vida de sus ciudadanos se correlaciona con la pérdida de estos servicios (Dearborn *et al.* 2009; Cardinale 2012). No obstante, los insectos son también causantes de perjuicios (“ecosystem disservices”) en las áreas urbanas al actuar como vectores de enfermedades (Bonney *et al.* 2008) y como herbívoros plaga que afectan la supervivencia y crecimiento de la vegetación urbana (Raupp *et al.* 2010; Dale y Frank 2014a), la cual provee servicios relacionados con la purificación de aire, regulación de la temperatura y secuestro de carbono, entre otros (Dimoudi *et al.* 2003; Taylor y Taylor 2013).

Un mejor entendimiento de la diversidad de las comunidades de Insecta en términos de su abundancia, riqueza y composición en los paisajes urbanos, de sus interacciones tróficas y de su respuesta frente a los procesos de urbanización a diversas escalas, será relevante para conservar su biodiversidad y funcionalidad ecosistémica en las ciudades (McKinney 2008; Faeth *et al.* 2011; Fattorini 2011), entendiendo que los paisajes urbanos se caracterizan por su alta heterogeneidad espacial y ambiental (Sattler *et al.* 2010; Ramalho y Hobbs 2012; Savage *et al.* 2014). Además, comprender cómo las condiciones ambientales urbanas y los diferentes factores del paisaje afectan la biología y ecología de los insectos plagas de las coberturas vegetales urbanas y sus controladores naturales, será necesario para generar estrategias efectivas de control fitosanitario en estos ambientes (Raupp *et al.* 2010; Fenoglio *et al.* 2013; Dale & Frank 2014a, 2014b).

Teniendo presente el creciente interés científico por el estudio de los ecosistemas urbanos, cada vez más frecuentes y en continua expansión (United Nations 2014), el presente simposio se ha organizado con el objetivo de generar un espacio académico donde se socialicen algunas de las investigaciones que se han realizado sobre los insectos en paisajes urbanizados en Colombia y México, desde dos diferentes enfoques: 1. Biodiversidad, biología y ecología de los insectos urbanos y 2. Avances en el control de los insectos considerados plagas de las coberturas vegetales urbanas.

## Referencias

- BONNEFOY, X.; KAMPEN, H.; SWEENEY, K. 2008. Public Health Significance of Urban Pests. Publications Word Health Organization, Copenhagen, 579 p.
- CARDINALE, B.J. 2012. Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature* 486: 59-67.
- DALE, A.G.; FRANK, S.D. 2014 a. The Effects of Urban Warming on Herbivore Abundance and Street Tree Condition. *PLoS ONE* 9(7): e102996. DOI: 10.1371/journal.pone.0102996
- DALE, A.G.; FRANK, S.D. 2014 b. Urban warming trumps natural enemy regulation of herbivorous pests. *Ecological Applications* 24(7): 1596–1607.
- DEARBORN, D.C.; KARK, S. 2010. Motivations for conserving urban biodiversity. *Conservation Biology* 24(2):432-40.
- DIMOUDI, A.; NIKOLOPOULU, M. 2003. Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits. *Energy and Building* 35: 69-76.
- FAETH, S.H.; BANG, C.; SAARI, S. 2011. Urban biodiversity: patterns and mechanisms. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1223: 69–81.
- FATTORINI, S. 2011. Insect extinction by urbanization: a long term study in Rome. *Biological Conservation* 144:370–375.
- FENOGLIO, M.S.; VIDELA, M.; SALVO, A.; VALLADARES, G. 2013. Beneficial insects in urban environments: Parasitism rates increase in large and less isolated plant patches via enhanced parasitoid species richness. *Biological Conservation* 164:82–89.
- JONES, E.L.; LEATHER, S.R. 2012. Invertebrates in urban areas: A review. *European Journal of Entomology* 109: 463–478.
- LOWENSTEIN, D.M.; MATTESON, K.C.; MINOR, E.S. 2015. Diversity of wild bees supports pollination services in an urbanized landscape. *Oecologia* 179: 811-821.
- MCINTYRE, N.E. 2000. Ecology of urban arthropods: a review and a call to action. *Annals of the Entomological Society of America* 93:825–835.
- MCKINNEY, M.L. 2008. Effects of urbanization on species richness: a review of plants and animals. *Urban Ecosystems* 11:161–176.
- RAMALHO, C.E.; HOBBS, R.J. 2012. Time for a change: dynamic urban ecology. *Trends in Ecology and Evolution* 27 (12): 179-188.
- RAUPP, M.J.; SHREWSBURY, P.M.; HERMS, D.A. 2010. Ecology of herbivorous arthropods in urban landscapes. *Annual Review of Entomology*: 55:19–38.
- SANFORD, M.P.; MANLEY, P.N.; MURPHY, D.D. 2009. Effects of urban development on ant communities: implications for ecosystem services and management. *Conservation Biology* 23: 131–141.
- SATTLER, T.; DUELLI, P.; OBRIST, M.K.; ARLETTAZ, R.; MORETTI, M. 2010. Response of arthropod species richness and functional groups to urban habitat structure and management. *Landscape Ecology* 25:941–954.
- SAVAGE, A.M.; HACKETT, B.E.; GUENARD, B.; YOUNGSTEADT, E.K.; DUNN, R.R. 2015. Fine-scale heterogeneity across Manhattan’s urban habitat mosaic is associated with variation in ant composition and richness. *Insect Conservation and Diversity* 8(3): 216–228.
- TAYLOR, S.; TAYLOR, J.R. 2013. Supplying urban ecosystem services through multifunctional green infrastructure in the United States. *Landscape Ecology* 28:1447–1463.
- United Nations. 2014. World urbanization prospects: the 2014 Revision. United Nations, New York.



YOUNGSTEADT, E.; HENDERSON, R.C.; SAVAGE, A.M.; ERNST, A.F.; DUNN, R.R.; FRANK, S.D. 2014. Habitat and species identity, not diversity, predict the extent of refuse consumption by urban arthropods. *Global Change Biology*, DOI: 10.1111/gcb.12791.

## Principales agentes entomológicos que afectan el arbolado urbano de Bogotá, D. C.

Marcela Serrano<sup>1\*</sup>, Marcela Albornoz<sup>1</sup>, Gustavo Ardila<sup>1</sup> y José Castro<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Subdirección Técnica, Oficina de Arborización urbana, Jardín Botánico de Bogotá,  
Avenida Calle 63 No. 68-95.\* [mserrano@jbb.gov.co](mailto:mserrano@jbb.gov.co)

---

### Introducción

La ciudad de Bogotá cuenta con 1'260.230 árboles que pertenecen a 346 especies vegetales. Desde el año 1997 por medio de la Ley 299 Art. 13 de 1996, el Jardín Botánico de Bogotá asumió el manejo y mantenimiento de estos árboles urbanos. En el año 2005, la Oficina de Arborización Urbana incluyó dentro de sus prácticas silviculturales el componente de sanidad vegetal, como estrategia de manejo de las problemáticas fitosanitarias que afectan al arbolado urbano de la ciudad. Factores como las fluctuaciones de temperatura, altos niveles de contaminación ambiental y daños antrópicos, entre otros, disminuyen la tolerancia de los árboles al ataque de plagas. En años recientes se ha observado un incremento en la población y en la adaptación de nuevas especies plaga como resultado del cambio climático, lo que ha generado el uso de nuevas estrategias de manejo fitosanitario por parte del Jardín Botánico de Bogotá, que permitan mantener las poblaciones de insectos plaga en niveles tolerables y de esta manera evitar la pérdida de árboles.

**Diagnóstico.** Las especies arbóreas más afectadas por agentes entomológicos en el arbolado urbano de la ciudad de Bogotá son: Caucho sabanero (*Ficus americana subsp. andicola*); Falso pimiento (*Shinus molle*); Guayacán de Manizales (*Lafoensia acuminata*); Sangregado (*Croton* sp.) y Urapán (*Fraxinus chinensis*) (Castro 2007; Campos-Salazar 2013).

Cada especie reporta diferentes plagas las cuales son enumeradas a continuación (Pinzón 1997; Toloza & Pinzón 2002; Castro 2007; Pinzón y González 1999; Campos-Salazar 2013; Tanaka & Kondo 2015)

Caucho Sabanero: Complejo Hemiptera (*Pulvinaria caballeroramosae*, *Pulvinaria psidii*, *Ceroplastes cundinamarcensis*) *Pseudococcus calceolariae*, Psillidae (especie en estudio)

Falso pimiento: Hemiptera (*Saissetia coffeae*, *Ceroplastes cundinamarcensis*, *Ceroplastes bicolor*), Cicadellidae (diferentes especies), Psillidae (*Calophya schini*), Miridae (*Monalonia velezangeli*),

Guayacán de Manizales: Hemiptera (Mosca blanca (*Aleyrodidae*), Cicadellidae (varias especies).

Sangregado: Lepidoptera (*Sangalopsis veliterna*), Cicadellidae (varias especies), Hemiptera (*Ceroplastes cundinamarcensis*)

Urapán: Hemiptera (*Tropidosteptes chapingoensis*).

En todas las localidades de Bogotá el Urapán se encuentra afectado por el chinche *Tropidosteptes chapingoensis* destacándose las localidades de Chapinero, Barrios Unidos, Usaquén, Teusaquillo y Kennedy. En el Caucho sabanero afectado por el, denominado complejo Hemiptera (*Pseudococcus calceolariae*, *Pulvinaria psidii*, *Pulvinaria caballeroramosae*, *Ceroplastes cundinamarcensis*, Psillidos y mosca blanca), sus especies plagas se distribuyen en focos, con mayor severidad presentándose en las localidades de Santafé, Candelaria, Barrios Unidos, Teusaquillo, Engativá, Fontibón, Puente Aranda, Tunjuelito, Ciudad Bolívar, Bosa y Kennedy. Para el caso del Falso pimienta, también afectado por el complejo Hemiptera (*Saissetia coffeae*, *Callophya schini*, *Ceroplastes cundinamarcensis*, *Ceroplastes bicolor* y *Monalonion velezangeli*), las localidades con mayor afectación corresponden a Bosa, Kennedy, Puente Aranda, Fontibón, Engativá, Teusaquillo, Suba, Usaquén, Candelaria y Kennedy, aunque cabe mencionar que hasta el momento *Monalonion velezangeli* solamente se ha registrado en las localidades de Suba y Usaquén. En el caso del Sangregado afectado por *Sangalopsis veliterna* (Lepidoptera: Geometridae), las localidades con mayor afectación corresponden a Suba, Usaquén, Fontibón, Engativá, Chapinero y Teusaquillo.

**Factores que propician las plagas en el arbolado urbano.** En observaciones de campo se ha evidenciado que uno de los factores que ha facilitado el avance de plagas es el monocultivo de algunas especies arbóreas en la zona urbana, como en el caso del caucho sabanero con afectación fitosanitaria, presente en las principales avenidas de la ciudad como especie mayoritaria y representativa. También se ha observado que el tipo de emplazamiento probablemente influencia la severidad al ataque de plagas, es así que la incidencia de *Pulvinaria psidii* en caucho sabanero aumenta en contenedores estrechos presentes en zonas de suelos duros con probable deficiencia nutricional, en comparación con los árboles sembrados en zonas no endurecidas. Otro factor que probablemente está afectando la ocurrencia de plagas en el arbolado es el factor ambiental, como en el caso de *Monalonion velezangeli* que afecta principalmente a ejemplares de falso pimienta en las localidades de Suba, Usaquén y Chapinero Oriental que se caracterizan por tener una alta precipitación y humedad relativa.

**Manejo de insectos plagas.** Dentro de los esquemas de manejo de plagas que realiza el Jardín Botánico de Bogotá al arbolado urbano, se vienen utilizando diferentes métodos de control que emplean diferentes insecticidas no biológicos (Tabla 1) y otros productos (Tabla 2) aplicados de manera foliar, por endoterapia o drench.

**Tabla 1.** Insecticidas biológicos usados para el control de insectos plaga en el manejo del arbolado urbano de Bogotá.

<i>Bacillus thuringiensis</i> var. <i>Kurstaki</i>	<i>Verticillium lecani</i>
<i>Trichoderma lignorum</i>	Kasugamicina
<i>Beauveria bassiana</i> Cepa GHA	<i>Paecilomyces fumosoroseus</i>
<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Lecanicillium lecani</i>
Sales de Potasio con ácidos grasos	

**Tabla 2.** Productos usados para el control de insectos plaga en el manejo del arbolado urbano de Bogotá.

Síntesis Química	Ecológicos	Vegetales Orgánicos	Otros
Pirestar (Permetrina)	Jabones potásicos	Extractos Vegetales	Remoción con Agua
Confidor (Imidacloprid)	Jabones agrícolas	Hidrolatos	Lavado con Agua
Actara (Tiametoxam)		Algas marinas	

Las aplicaciones de plaguicidas se realizan dependiendo del blanco biológico y se realizan entre 3 a 4 aplicaciones al año. Los insecticidas (biológicos y no biológicos) se aplican a nivel:

Foliar	Biológicos y No Biológicos
Por endoterapia	Síntesis Química
Otro (Drench)	Biológicos y No Biológicos

Para cuantificar el daño causado por una plaga y así tomar la decisión de realizar el tratamiento biológico o no biológico que busque mitigar el daño, se evalúa la incidencia de la plaga sobre el individuo arbóreo analizando el porcentaje de afectación (severidad). Si este es mayor al 30 % del área foliar afectada se procede a realizar los controles para disminuir la población que esté afectando al individuo arbóreo.

Finalmente es importante mencionar que el manejo fitosanitario del arbolado urbano por parte de la oficina de Arborización del Jardín Botánico de Bogotá ha estado enmarcado en el contexto del MIPE (Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades). Por lo cual se han implementado medidas integrales de manejo químico, biológico y cultural. Para el manejo químico del arbolado se realizan aspersiones foliares con insecticidas de categoría 3 en complemento con extractos vegetales. Además de lo anterior se realiza endoterapia vegetal con insecticidas del grupo de los neonicotinoides. Complementado a lo anterior se realizan podas fitosanitarias y remoción mecánica de plagas (en especial para el manejo de escamas blandas) mediante aspersión a alta presión con jabones agrícolas potásicos. En cuanto al control biológico se han realizado aspersiones foliares con la bacteria insecticida *Bacillus thuringiensis* para el control de lepidópteros, y se ha realizado la liberación del hongo entomopatógeno *Lecanicillium sabanenum* (Chiriví *et al.* 2015) para el manejo de *Pulvinaria caballero ramosae* en ejemplares de caucho sabanero.

## Referencias

- CAMPOS-SALAZAR, L. N. 2013. Afectación fitosanitaria y manejo integral del arbolado urbano del Distrito Capital: un estudio de caso en Caucho sabanero (*Ficus andicola*). Reporte del Jardín Botánico José Celestino Mutis. Bogotá. 16 pp.
- CASTRO, J. A. 2009. Principales plagas y enfermedades que afectan al arbolado urbano en la localidad de Chapinero, Bogotá D.C. Convenio 005 de 2007. Alcaldía Local de Chapinero, Jardín Botánico de Bogotá, Alcaldía Mayor del Distrito Capital. 28 p.

- CHIRIVÍ- SALOMÓN, J. S.; DANIES, G.; RESTREPO, S.; SANJUAN, T. 2015. *Lecanicillium sabanense* sp. nov. (Cordycipitaceae) a new fungal entomopathogen of coccids. *Phytotaxa* 234 (1): 063-074.
- TANAKA, H.; KONDO, T. 2015. Description of a new soft scale insect of the genus *Pulvinaria* Targioni Tozzetti (Hemiptera, Coccoidea, Coccidae) from Bogota, Colombia. *ZooKeys* 484: 111–120.
- PINZÓN, F. O. P. 1997. La chinche (*Tropidosteptes chapingoensis* Carvalho) del Urapán. Sociedad Colombiana de Entomología. XXIV Congreso. Colombia. Pp. 220-224.
- TOLOZA, A.; PINZÓN, P. 2002. Entomofauna asociada a las especies arbóreas ornamentales de Bogotá: caracterización biológica, hábitos, enemigos naturales y fluctuación poblacional de *Pseudococcus calceolariae* Maskell, en *Ficus andicola* Standley. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico. 8 pp.
- PINZÓN, O.; GONZÁLEZ, R. 2001. Caracterización biológica, hábitos, enemigos naturales y fluctuación poblacional de *Callophya schini* Tuthill en la especie forestal *Shinus molle* L. en Bogotá. *Revista Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico. Universidad Distrital Francisco José de Caldas Bogotá* 3: 149-164.

## Situación fitosanitaria de los árboles urbanos del valle de México

David Cibrián Tovar<sup>1</sup>

<sup>1</sup>División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado de México, México CP 56230. [dcibrian48@gmail.com](mailto:dcibrian48@gmail.com)

---

Se presenta un diagnóstico fitosanitario enfocado a los insectos que afectan las principales especies de árboles del Valle de México, con énfasis en Chopos y Sauces (*Populus* y *Salix*), Fresnos (*Fraxinus*), Encinos (*Quercus*), Eucalipto (*Eucalyptus*), Cedros (*Cupressus*) y Palmas (*Phoenix*). En cada caso se concluye con una breve mención de la estrategia de atención a sus problemas fitosanitarios. Debido a la importancia socioeconómica del área conurbada y su impacto ecológico en la vegetación, se presenta un resumen de la fisiografía y desarrollo demográfico de esta zona.

El Valle de México, localizado en el centro del país, está rodeado por sistemas montañosos que crearon una cuenca cerrada, que permitieron la formación de un sistema lacustre de cerca de 1500 km<sup>2</sup>, del que ahora solo queda el 1.3 % de esa superficie cubierta por agua; varios de esos lagos tuvieron aguas salobres, mientras que solo dos tuvieron aguas dulces (OECD 2015, Ruiz y López 2015). Con el paso del tiempo los asentamientos humanos influyeron en su desecamiento y en sus lechos se estableció la Ciudad de México y varias urbes de la zona conurbada, sobre suelos principalmente alcalinos.

Dentro del Valle se encuentra el centro económico, financiero, político y cultural más grande del país y a nivel mundial es la zona metropolitana más grande fuera de Asia. En el Valle se tienen 16 Delegaciones que forman la Ciudad de México, 59 municipios del Estado de México y uno más del estado de Hidalgo, en conjunto ocupan una superficie de 7,866 km<sup>2</sup>, con un poco más de 20 millones de habitantes, lo que representa el 17 % de la población nacional, del cual solo un poco menos de la mitad vive en la Ciudad de México y el resto en las zonas periféricas, que tienen una tasa de crecimiento poblacional mayor a la del núcleo urbano principal; en conjunto, la densidad es de 13,500 habitantes por km<sup>2</sup> (OECD, 2015). Rivas-Torres (2005) realizó un análisis sobre la planeación de los espacios verdes en la Ciudad de México, documento que analiza a profundidad el desarrollo histórico de las áreas verdes en la zona metropolitana del Valle.

En el Valle se tienen en promedio 2.6 m<sup>2</sup> de áreas verdes por habitante, muy lejos de los 17, 16 o 12 que tienen respectivamente Paris, Londres y Los Ángeles (Meza y Moncada 2010). Dentro de la zona metropolitana hay una notable disparidad en la distribución y abundancia de áreas verdes, por ejemplo, en la Delegación Miguel Hidalgo hay 12.5 m<sup>2</sup> por habitante, pero solo 0.6 m<sup>2</sup> en otras delegaciones como Iztapalapa.

Por las razones mencionadas, los árboles del área conurbada del Valle de México enfrentan distintas condiciones de desarrollo, aunque un gran porcentaje está sujeto a factores de estrés que lo hacen susceptible a una importante gama de insectos fitófagos.

Los principales factores de incremento en la vulnerabilidad a ataques de insectos son la exposición continua a contaminación del aire, principalmente por gases oxidantes, restricción en la disponibilidad de agua, malas condiciones nutrimentales y de desarrollo del sistema radicular, lesiones por vandalismo, ausencia o disminución de enemigos naturales, e impacto de organismos exóticos que llegan primero a la ciudad y de allí se dispersan a nuevas áreas geográficas.

En los árboles, los ataques por insectos forman parte de procesos de declinación que pueden culminar con la muerte del individuo, o favorecer el desarrollo de patógenos que causan mortalidad y morbilidad, reducen su valor estético y paisajístico e incrementan el riesgo de daño a personas y bienes.

**Especies de árboles con problemas fitosanitarios de importancia** (Cibrián *et al.* 1995).

**Sauces (*Populus*) y chopos (*Salix*).** En la Valle se utilizan especies exóticas de *Populus* (*P. alba*, *P. deltoides*, *P. nigra*, *P. balsamífera* y *P. tremuloides*), conocidas como chopos o álamos. De *Salix* se utilizan las especies nativas *Salix bonplandiana* y *S. mexicana* y la exótica *S. babilónica*, todas conocidas como sauces. Estas especies son susceptibles a insectos defoliadores, chupadores de savia y barrenadores de maderas vivas y muertas.

Entre los defoliadores destaca la palomilla *Malacosoma incurvum aztecum*, (Lepidoptera: Lasiocampidae) conocida como gusano de bolsa, cuyos ataques ocurren al sur de la ciudad y en infestaciones severas logran defoliar cientos o miles de ha en la zona chinampera de Xochimilco y Tláhuac. Para su control se utiliza una estrategia de manejo instrumentada por el gobierno de la Ciudad de México, basada en la aplicación por vía aérea, acuática y terrestre de bacterias entomopatógenas, así como el control manual de masas de huevos y de bolsas con larvas en desarrollo. El impacto de este insecto afecta valores económicos, ecológicos y sociales.

La palomilla *Paranthrene doli* (Lepidoptera: Sesiidae) ingresó a México en la década de 1980, cuando se importaron enormes cantidades de varetas de *Populus tremuloides* para su utilización en las ciudades. Las infestaciones fueron severas en todo el país, incluyendo el Valle de México. Como consecuencia hubo una reducción de las poblaciones de estos árboles y su abandono como elemento principal de arborización. En la actualidad existen poblaciones moderadas del barrenador, aparentemente bajo control por enemigos naturales nativos.

**Fresnos (*Fraxinus*).** Son árboles que para tener un desarrollo saludable demandan grandes cantidades de agua, factor limitante en muchas de las ciudades en las que se usa como árbol urbano. En la Ciudad de México se utiliza principalmente *Fraxinus udhei* y en menor grado a *F. americana* y a *F. excelsior*. Las plagas de estos árboles son descortezadores, chupadores de savia y barrenadores de la madera.

El descortezador *Hylesinus aztecus* (Coleoptera: Scolytinae) es el principal factor de declinación y muerte de ramas y árboles, debido a que sus infestaciones son crónicas y requieren de varios años para matar a individuos de gran tamaño. En un mismo árbol las generaciones sucesivas van matando gradualmente la porción inmediata inferior de las ramas de la copa y solo infestan el tronco principal al final del proceso. Son insectos secundarios, por lo que al vigorizar los



árboles se logra una recuperación de ellos, aunque es un procedimiento caro y difícil de realizar en la mayoría de los ambientes citadinos. La utilización de insecticidas sistémicos por inyección es una alternativa eficaz pero costosa, lo que reduce su utilización.

La chinche del fresno *Tropidosteptes chapingoensis* (Hemiptera Miridae) es un insecto presente en todo el rango de distribución del árbol y en el Valle de México es especialmente abundante en árboles estresados. Las lesiones causadas por las ninfas y adultos contribuyen a la declinación de la salud y reducen la calidad estética del árbol. Las infestaciones se controlan con aspersiones de insecticidas al follaje o mediante la inyección de insecticidas sistémicos al tronco. En Bogotá, Colombia, esta especie de insecto aparentemente fue introducida desde México y constituyó un factor limitante para el desarrollo de las especies de *Fraxinus* utilizadas en la ciudad.

En árboles en declinación existen infestaciones en troncos y ramas por la termita de madera seca *Incisitermes marginipennis* y por el cerambícido *Placosternus erythropus*, que lesionan la madera y crean riesgo de daño a personas o bienes. La poda sanitaria y la remoción de árboles declinantes es la única opción de manejo que se adopta.

**Encinos (*Quercus*).** Los encinares del Valle de México al sur y oeste de la urbe, son bosques naturales que están en la interfase urbana-bosque y muchos forman parte de las áreas verdes de asentamientos urbanos de alto poder adquisitivo. Estos encinares están sujetos a los gases contaminantes que son arrastrados por los vientos procedentes del noreste del valle, que a su paso por encima de la urbe los llevan hacia el suroeste. Muchos encinares urbanos están afectados por insectos formadores de agallas y chupadores de savia.

Las avispas de la familia Cynipidae hacen agallas en hojas, ramas y ramillas. Algunas especies como *Loxaulus laeta* son de gran importancia en la conformación y salud de los árboles infestados en los que mantienen infestaciones crónicas, algunas por decenas de años, lo que obliga a que el árbol quede pequeño y deforme. Los encinares sujetos a contaminación del aire mantienen una extensa fauna de cinípidos de diferentes formas que generan una gran diversidad de modelos de agallas.

Los insectos chupadores de savia de los encinos son principalmente filoxeras (*Phylloxera*), que producen infestaciones severas que se pueden detectar en los árboles grandes a distancia por el color verde-amarillento de la copa. Las lesiones a las hojas son puntos de entrada de hongos causantes de canchales que agravan el problema.

**Eucaliptos (*Eucalyptus*).** Son árboles que se utilizaron en el Valle de México por más de 100 años y solo hasta la introducción del psílido del eucalipto *Glycaspis brimblecombei* en el año 2000, se realizaron cambios en la política de uso de este género en los ambientes urbanos. Actualmente está prohibido su utilización y solo quedan los individuos plantados antes de esa fecha. Los psílicos *G. brimblecombei* y *Ctenarytaina eucalypti*, originarios de Australia, siguen presentes en el Valle, pero gracias a la introducción de enemigos naturales específicos se ha logrado su reducción a niveles aceptables. Recientemente llegaron a la ciudad dos nuevas especies de insectos de gran importancia económica, la chinche bronceada del eucalipto *Thaumastocoris peregrinus* y la avispa

agalladora *Leptocybe invasa*, que por evidencias de niveles de infestación se supone que llegaron al aeropuerto de la Ciudad de México y de allí se están dispersando a nuevas áreas.

**Cedros (*Cupressus*) y ahuehuetes (*Taxodium*).** La alcalinidad de los suelos de una gran área del Valle de México hace que las coníferas no se desarrollen apropiadamente. Solo los cedros del género *Cupressus* y los ahuehuetes del género *Taxodium* logran crecer en la mayor parte de esta zona, aunque los segundos requieren de mucha agua en su sistema radicular y por ello están confinados a orillas de lagos o donde hubo ríos o arroyos. De los cedros, las especies *Cupressus lusitanica* var. *lindleyi*, *C. arizonica* y *C. sempervirens* son ampliamente utilizados en la ciudad, pero cuando se plantan en sitios con deficiencias de agua y suelo son atacados severamente por los insectos descortezadores *Phloeosinus baumanii* y *P. tacubayae*, convirtiéndose en el principal problema fitosanitario. Su manejo se basa en la vigorización del árbol y en tratamientos mediante inyección de insecticidas sistémicos al tronco.

**Palmas.** Aunque son varias especies de palmas las que se desarrollan en el Valle de México, la más vulnerable a problemas fitosanitarios es la palma canaria *Phoenix canariensis*. En el altiplano mexicano, desde mediados de la década de 1990, ha ocurrido un proceso de colonización de las palmas por un conjunto de organismos letales, debido al movimiento de las especies fitófagas procedente de ambas costas del país, que probablemente será aumentado por los fenómenos de ausencia de heladas severas, cada vez más frecuentes. Los insectos que se están dispersando son la falsa chicharrita *Haplaxius crudus*, vector del fitoplasma que causa el amarillamiento letal del cocotero y el picudo negro de la palma (*Rhynchophorus palmaris* L.), vector del nematodo causante del anillo rojo, ambos de enorme importancia económica. En el caso del amarillamiento letal, ya se tiene la muerte de miles de palmas canarias y dactilíferas en muchas ciudades del Altiplano Mexicano. Un caso de mortalidad recientemente reportado en el poniente de la capital indica que posiblemente sea esta interacción insecto-patógeno la responsable. Para este organismo la única forma de control es mediante el desarrollo de progenies resistentes, lo cual es lento, difícil y caro, por lo que de confirmarse su presencia en la Ciudad de México, se tendrá una contingencia fitosanitaria difícil de manejar. El picudo negro aún no está en el Valle de México, pero sí en ciudades cercanas en las que ha causado daños severos a las pocas palmas que quedan. Para su control se utiliza el trampeo mediante el uso de feromonas.

## Referencias

- CIBRIÁN, T. D.; MÉNDEZ, M. J. T.; CAMPOS, B.; YATES, R.; FLORES, L. J. E. 1995. Insectos Forestales de México/Forest Insects of Mexico. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado de México, México; Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre, SARH, México; Forest Service USDA EUA; Natural Resources, Canada. Pub. 6 COFAN-FAO.
- MEZA AGUILAR, M. A.; MONCADA MAYA, J. O. 2010. Las áreas verdes de la ciudad de México. Un reto actual. La planificación territorial y el urbanismo desde el diálogo y la participación. Actas del XI Coloquio Internacional de Geocrítica, Universidad de Buenos Aires, 2-7 de mayo de 2010.
- OECD (2015). OECD Territorial Reviews: Valle de México, Mexico, OECD Publishing, Paris. DOI: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264245174-en>

- RIVAS TORRES, D. 2005. Planeación, espacios verdes y sustentabilidad en el Distrito Federal. Universidad autónoma Metropolitana. Tesis doctoral. 210 p.
- RUIZ-ANGULO, A.; LÓPEZ-ESPINOZA, E. D. 2015. Estimación de la respuesta térmica de la cuenca lacustre del Valle de México en el siglo XVI: un experimento numérico. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. Volumen 67, núm. 2 p. 215-225

## Mariposas en paisajes urbanizados: caso de estudio en los nodos de biodiversidad de Bogotá región

Juliana Durán Prieto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Subdirección Científica, Jardín Botánico de Bogotá, Avenida Calle 63 No. 68-95. [jduran@jbb.gov.co](mailto:jduran@jbb.gov.co)

---

Las mariposas son uno de los insectos considerados carismáticos cuyo interés de estudio en los ecosistemas urbanos está en aumento por parte de los ecólogos urbanos, pero también por los ciudadanos que reconocen en ellas su valor estético y significado cultural (Keller 1993). Cada vez se incrementa el número de programas de ciencia ciudadana destinados a inventariar y monitorear las mariposas presentes en los paisajes urbanos (Matteson *et al.* 2012; Wei *et al.* 2016).

Por su estrecha relación con las plantas y sensibilidad a los cambios de temperatura, humedad y radiación solar que ocurren en sus hábitats, las mariposas son consideradas excelentes bioindicadoras en paisajes transformados (Brown 1997; Blair y Launer 1997). Dentro de las características que las definen como bioindicadoras están el tener una biología y taxonomía relativamente estable, ser de fácil captura y manipulación, tener tiempos generacionales relativamente cortos y tener especificidad ecológica (Andrade-C 1998).

En los ecosistemas urbanos las mariposas han sido usadas como bioindicadoras ecológicas en procesos de fragmentación relacionados con la pérdida y transformación de hábitats naturales debido a la expansión urbana y a los cambios climáticos asociados con este tipo de desarrollo (Stefanescu *et al.* 2004; Casner *et al.* 2014; Diamond *et al.* 2014; Ramírez-Restrepo y MacGregor-Fors 2017). Además, las mariposas han sido modelo de estudio para evaluar los efectos de la urbanización sobre la calidad de hábitat, debido a la introducción de flora exótica y a la reducción de la diversidad vegetal en las áreas urbanas (Shapiro 2002; Giugliano *et al.* 2004; Hodsden y Hutchinson 2004; Clark *et al.* 2007). Adicionalmente, las mariposas se han empleado como indicadores de diversidad, debido a que su diversidad refleja en parte la diversidad de otros grupos biológicos como las aves, mostrando patrones de respuesta similares con este taxafrente a la urbanización, como una alta abundancia y dominancia de ciertas especies adaptadas a ambientes altamente urbanizados y la exclusión de especies raras y de hábitos especialistas en estas áreas (Blair 2001; Shochat 2007; Ortega-Álvarez y MacGregor-Fors 2009).

Diversas investigaciones han evidenciado que la abundancia, riqueza y diversidad de especies de mariposas disminuye con el aumento de la urbanización (Ramírez-Restrepo y MacGregor-Fors 2017). No obstante, las mariposas responden de manera diferente frente a este factor de disturbio dependiendo de su identidad taxonómica, de las características del paisaje urbano y de la disponibilidad de plantas nutricias, entre otros factores (Hodsden y Hutchinson 2004; Ramírez-Restrepo y MacGregor-Fors 2017). Algunas investigaciones han evidenciado que a pesar de las presiones antrópicas que se generan en las áreas urbanas, las ciudades pueden proveer diversidad de hábitat para especies amenazadas de mariposas y otros taxafrente a sus zonas de distribución (Reeder *et al.* 2015; Tam y Bonebrake 2015; Chowdhury *et al.* 2017).

**Estudios de mariposas en paisajes urbanos en Colombia.** Colombia es considerado el segundo país en el mundo en biodiversidad de especies de mariposas (Andrade 2009; SIB-Colombia 2016), pero su diversidad en las zonas urbanas ha sido poco estudiada (Chacón *et al.* 2013). De los trabajos que se conocen solo algunos han generado listados preliminares de especies a partir de evaluaciones de la composición de sus comunidades en áreas verdes urbanas, principalmente parques y en hábitats periurbanos con un mayor grado de conservación, como los bosques de reserva periurbana (Arango *et al.* 2007; Ramírez-Restrepo *et al.* 2007; Mahecha-Jiménez *et al.* 2011; Marín *et al.* 2015). A nivel regional, en el área metropolitana del Valle de Aburrá y en Bogotá, se han publicado algunas guías de campo que contienen información sobre las mariposas presentes en zonas de protección especial (reservas) (Andrade-C y Amat-G 2000; Vélez *et al.* 2009). Para la ciudad de Medellín y Bogotá, se cuenta además con alguna información generada por parte de la comunidad educativa y por los ciudadanos que han recopilado información biológica y ecológica importante de las mariposas presentes en estas áreas urbanas (Alcaldía de Medellín *et al.* 2013; Abril *et al.* 2015; Caicedo *et al.* 2016).

Para la ciudad de Bogotá, la cual proyecta convertirse en el 2050 en una de las 10 megaciudades a nivel mundial (United Nations *et al.* 2016), se han publicado algunos artículos y libros de revisión taxonómica y sistemática de ciertos grupos de mariposas, en los cuales se consignan algunos registros de las especies presentes en la ciudad (Adam 1986; Pyrcz & Vilorio 2007; Prieto 2011; Le Crom *et al.* 2004; Prieto & Vargas 2016). Adicionalmente se cuenta con alguna información de la riqueza, abundancia y distribución espacial de las especies de mariposas del distrito capital, la cual se encuentra disponible en informes técnicos (Gasca 2006; Andrade 2010), algunas tesis de pregrado (Díaz *et al.* 2003; Loaiza 2014) y otro tipo de publicaciones (Andrade-C y Amat-G 2000; Abril *et al.* 2015; Caicedo *et al.* 2016). No obstante, la mayoría de estos estudios se han realizado solo en ciertas áreas principalmente de borde urbano-rural en la ciudad. Los parques urbanos, jardines y algunos remanentes de ecosistemas naturales como los humedales, han sido poco estudiados.

**Inventario de las mariposas presentes en los nodos de biodiversidad de Bogotá región.** Dentro del marco del Proyecto Nodos de Biodiversidad elaborado por el Jardín Botánico de Bogotá, el Instituto de Investigaciones Biológicas Alexander von Humbolt y la Secretaría Distrital de Ambiente, se realizó un inventario de las mariposas presentes en 8 áreas verdes que fueron priorizadas en 6 localidades de Bogotá y en el Municipio de Villapinzón (Cundinamarca). Estas áreas con diferentes características ambientales e históricas ubicadas en Bogotá Región son: Agroecosistemas de Usme y Parque Ecológico Presa Seca Cantarrana en Usme; Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis en Engativá; Hospital de Nazareth en Sumapaz; Humedal Tibanica en Bosa; Cerros Orientales y Cuenca del Río Fucha en San Cristóbal; Santuario de Flora y Fauna Bosque Las Mercedes en Suba y Páramo de Guacheneque en el municipio de Villapinzón.

Los muestreos de mariposas en estas áreas se realizaron entre Abril y Septiembre de 2016, mediante censos visuales y captura de los individuos con red entomológica entre las 8:00 y 16:00 horas/día.

En este estudio se registró un total de 45 especies de mariposas pertenecientes a cuatro familias: Nymphalidae, Pieridae, Lycaenidae y Hesperidae. La familia que aportó la mayor riqueza en el muestreo general fue Nymphalidae con 23 especies, de las cuales la mayoría son satirinos (tribu pronophilini) propios de los ecosistemas altoandinos suramericanos (bosques y páramos). Un total de 27 especies exclusivas se registraron en Bogotá Región. Las especies *Colias dimera*, *Dione glycera* y *Vanessa virginiensis* fueron las mariposas con más amplia distribución. En cuanto a la riqueza por área de estudio se encontró que las áreas de Cerros Orientales y Hospital de Nazareth presentaron el mayor número de especies de mariposas, a pesar de su menor extensión comparativamente con el tamaño de las restantes áreas visitadas. Se reconoce el valor que probablemente tengan estas áreas para la conservación de las mariposas de la ciudad de Bogotá. Por el contrario, en el Humedal Tibanica y en el Santuario de Flora y Fauna Bosque Las Mercedes, se encontró la menor riqueza de especies de mariposas en el muestreo general, posiblemente por el estado de deterioro ambiental de estas áreas. Se plantea que en el territorio la urbanización como factor modelador del paisaje urbano-regional está afectando la diversidad y distribución de las mariposas en la ciudad de Bogotá.

## Referencias

- ABRIL, S.; PÁEZ, A.; PARODI, P.; PERDOMO, S.; GUEVARA, S.F. 2015. Primer listado de mariposas diurnas encontradas en dos aulas ambientales, ubicadas en la localidad de Usaquén, Bogotá, Colombia. El Astrolabio Revista de Investigación y Ciencia del Gimnasio Campestre 2: 86-97.
- ADAMS, M.J. 1986. Pronophilinae butterflies (Satyridae) of the three Andean Cordilleras of Colombia. Zoological Journal of the Linnean Society 87: 235-320.
- ALCALDÍA DE MEDELLÍN.; PARQUE EXPLORA.; JARDÍN BOTÁNICO DE MEDELLÍN.; INSTITUTO HUMBOLT. 2013. Propuesta para la gestión integral de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en Medellín. 240 p.
- ANDRADE-C, M.G.; AMAT-G, G.; RENJIFO, J.M. 2000. Guía preliminar de insectos de Santafé de Bogotá y sus alrededores. Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente; Alcaldía Mayor; DAMA. Bogotá. 96 p.
- ANDRADE-C, M.G. 1998. Utilización de las mariposas como bioindicadoras del tipo de hábitat y su biodiversidad en Colombia. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias 22 (84): 407-42.
- ANDRADE-C, M.G. 2009. Número de especies de mariposas a nivel Neotropical. Disponible en: <http://sites.google.com/site/mgandradec/numerodesp2>. Fecha de revisión: 10 de Mayo de 2017.
- ANDRADE, G.; 2010. - Proyecto corredor borde norte de Bogotá fase 1, Capítulo 7: Mariposas. Informe técnico. Instituto de Estudios Urbanos, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C. Disponible en <http://www.institutodeestudiosurbanos.info/novedades/item/corredor-borde-norte-bogota-fase-1> Fecha revisión: 05 de febrero de 2017.
- ARANGO-B, L.; MONTES-R.; J.M.; LÓPEZ-P.; D.A.; LÓPEZ-P.; J.O. 2007. Mariposas (Lepidoptera: Papilionoidea, Hesperoidea), escarabajos coprófagos (Coleoptera: Scarabaeinae) y hormigas (Hymenoptera: Formicidae) del ecoparque Alcázares – Arenillo (Manizales, Caldas - Colombia). Boletín Científico - Centro de Museos -Museo de Historia Natural 11: 390 – 409.

- BLAIR, R. B. 2001. Birds and butterflies along urban gradients in two ecoregions of the United States: Is urbanization creating a homogeneous fauna?. En: Lockwood, J.L.; McKinney, M.L. Biotic Homogenization. Kluwer, Norwell (MA). 289 p.
- BLAIR, R.B.; LAUNER, A.E. 1997. Butterfly diversity and human land use: species assemblages along an urban gradient. *Biological Conservation* 80: 113–125.
- BROWN Jr.; K.S. 1997. Diversity, disturbance; sustainable use of Neotropical forests: insects as indicators for conservation monitoring. *Journal of Insect Conservation* 1: 25-42.
- CASNER, K.L.; FORISTER, M.L.; O'BRIEN, J.M.; THORNE, J.; WAETJEN, D.; SHAPIRO, A.M. 2014. Contribution of urban expansion and a changing climate to decline of a butterfly fauna. *Conservation Biology* 28:773–782.
- CAICEDO, J.; SÁCHICA, M.; RODRÍGUEZ-C, A.; PARRA-H.; A. 2016. Polinizadores y planeación: áreas ecológicamente funcionales en el Gran Chicó. Pp 98-103. En: Mejía, M.A. (Ed.). *Naturaleza Urbana*. Instituto de Investigación de Recursos biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia. 208 p.
- CHACÓN DE ULLOA, P.; RAMÍREZ-RESTREPO, L.; RODRÍGUEZ-MONTOYA, M. 2013. Ecología urbana Colombia. Pp. 55-72. En: MacGregor-Fors, I.; Ortega-Alvarez, R. (Eds.). *Ecología urbana experiencias en América Latina*. Instituto de Ecología de México. 130 p.
- CHOWDHURY, S.; HESELBERG, T.; BÖHM, M.; ISLAM, M. R.; AICH, U. Butterfly diversity in a tropical urban habitat (Lepidoptera: Papilionoidea). *Oriental Insects*, DOI: 10.1080/00305316.2017.1314230.
- CLARK, P.J.; J.M. REED.; CHEW, F.S. 2007. Effects of urbanization on butterfly species richness, guild structure; rarity. *Urban Ecosystem* 10: 321–337.
- DIAMOND, S.E.; CAYTON, H.; WEPPRICH, T.; JENKINS, C.N.; DUNN, R.R.; HADDAD, N.M.; RIES, L. 2014. Unexpected phenological responses of butterflies to the interaction of urbanization and geographic temperature. *Ecology* 95: 2613-2621.
- DÍAZ, R. D. 2013. Diseño experimental para la caracterización de aves e insectos asociados a plantas florales estudio de caso: terraza productiva y de investigación en techos verdes: ubicada en la Pontificia Universidad Javeriana – Bogotá- Colombia. Tesis de pregrado Ecología. Universidad Javeriana. Bogotá, 44 p.
- GASCA, H.J. 2006. Inventario preliminar asociado al Parque Entrenubes: una aproximación a su diagnóstico ambiental. Entomofauna. Componente Biofísico. Parque Ecológico Distrital de Montaña Entrenubes. Tomo 1. Corporación Sunahisca. Informe Técnico. Disponible en [http://www.secretariaambiente.gov.co/sda/librería/pdf/ecosistemas/areasprotegidas//en\\_a16.pdf](http://www.secretariaambiente.gov.co/sda/librería/pdf/ecosistemas/areasprotegidas//en_a16.pdf). Fecha de revisión: 05 de Marzo de 2017.
- GIUGLIANO, W.M.; ACCAMANDO, A.K.; MCADAMS, E.J. 2004. Lepidoptera-habitat relationships in urban parks. *Urban Ecosystems* 7: 361–370.
- HOGSDEN, K.L.; HUTCHINSON, T.C. 2004. Butterfly assemblages along a human disturbance gradient in Ontario, Canada. *Canadian Journal of Zoology* 82:739–748.
- KELLERT, S.R. 1993. Values and perceptions of invertebrates. *Conservation Biology* 7:845–855
- LE CROM, J.F.; CONSTANTINO, L.M.; SALAZAR, J.A. 2004. Mariposas de Colombia. Tomo II: Pieridae. CAELEC Ltda, Bogotá. 123 pp.
- LOIZA, S.M. 2014. Diversidad de mariposas diurnas (Lepidoptera: Papilionoidea y Hesperoidea), en diferentes tipos de hábitats del Corredor Ecológico del Borde Norte de Bogotá. Tesis Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales UDCA. Bogotá.



- MAHECHA-JIMÉNEZ, O. J.; DUMAR-RODRÍGUEZ, J.C.; PYRCZ, T. W. 2011. Efecto de la fragmentación del hábitat sobre las comunidades de Lepidoptera de la tribu Pronophilini a lo largo de un gradiente altitudinal en un bosque andino en Bogotá (Colombia) (Lepidoptera: Nymphalidae, Satyrinae). *SHILAP Revista de Lepidopterología* 39: 117-126.
- MARÍN, M. A.; ÁLVAREZ, C.F.; GIRALDO, C.E.; PYRCZ, T.W.; URIBE, S.L.; VILA, R. 2014. Mariposas en un bosque de niebla andino periurbano en el valle de Aburrá, Colombia. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85: 200-208.
- MATTESON, K.C.; TARON, D.J.; MINOR, E.S. 2012. Assessing citizen contributions to butterfly monitoring in two large cities. *Conservation Biology*. 26: 557–564.
- ORTEGA-ÁLVAREZ, Z R.; MACGREGOR-FORS, I. 2009. Living in the big city: effects of urban land-use on bird community structure, diversity; composition. *Landscape Urban Planning* 90:189–195.
- PRIETO, C. 2011. The genus *Micandra* Staudinger (Lepidoptera: Lycaenidae: Theclinae) in Colombia, with the description of a new species from the Sierra Nevada de Santa Marta. *Zootaxa* 3040: 55–68.
- PRIETO, C.; VARGAS, M.A. 2016. Elfin butterflies of the genus *Rhamma* Johnson (Lepidoptera: Lycaenidae: Theclinae): A review of the Colombian species. *Zootaxa* 4093: 323–342.
- PYRCZ, T.; VILORIA, A.L. 2007. Erebiine and pronophiline butterflies of the Serrania del Tama, Venezuela-Colombia border (Lepidoptera: Nymphalidae: Satyrinae). *Tropical Lepidoptera* 15: 18-52.
- RAMÍREZ-RESTREPO, L.; CHACÓN DE ULLOA, P.; CONSTANTINO, L.M. 2007. Diversidad de mariposas diurnas (Lepidoptera: Papilionoidea y Hesperioidea) en Santiago de Cali, Valle del Cauca, Colombia. *Revista Colombiana de Entomología* 33: 54-63.
- RAMÍREZ-RESTREPO, L.; MACGREGOR-FORS, I. 2017. Butterflies in the city: a review of urban diurnal Lepidoptera. *Urban Ecosystems* doi: 10.1007/s11252-016-0519-4.
- REEDER, N.M.M.; BYRNES, R.M.; STOELTING, R.E.; SWAIM, K.E. 2015. An endangered snake thrives in a highly urbanized environment. *Endangered Species Research*. 28: 77-86.
- SIB-COLOMBIA (SISTEMA DE INFORMACIÓN SOBRE BIODIVERSIDAD DE COLOMBIA), 2006. Biodiversidad en Cifras, ¿Cuántas especies tiene Colombia?. Disponible en: <http://www.sibcolombia.net/biodiversidad-en-cifras/> Fecha de revisión: 10 de Mayo de 2017.
- SHAPIRO, A.M. 2002. The Californian urban butterfly fauna is dependent on alien plants. *Diversity and Distributions* 8: 31-40.
- SHOCHAT, E. 2007. Credit or debit? Resource input changes population dynamics of city- slicker birds. *Oikos* 106: 622-626.
- STEFANESCU, C.; HERRANDO, S.; PÁRAMO, F. 2004. Butterfly species richness in the north-west Mediterranean Basin: the role of natural and human-induced factors. *Journal of Biogeography* 31:905–915.
- TAM, K.C.; BONEBRAKE, T. 2015. Butterfly diversity, habitat and vegetation usage in Hong Kong urban parks. *Urban ecosystems* 19 (2), DOI:10.1007/s11252-015-0484-2.
- VÉLEZ, A.; DUQUE, P.; WOLFF, M. 2008. Mariposas del Parque Ecológico Piedras Blancas. Guía de Campo. FondoEditorial Comfenalco Antioquia, Medellín. 204 pp.
- UNITED NATIONS.; DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS & POPULATION DIVISION. 2016. - The World's Cities in 2016 – Data

- BOOKLET (ST/ESA/ SER.A/392). Disponible en: [http://www.un.org/en/development/desa/population/ublications/pdf/urbanization/the\\_worlds\\_cities\\_in\\_2016\\_data\\_booklet.pdf](http://www.un.org/en/development/desa/population/ublications/pdf/urbanization/the_worlds_cities_in_2016_data_booklet.pdf). Fecha de revisión: 10 de Mayo de 2017.
- WANG WEI J.; LEE, B.P.Y-H.; BING WEN L. 2016. Citizen Science and the Urban Ecology of Birds and Butterflies—A Systematic Review. A Systematic Review. PLoS ONE 11(6): e0156425. DOI: 10.1371/journal.pone.0156425.

## Abejas en los ambientes urbanos

Guiomar Nates-Parra<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Biología, Laboratorio de Investigaciones en Abejas, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. [mgnatesp@unal.edu.co](mailto:mgnatesp@unal.edu.co)

Muchas especies de fauna silvestre ha sido desplazadas por la urbanización y ese es uno de los factores de la disminución o desaparición de algunas de ellas. Sin embargo, la urbanización puede brindar sitios de nidificación y ser fuente de alimento para otras especies animales, como por ejemplo las abejas. Ante el panorama general de disminución de especies y poblaciones de abejas, es necesario crear alternativas para su conservación involucrando a los habitantes de grandes y pequeñas urbes en actividades que generen espacios amigables para estos insectos y que permitan conocer más a fondo su comportamiento y su respuesta ante la perturbación de sus hábitats.

En varias regiones del mundo se están realizando trabajos con este enfoque instalando abejas en zonas urbanas o modificando jardines mediante la introducción de especies vegetales atractivas para polinizadores. Podemos revisar algunos ejemplos: En Norteamérica, investigadores de la Universidad de California estudian las abejas urbanas de algunas ciudades de California (EEUU), y de Costa Rica y su relación con la vegetación local; mostraron que los pequeños jardines de las residencias urbanas en el norte de California, son lugares propicios para el anidamiento de especies de abejas nativas (Frankie *et al.* 2002; 2009) y que es posible incrementar la diversidad de polinizadores abejas plantando especies vegetales atractivas para ellas (Pawelek *et al.* 2009); En la Universidad de York, en Toronto (Canadá), se desarrolla el proyecto Wild Bee Diversity in the City (Toronto's Wild Bees) cuyo objetivo es recolectar información acerca de la diversidad de abejas, sitios de nidificación y factores que afectan las poblaciones de abejas en áreas urbanas, e indagar probabilidades de ocupación de nidos trampa (Maclvor *et al.* 2013 Maclvor y Packe 2015, 2016) y así poder proponer diseños arquitectónicos que reconcilien las necesidades de las abejas silvestres con las de los seres humanos en paisajes urbanos. En Europa la lista roja de especies de abejas (Nieto *et al.* 2014) muestra que el 9 % de todas las abejas (2000) están amenazadas. El programa Life + Biodiversity URBANBEE, iniciado en Francia, (2010-2015) promueve la generación de espacios verdes manejados ecológicamente, enfocados a la conservación de las abejas silvestres de las ciudades. en las zonas urbanas de algunas ciudades europeas (Vaissiere 2014). En el Reino Unido, varias universidades se unieron para desarrollar el proyecto de Abejas urbanas, programado dentro de la Iniciativa de polinizadores <https://www.youtube.com/watch?v=yKaz8JOs0FI>.

Estos y otros autores (Geslin *et al.* 2016) resaltan la importancia de conservar y manejar los parques y otras áreas verdes de la ciudad para promover la conservación de las abejas silvestres y el servicio de polinización en ecosistemas urbanos.

Entre los países suramericanos Brasil ha realizado varios trabajos enfocados a conocer las abejas silvestres de las ciudades, sus comportamientos y la importancia para las ciudades: Cure (1983) estudió las abejas en parques de la ciudad de Curitiba (Paraná); Camargo y Mazucato (1986) las abejas de Ribeirão Preto (Sao Paulo); Noll *et al.* (1993) encontraron 133 especies de abejas en el campus de la Universidad de São Paulo; Castro y Prezoto (2009) destacaron la

importancia de los parques urbanos en el establecimiento de nidos de abejas sin aguijón. En Venezuela Moreno (1995) determinó la importancia de los parámetros de nidificación de *Tetragonisca angustula* Latreille, 1811 en Guanare.

Para Colombia, tal vez una de las primeras referencias sobre especies de abejas nativas nidificando en los alrededores de áreas urbanas es la de los hermanos Osorno, cuando publicaron notas sobre la biología de los abejorros del género *Bombus* (Osorno y Osorno 1938); hoy en día esas áreas son prósperos barrios. Nates-Parra *et al.* (2006a) realizaron un inventario y revisaron los hábitos de nidificación de abejas sin aguijón en cementerios de ciudades de climas cálidos en Colombia. Estos autores verificaron que tales áreas albergan mayor densidad de nidos de meliponinos cuando se compara con otras partes de las ciudades estudiadas. Bogotá, Cali, Medellín y Villavicencio son algunas de las ciudades donde se han iniciado estudios relativos al conocimiento de las abejas urbanas, nuevas especies, hábitos de nidificación y forrajeo, recursos polínicos, horarios de actividad que permiten resaltar la importancia que tienen las construcciones urbanas en la vida de muchas especies de abejas, pero a la vez muestran que pasan bastante desapercibidas y que no existen en los planes de reorganización de las urbes (Vélez y Baquero 2002; Baquero *et al.* 2003; González 2006; Pinilla *et al.* 2015). Nates-Parra *et al.* (2006b) encontraron 40 especies de abejas silvestres, la mayoría solitarias, en Bogotá; Vélez-Ruiz *et al.* (2013) analizaron aspectos de la ecología urbana de *T. angustula* en la ciudad de Medellín (Antioquia, Colombia). Nates-Parra y Rosso-Londoño (2013), revisaron las especies de abejas sin aguijón (Meliponini) que nidifican en las ciudades y determinaron los factores que influyen en su establecimiento o no en centros urbanos. Recientemente en varios campus universitarios se iniciaron estudios sobre la diversidad, distribución y patrones de nidificación de abejas silvestres en sus diferentes instalaciones (Amaya y Molina 2013; Martínez-López *et al.* 2013; Rodríguez *et al.* 2013). La conclusión general a la que se puede llegar revisando estos y otros trabajos es que las áreas urbanas son importantes en la manutención de la diversidad de abejas silvestres puesto que ofrecen sitios de nidificación representados por construcciones urbanas y cavidades artificiales; además las especies vegetales propias de los jardines, separadores y parques, son un buen suministro de alimento para estas abejas.

Por supuesto la diversidad y riqueza de abejas urbanas está directamente relacionada con la localización de los diferentes centros urbanos: en climas cálidos es muy frecuente registrar abejas solitarias de las familias Megachilidae, Halictidae y tribus de Apidae como *Centris*, *Xylocopa* y por supuesto, abejas sin aguijón como *Nannotrigona*, *T. angustula*, especies de los géneros *Trigona* y *Partamona*, y otras que por su pequeño tamaño pasan desapercibidas como por ejemplo el género *Plebeia*. Por otro lado, en localidades de climas fríos, las abejas sin aguijón disminuyen o desaparecen para dar paso a los abejorros de los géneros *Bombus* y *Thygater*, así como también abejas de la tribu Augochlorini (*Augochlora* spp.) y especies de los géneros *Megachile* y *Colletes*, entre otros.

Espacios como los Jardines Botánicos y los parques de las ciudades son lugares propicios para inducir al conocimiento de los polinizadores urbanos y en particular las abejas. A través de actividades ofrecidas a la comunidad y procesos de ciencia ciudadana es posible aprender a reconocer especies de la fauna urbana y su papel como polinizadores de plantas silvestres y cultivadas. En el Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis se está llevando a cabo un

interesante programa para conocer las abejas habitantes del Jardín; hasta el momento se han encontrado 15 especies de abejas y contabilizado aproximadamente 700 nidos (Rodríguez *et al.* en preparación). Igualmente en el área comprendida por El Gran Chicó (norte de Bogotá), se aprovechó el interés de los habitantes de la zona para desarrollar un proceso de ciencia ciudadana conducente a conocer las especies de animales polinizadores; en ese sector se encontraron 10 especies de abejas, relacionadas con varias de las especies vegetales presentes en los parques y jardines de la zona (Caicedo *et al.* 2016). Las abejas urbanas están sometidas a diferentes clases de disturbios propios de la actividad antrópica, y a eso se tienen que adaptar. En trabajo realizado en el Parque Nacional de Bogotá, se pudo observar como *Thygather aethiops*, reinició sus actividades después de un periodo de disturbio fuerte sobre sus nidos (Pinilla *et al.* 2016).

En general las áreas urbanas de Colombia albergan una gran riqueza faunística que hasta ahora se está empezando a conocer y para lo cual Chacón de Ulloa *et al.* (2013) proponen impulsar el estudio de los ecosistemas urbanos con el objetivo de organizar áreas urbanas amigables con el ambiente de nuestras ciudades y pueblos.

El establecimiento de jardines muy diversos y abundantes en los antejardines de las casas y los edificios, en los separadores de avenidas podría ser algunas de las acciones requeridas para proporcionar ambientes amigables para estos polinizadores.

Para éste fin es importante conocer cuáles son los recursos vegetales utilizados por las abejas. *Astroemeriasp.* (astromelia-Amarillydadae), *Agapanthus sp.* (agapanto-Amarillydadae), *Taraxacum officinale* (diente de león-Asteraceae), *Thumbergia alata* (ojo de poeta-Acanthaceae), *Senna viarum* (alcaparro-Fabaceae) *Crocsmia aurea* (lirio amarillo) (Iridaceae), *Jasminum sp.* (jazmín amarillo) (Oleaceae), *Anthirrhinum majus* (boca de dragón) (Scrophulariaceae), *Ulex europaeus* (Fabaceae), *Solanum laxum* (Solanaceae) son algunas especies vegetales visitadas por las abejas urbanas (Nates-Parra *et al.* 2006b, Rodríguez *et al.* en preparación, Pinilla *et al.* 2016)). Las abejas solitarias nidifican en el suelo, en muros de tierra o e tallos tanto de plantas herbáceas como leñosas, por esto es necesario tener en cuenta estos requerimientos con el fin de proporcionar a los insectos un ambiente apropiado.

Conocer los ciclos de vida de las diferentes especies de abejas urbanas, las plantas preferidas para obtener recursos alimenticios, sitios de nidificación, dormitorios, áreas de agrupamiento de machos (leks), son los retos que se deberán asumir para mantener una población estable de polinizadores-abejas en las ciudades. Por otro lado, el grado de sensibilidad que las abejas presentan ante la modificación de los ambientes o la contaminación, las hacen ideales como bioindicadores ecológicos y ambientales (Melendez-Ramirez *et al.* 2015). Sin embargo, en Colombia es un tema poco explorado; ciudades como Bogotá y Medellín podrían utilizarlas como herramienta efectiva para hacer una valoración rápida de la contaminación atmosférica.

## Referencias

AMAYA, A.P.; MOLINA, J. 2013. Diversidad y patrones de nidificación de abejas sin aguijón (Apidae: Meliponinae) en la Universidad del Quindío. Resúmenes IX Coloquio de insectos sociales

- IUSSI Sección Bolivariana. p 53. Cali, Colombia. Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle 14 (2) Suplemento: 1-69.
- BAQUERO, P.; VÉLEZ, D.; RODRÍGUEZ, A.; PARRA, A.; QUIJANO, C.; MORA, J.; NATES-PARRA, G. 2003. Observaciones preliminares de los aspectos de forrajeo y nidificación en *Thygater aethiops* Smith (Hymenoptera: Apidae) en el área urbana de Bogotá. En: XX Congreso Sociedad Colombiana de Entomología. Sociedad Colombiana de Entomología. Cali, Colombia 10.
- CAICEDO, J.; SÁCHICA, M.; RODRÍGUEZ-C. A.; PARRA-H.; A. 2016. Polinizadores y planeación: Áreas ecológicamente funcionales en el Gran Chicó. Pp 98-103. En: Mejía M. A. (ed.). Naturaleza Urbana Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D. C.; Colombia. Pp 208.
- CAMARGO, J.M.F.; MAZUCATO, M. 1986. Inventario da apifauna apicola de Ribeirao Preto, S.P. Brasil. Dusenía 4(2): 55-87.
- CASTRO, L.C.; PREZOTO, F.; 2009. Ninhos de abelhas sem ferrão em praças urbanas. Mensagem Doce:104. Noviembre de Citado en marzo 10 de 2014. Disponible en: <http://www.apacame.org.br/mensagemdoce/104/msg104.htm>
- CHACÓN DE ULLOA P, RAMÍREZ-RESTREPO L, RODRÍGUEZ-MONTOYA M. 2013. Ecología urbana-Colombia. Pag 55-72. En: I. MacGregor-Fors y R. Ortega-Alvarez (eds.). Ecología urbana experiencias en América Latina. Instituto de Ecología de México. 130 p.
- CURE JR. 1983. Estudo ecológico da comunidade de abelhas silvestres (Hymenoptera: Apoidea) do parque de cidade, comparado ao de outras áreas de Curitiba, Paraná. (Tesis de Maestría), Universidade Federal do Paraná. Curitiba. Brasil. 1983 p.86.
- FRANKIE F, THORP R, SCHINDLER M, ERTTER B, PRZYBYLSKI M. 2002. Bees in Berkeley?. Fremontia 30(3-4): 50-58.
- FRANKIE GW, THORP RW, PAWELEK JC, HERNANDEZ J, COVILLE R. 2009. Urban bee diversity in a small residential garden in northern California. J Hymen Res. 18(2): 368-379.
- GESLIN B.; LE FÉON V, KUHLMANN M, VAISSIÈRE BE, DAJOZ I 2016: The bee fauna of large parks in downtown Paris, France, Annales de la Société entomologique de France (N.S.) <http://dx.doi.org/10.1080/00379271.2016.1146632>
- GONZÁLEZ VH. 2006. Dos especies nuevas de abejas (Hymenoptera) de la ciudad de Bogotá (Colombia). Rev Colomb Entomol. 32(1): 93-96.
- MACIVOR, JS.; CABRAL, JM.; PACKER, L. 2013. Pollen specialization by solitary bees in an urban landscape. Urban Ecosys. 17(1): 139-147. Doi: 10.1007/s11252-013-0321-4.
- MACIVOR, JS.; PACKER, L. 2015. 'Bee Hotels' as Tools for Native Pollinator Conservation: A Premature Verdict? PLoS ONE 10(3): e0122126. doi:10.1371/journal.pone.0122126
- MACIVOR, JS.; PACKER, L. 2016. The Bees among Us: Modelling Occupancy of Solitary Bees. PLoS ONE 11(12): e0164764. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0164764>
- MARTÍNEZ LÓPEZ, S.; SOTO MEDINA, E.A.; OTERO OSPINA, J.T. 2013. Distribución espacial de los nidos de *Nannotrigona mellaria* (Apidae: Meliponini) en la Universidad del Valle. Resúmenes IX Coloquio de insectos sociales IUSSI Sección Bolivariana. p 36. Cali, Colombia. Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle 14(2) Suplemento: 1-69
- MORENO, F.1995. Parámetros biométricos en colonias de abejas criolla sin aguijón *Tetragonisca angustula* en construcciones civiles urbanas de la ciudad de Guanare (Portuguesa, Venezuela). I Reunión Sección Bolivariana de la Unión Internacional para el estudio de los Insectos Sociales IUSSI. Universidad del Valle, Cali, Colombia. 19-20.

- NATES-PARRA, G.; RODRÍGUEZ, A.; VÉLEZ, E. D. 2006a. Abejas sin aguijón (Hymenoptera: Apidae: Meliponini) en cementerios de la Cordillera Oriental de Colombia. *Acta Biol Colomb.* 11(1): 25–35.
- NATES-PARRA, G.; PARRA, A.; RODRÍGUEZ, A.; BAQUERO, P.; VÉLEZ, E.D. 2006b. Abejas silvestres (Hymenoptera: Apoidea) en ecosistemas urbanos: Estudio en la ciudad de Bogotá y sus alrededores. *Rev Colomb Entomol.* 32(1): 77-84.
- NATES-PARRA, G.; ROSSO-LONDOÑO, J. 2013. Diversidad de abejas sin aguijón (Hymenoptera: Meliponini) utilizadas en meliponicultura en Colombia. *Acta Biol Colomb.*; 18(3): 415-426.
- NIETO, A.; ROBERTS, S.P.M.; KEMP, J.; RASMONT, P.; KUHLMANN, M.; GARCÍA CRIADO, M.; BIESMEIJER, J.C.; BOGUSCH, P.; DATHE, H.H.; DE LA RÚA, P.; DE MEULEMEESTER, T.; DEHON, M.; DEWULF, A.; ORTIZ-SÁNCHEZ, F.J.; LHOMME, P.; PAULY, A.; POTTS, S.G.; PRAZ, C.; QUARANTA, M.; RADCHENKO, V.G.; SCHEUCHL, E.; SMIT, J.; STRAKA, J.; TERZO, M.; TOMOZII, B.; WINDOW, J.; MICHEZ, D. 2014. European Red List of bees. Luxembourg: Publication Office of the European Union
- NOLL, F.R.N.; BEGO, L.R.; IMPERATRIZ-FONSECA, V.L.1993. As abelhas em áreas urbanas: um estudo no campus da Universidade de São Paulo. En: Pirani JR, Cortosassi Laurino M. Flores e abelhas em São Paulo. Editora da Universidade de São Paulo. FAPESP. 31-42.
- OSORNO, E, OSORNO, H.1938 Notas biológicas sobre algunas especies de *Bombus* de los alrededores de Bogotá, Colombia, Sur América. *Rev Entomol.* 9(1/2): 32-39.
- PAWELEK, J.; FRANKIE, G.W.; THORP, R.W.; PRZYBYLSKI, M. 2009. Modification of a community garden to attract native bee pollinators in urban San Luis Obispo, California. Consultado febrero 15 2014. *Cities and the Environment.* 2(1): 7:21 <http://digitalcommons.lmu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1033&context=cate>
- PINILLA-GALLEGO, M.S.; NIETO-FERNÁNDEZ, V.; NATES-PARRA, G.2016. Recurso polínico y ciclo estacional de *Thygater aethiops* (Hymenoptera: Apidae) en un ambiente urbano (Bogotá-Colombia). *Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. Vol. 64 (3): 1247-1257.*
- RODRÍGUEZ, M.; VÁSQUEZ, E.; CHACÓN DE ULLOA, P.2013. Abejas sin aguijón en el Campus de la Universidad del Valle p 44. Cali, Colombia. *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle* 14(2) Suplemento: 1-69
- RODRÍGUEZ, A.GÓMEZ, W.;TRIANA, H.D. 2016. Las abejas polinizadoras del Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis. Serie Relación Planta Organismo No. 1. JardínBotánico de Bogotá José Celestino Mutis. Bogotá D.C.; Colombia. En Prensa.
- VAISSIERE, B.E.; MOURET, H.; BRET, JP.; BUNA, G.; BELAËN, F.; LKUHLMAN, M. 2014. Helping Wild Bees and Nature Find a Home in the City – Ecological Guidelines for Green Space Management in Urban and Peri-urban Areas *ARTHROPOLOGIA, INRA PACA.* (1st ed.), pp 128
- VÉLEZ, E.D.; BAQUERO, P. 2002. Observaciones preliminares del comportamiento de forrajeo de *Thygater aethiops* sobre *Abelia grandiflora* en el jardín botánico "José Celestino Mutis". Resumen I Encuentro Colombiano Sobre Abejas Silvestres, Bogotá, Colombia. 2002.
- VÉLEZ-RUIZ, R.; GONZÁLEZ, V.H.; ENGEL, M.S. 2013. Observations on the urban ecology of the Neotropical stingless bee *Tetragonisca angustula* (Hymenoptera: Apidae: Meliponini). *J Melitt.* 15: 1–8.



## **Simposio 5.**

# **Modelos de simulación aplicados al estudio de insectos**

---

**Coordinación: Alexander Bustos R.**  
Jardín Botánico José Celestino Mutis

### **Participantes:**

Diego F. Rincón, Ph. D.  
Corpoica

Diana Erazo, cDr.  
Universidad de los Andes, Bogotá.

Alexander Bustos R.; Ph.D  
Jardín Botánico José Celestino Mutis.

## Simposio

### Modelos de simulación aplicados al estudio de insectos

**Coordinador: Alexander Bustos R.**

Ph.D. Jardín Botánico José Celestino Mutis, Calle 63 # 68 – 95, [hbustos@jbb.gov.co](mailto:hbustos@jbb.gov.co)

La complejidad de los sistemas biológicos y la gran cantidad de información generada por las investigaciones en estos sistemas, hace difícil realizar análisis integrales, teniendo en cuenta todas las variables y comportamientos observados en la naturaleza. Los modelos de simulación ayudan a estudiar y entender las relaciones entre las variables y el sistema, al igual que a identificar las variables o comportamientos que caracterizan los sistemas de estudio, con el fin de soportar, evaluar o desarrollar teorías o decisiones de manejo.

Los modelos de simulación han sido una herramienta de estudio usada desde hace varias décadas en diferentes disciplinas como las ciencias sociales y las ingenierías, con un fuerte soporte de las técnicas desarrolladas en las ciencias de la computación. En las ciencias biológicas, y en especial para el estudio de insectos se han usado para estudiar teorías ecológicas o evolutivas, y para estudiar temas aplicados como el caso de las plagas en los cultivos y el control biológico en estos sistemas complejos.

Existen diferentes aproximaciones de modelamiento para el estudio de insectos que ofrecen ventajas y desventajas particulares. Algunos trabajos han reportado casos exitosos de análisis de sistemas de control biológico de plagas modelando poblaciones de individuos por medio de ecuaciones discretas en agrosistemas como la Yuca, el Café y el algodón (Rodríguez *et al.*; 2011; Gutiérrez *et al.* 1993, Gutiérrez *et al.* 2006). En este caso las tasas vitales de las poblaciones y sus parámetros promedio son usados como insumo para simular las características de los individuos en condiciones específicas. Sin embargo, los componentes estocásticos de estos modelos no suelen ser parte de la estructura fundamental de la modelación y por tanto la variabilidad de las simulaciones no es alta o incluso no varía al realizar diferentes corridas del modelo.

Otras aproximaciones han desarrollado modelos basados en individuos en donde es posible crear “individuos virtuales” en donde cada miembro de la población es un ente único y tiene características particulares que son extraídas de parámetros provenientes de estudios de biología de poblaciones de la especie de estudio. En este enfoque es posible modelar el comportamiento de la especie y de cada individuo de manera explícita incorporando además la variabilidad natural que se presenta en las poblaciones. De esta manera cada corrida del modelo puede arrojar diferentes resultados debidos a la variabilidad propia de las poblaciones y a las interacciones que entre individuos se presenten y afecten o no su comportamiento. Una de las aplicaciones que más ha tenido éxito en este tipo de enfoque es el de modelos que estudian temas de distribución espacial y comportamientos de dispersión de individuos en sus temas de estudio (Rincon *et al.* 2015).

El objetivo de este simposio es generar un espacio de discusión sobre la aplicación y retos del desarrollo y uso de modelos de simulación en diferentes sistemas de estudio con insectos en el contexto nacional, de la mano de los expertos y participantes del simposio.

### Referencias

- GUTIÉRREZ, A. P.; ADAMCZYK JR. J.; PONSARD S.; ELLIS C.K. 2006. Physiologically based demographics of Bt cotton-pest interactions. II. Temporal refuges, natural enemy interactions. *Ecological modeling*. 191: 360 – 382.
- GUTIÉRREZ, A. P.; NEUENSCHWANDER P.; VANALPHEN J. J. M.. 1993. Factors affecting biological control of Cassava Mealybug by exotic parasitoids: A ratio-dependent supply-demand driven model. *Journal of applied ecology* 30(4): 706-721.
- RINCON, D. F.; C. W. HOY; L. CANAS. 2015. Generating within-plant spatial distributions of an insect herbivore based on aggregation patterns and per-node infestation probabilities. *Environmental Entomology* 144: 194-209.
- RODRÍGUEZ D.; CURE J. R.; COTES J.M.; GUTIÉRREZ A.P.; CANTOR F. 2011. A coffee agroecosystem model: I. Growth and development of the coffee plant. *Ecological modeling* 222: 3626 – 3639.

## Modelos ecológicos y la transición entre escalas espaciales

Diego F. Rincón<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). Centro de Investigación Tibaitatá. Km 14 vía Bogotá-Mosquera, Mosquera (Cundinamarca), Colombia

---

**Resumen.** Muchos procesos ecológicos son estudiados y cuantificados a través de experimentos de laboratorio a escalas de observación pequeñas, para luego aplicar los resultados en modelos de sistemas naturales a escalas de observación mucho mayores. Sin embargo, las dinámicas de las poblaciones y los procesos que las rigen dependen de la escala de observación, por lo que la transición de escala con frecuencia limita la aplicabilidad de los modelos ecológicos. El objetivo de la presente revisión es examinar el problema de la transición de escala en la ecología, y presentar y discutir algunos de los métodos más aceptados para añadir heterogeneidad a los modelos cuando se incrementa la escala de observación. Se discute el caso de la transición de escala en modelos de respuesta funcional de depredadores. Se presenta un modelo que incorpora a la respuesta funcional de laboratorio como sub-modelo, y las distribuciones espaciales de depredadores y presas dentro del dosel de las plantas en las que ocurre la interacción. Usando el modelo, se concluye que la magnitud de las tasas de depredación y el tipo de respuesta funcional están modulados por: (1) el grado de alineamiento entre las distribuciones de depredadores y presas, y (2) el comportamiento de forrajeo del depredador, especialmente cuando la densidad de las presas es baja. Esta metodología es aplicable a sistemas en los que depredadores activos se alimenten de presas inmóviles o de movimiento reducido.

**Abstract.** Many ecological processes are studied and quantified through small-scale laboratory experiments, from which results are then applied to models of natural systems at much larger scales of observation. However, population dynamics and the processes that govern them are scale-dependent, which makes scale transition a significant limitation for the applicability of ecological models. The aim of this review is to examine the problem of scale transition in ecology; to present and discuss some of the most accepted methods to add heterogeneity to models when the scale of observation is increased. I discuss the case of scale transition in predator functional response models. I present a model that incorporates a functional response estimated in the laboratory as a sub-model; the spatial distributions of predators and prey within the plant canopy where they coexist. Using the model, I conclude that the magnitude of predation rates and the type of functional response are modulated by (1) the degree of alignment between predator and prey distributions; (2) predator foraging behavior, particularly when prey population density is relatively low. The experimental and modeling techniques I present could be applied to other systems in which active predators prey upon sessile or slow-moving species.

**Palabras clave.** *Bemisia tabaci*. *Delphastus cataliane*. Respuesta funcional. Heterogeneidad espacial. Modelos depredador-presa. Tomate.

## Introducción

Los modelos ecológicos son usados para comprender y generar predicciones sobre de ecosistemas. Estas predicciones son usadas frecuentemente para orientar el manejo de sistemas agrícolas, tales como la aplicación de métodos de control de insectos plaga. Sin embargo, muchos modelos son diseñados y parametrizados a partir de experimentos de laboratorio a pequeña escala, y luego usados para modelar dinámicas de poblaciones o comunidades de sistemas naturales a escalas significativamente mayores. Las transiciones entre escalas espaciales y temporales con frecuencia conllevan a sesgos de diferente naturaleza y limitan la aplicabilidad de los modelos ecológicos (O'Neil 1990, Englund y Leonardsson 2008). Por este motivo, la comprensión de los mecanismos que hacen los procesos ecológicos y los experimentos controlados dependientes de la escala es de gran importancia para el avance de la ecología como ciencia cuantitativa.

El problema de la transición entre escalas en ecología ha sido ampliamente reconocido con anterioridad (Ives *et al.* 1993, He *et al.* 1994, Englund y Leonardsson 2008). Una de las fuentes de variación más importantes entre escalas es la reducida heterogeneidad de las escalas pequeñas. Una manera tentativa de extrapolar funciones estimadas en el laboratorio es a través del uso de los promedios de las variables explicativas para estimar las variables de interés a escalas más amplias. Sin embargo, dado que la mayoría de los procesos ecológicos son no-lineales con respecto a las variables explicativas, las estimaciones derivadas de promedios serán muy diferentes de aquellas estimadas en ambientes homogéneos (i.e. de variables explicativas estimadas sin varianza). Este problema se conoce como “error de agregación” (O'Neill y Rust 1979), o “la falacia del promedio” (Welsh *et al.* 1988).

El objetivo de la presente revisión es examinar el problema de la transición entre escalas para la aplicación de los modelos ecológicos. La mayor parte de la revisión se enfocará en modelos de respuesta funcional de depredadores, pero las conclusiones generales pueden ser homologadas para varios procesos ecológicos. Primero, ilustraré el problema de la transición entre escalas con algunos ejemplos. Luego se revisarán de manera sucinta los métodos más aceptados para incluir la heterogeneidad añadida por el incremento de la escala de observación. Finalmente, se presenta el caso de un sistema depredador-presa en el que los métodos desarrollados hasta el momento para llevar a cabo una transición de escala resultan inadecuados. El sistema consiste en la moscablanca de las hojas plateadas (MBH), *Bemisia tabaci* (Gennadius) biotype B (Hemiptera: Aleyrodidae) (= *Bemisia argentifolii*; = group “Middle East-Asia Minor 1”) (De Barro *et al.* 2011) y el depredador *Delphastus catalinae* (Horn) (Coleoptera: Coccinellidae) cohabitando plantas de tomate. Se presentan las particularidades de este sistema y los métodos desarrollados para la transición de escala de la respuesta funcional de laboratorio a plantas de tomate completas.

### La transición entre escalas: el caso de los modelos depredador-presa

La orientación para la selección de patógenos, depredadores y parasitoides, así como la planificación de su uso en programas de control de plagas han sido unas de las aplicaciones más comunes de los modelos ecológicos (Berryman 1999). Sin embargo, el cálculo de las tasas de

consumo de los enemigos naturales con frecuencia se lleva a cabo a través de experimentos de laboratorio en donde se ofrecen diferentes cantidades de presa a depredadores o parasitoides confinados en arenas experimentales. Estos resultados luego son extrapolados al campo, donde con frecuencia las tasas de consumo son muy inferiores, y los enemigos naturales responden de manera muy diferente al cambio en las densidades de presas.

En un estudio comparativo, Munyaneza y Obrycki (1997) estudiaron la respuesta funcional de *Coleomegilla maculata* (Degeer) (Coleoptera: Coccinellidae) a los huevos de *Leptinotarsa decemlineata* (Say) (Coleoptera: Chrysomelidae) en laboratorio, invernadero y campo. Se encontró una respuesta funcional tipo II en el laboratorio, invernadero y campo. Sin embargo, las tasas de consumo promedio fueron mucho mayores en el laboratorio y con relación al campo y al invernadero. O'Neil (1997) llegó a conclusiones similares evaluando la respuesta funcional de *Podisus mavuliventris* (Say) (Heteroptera: Pentatomidae) atacando larvas de tercer estadio de *L. decemlineata* en el laboratorio y en campo. También encontró poca correspondencia entre los parámetros de respuesta funcional medidos en laboratorio y campo. Según O'Neil (1997), la razón de tales diferencias en la magnitud de las tasas de depredación en campo y laboratorio es la densidad de presas "artificialmente alta" ofrecida en experimentos de laboratorio.

No solamente las magnitudes en las tasas de depredación se ven afectadas con la transición entre escalas. En un estudio experimental, Cordoleani *et al.* (2013) comparó la respuesta funcional local y general de fitoplancton y zooplancton interactuando en una columna de agua. Los autores encontraron que el modelo de respuesta funcional local (i.e. dentro de parches) es de tipo II (asintótico), y la magnitud de sus parámetros se asemeja al encontrado en experimentos de laboratorio. Sin embargo, al analizar la respuesta funcional de la columna de agua completa, Cordoleani *et al.* (2013) encontraron que la respuesta funcional es del tipo III (i.e. sigmoidal), no tipo II, como se observó en laboratorio y, a escala local de parche dentro la columna de agua. Los autores atribuyen el cambio en el tipo de respuesta funcional al cambio de distribución de los depredadores (consumidores) en relación con el incremento en el número de presas (recurso) disponible.

En resumen, tres conclusiones generales surgen de los ejemplos dados anteriormente. (1) La forma general de la curva (tipo) de respuesta funcional puede variar en condiciones de campo y de laboratorio, (2) la magnitud de las tasas de depredación observadas en laboratorio son superiores en comparación con las observadas en el campo y 3) surgen varios patrones de comportamiento bajo condiciones de campo que no se observan en los bioensayos de respuesta funcional de laboratorio clásicos.

### **Métodos para la transición entre escalas**

La extrapolación de los resultados obtenidos a escalas pequeñas requiere una metodología para medir cómo cambian los patrones de heterogeneidad con la escala (He *et al.* 1994). El error en la extrapolación ha sido reconocido desde hace mucho tiempo, y se han incorporado en los modelos varios intentos de combinar observaciones a pequeña escala en el laboratorio con medidas de heterogeneidad en el campo. La mayoría de estos modelos se basan en el supuesto de que las observaciones de laboratorio pueden utilizarse para aproximar parámetros a escala local, y que las transiciones de escala podrían lograrse mediante la incorporación de descripciones de la distribución de las poblaciones entre parches y los respectivos patrones de movimiento.

En el caso de las respuestas funcionales, los enfoques más comunes definen la distribución de las presas y el comportamiento entre parches de los depredadores en términos de distribuciones de probabilidades independientes y condicionales, respectivamente (Bailey *et al.* 1962, Hassell 1980, Nachman 2006). Otros incorporan heterogeneidad utilizando expresiones de varianza espacial en la densidad de presas y covarianza entre densidades de predadores y presas (Englund y Leonardsson 2008). Los enfoques basados en modelos de individuos, más sofisticados, estiman las respuestas funcionales en entornos heterogéneos basados en observaciones de las reglas de comportamiento individual de los depredadores (o parasitoides) dentro y entre los parches de las presas, pero sin incluir medidas de laboratorio de las tasas de depredación (van Roermund *et al.* 1997, Hemerik y Yano 2011). En la mayoría de los enfoques descritos anteriormente, el ambiente modelado es bidimensional, donde los parches de presa son equidistantes entre sí, y el número de presas en parches, así como la probabilidad de encuentro entre depredadores y presas, es independiente de su ubicación.

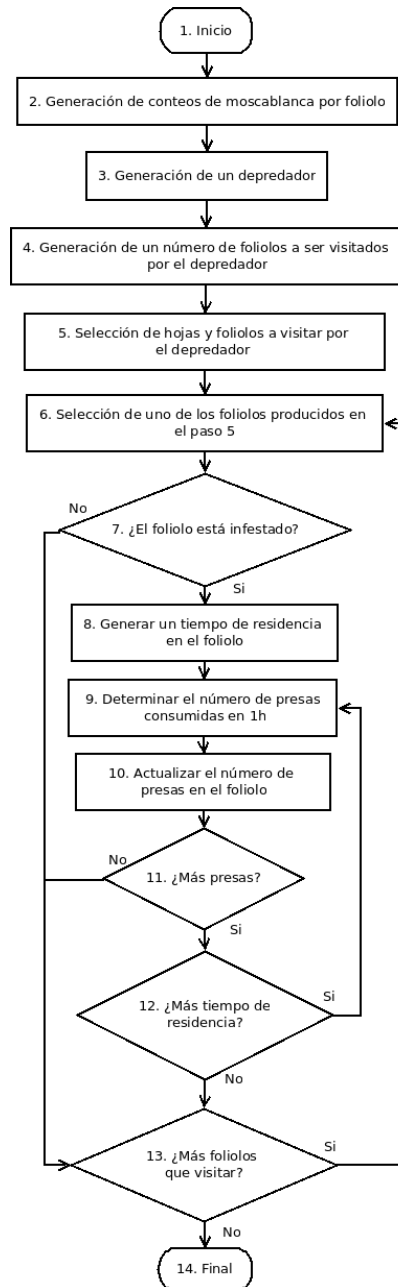
#### **Estudio de caso: la moscablanca y el depredador *Delphastus catalinae* cohabitando plantas de tomate**

La mayoría de las interacciones depredador-presa de especies de insectos ocurren dentro del dosel las plantas. La alta complejidad estructural del dosel vegetal y las diferencias en propiedades físicas y químicas entre las hojas favorecen distribuciones no aleatorias de parches de insectos herbívoros (Raupp y Denno 1983). De igual manera, muchos depredadores de insectos buscan más intensamente dentro de ciertas regiones de las plantas, lo que resulta en distribuciones desiguales de probabilidades de encuentro entre de las hojas de una misma planta (Bond 1983, Hodek *et al.* 2012). Se han reportado patrones de depredación tan desiguales, que estos resultan afectando las tasas de crecimiento poblacional de las presas, ya sea con la disminución de las tasas totales de depredación dentro de las plantas, o aumentando el riesgo de depredación de los individuos con mayor potencial reproductivo (Costamagna *et al.* 2013).

El sistema compuesto por el predador *D. catalinae* y la presa MBH cohabitando plantas de tomate es un buen ejemplo de interacciones depredador-presa con distribuciones de probabilidad de encuentro desigual. Los adultos del SWF son capaces de volar y moverse dentro y entre las plantas, pero los cuatro estadios ninfales son sésiles, excepto los recién nacidos, que a menudo se mueven unos pocos milímetros antes de asentarse durante los primeros minutos después de la eclosión (Byrne y Bellows 1991, Simmons 2002). La mayor parte de las ninfas y huevos de la MBH están localizados en la parte media-superior del dosel de las plantas de tomate.

El coccinellido *D. catalinae* es un depredador nativo de Colombia que se comercializa en los Estados Unidos para el control de la MBH (Obrycki y Kring 1998, Gerling *et al.* 2001). La distribución de la actividad del depredador, y la mortalidad de las presas se concentra en la región media y media-baja del dosel de la planta, muy diferente a la distribución de la MBH (Rincon *et al.* 2016). Las tasas de depredación y la respuesta funcional de *D. catalinae* se han examinado en ambientes de laboratorio (Hoelmer *et al.* 1993, Guershon y Gerling 1999, Liu y Stansly 1999), y en plantas completas (Rincon *et al.* 2015). Como en otros sistemas depredador-presa, se encontró que la magnitud de las tasas de depredación son muy inferiores en plantas con relación a lo encontrado en laboratorio, y que la respuesta funcional es sigmoidea (tipo III) en plantas y asintótica (tipo II) en laboratorio (Rincon *et al.*; 2016).





**Figura 1.** Diagrama de flujo ilustrando el proceso del modelo desarrollado para la transición de escala entre el foliolo y la planta completa en el sistema compuesto por la moscablanca (*Bemisia tabaci*) y el depredador *Delphastus catalinae* cohabitando plantas de tomate.

---

## Conclusiones

Con el objetivo de explorar los cambios en la respuesta funcional cuando la escala de observación se incrementa de foliolo a plantas enteras, se construyó un modelo espacialmente explícito del sistema depredador-presa compuesto por *D. catalinae* (Coleoptera: Coccinellidae) y la MBH, interactuando en plantas de tomate (Rincon *et al.*; 2017). El modelo es único en el sentido de que incorpora explícitamente el grado de correlación espacial entre la distribución de los parches de presa, las preferencias de los depredadores en el forrajeo, y en que usa la respuesta funcional de laboratorio para aproximar las tasas de consumo dentro de los foliolos de la planta de tomate. El modelo fue escrito en lenguaje R usando el software R versión 3.1.1. (R Core Team 2013), y simula el movimiento y el consumo de presas de un depredador dentro del dosel de una planta de tomate infestada con diferentes números de presa en cada foliolo (Figura 1). Todos los procesos para la toma de decisiones del depredador (hojas a visitar, foliolos a visitar, tiempos de residencia, etc.)

Las mediciones de laboratorio, combinadas con observaciones de la heterogeneidad del ambiente, pueden ser usadas para hacer inferencias sobre procesos ecológicos a escalas de observación superiores. En el caso de las tasas de depredación de un sistema depredador-presa, la distribución espacial de las presas y el comportamiento de los depredadores pueden ser útiles para predecir las tasas de depredación en plantas. El modelo que presento representa el primer intento de utilizar un modelo de respuesta funcional estimado en el laboratorio en un modelo basado en individuos para predecir las tasas de depredación en escalas de observación superiores.

El desarrollo de métodos como los presentados en esta revisión no sólo incrementa el valor de los estudios de laboratorio, sino que puede reducir la cantidad de datos necesarios para realizar inferencias sobre la dinámica de poblaciones o comunidades. Asimismo, la comprensión de los mecanismos por los que los procesos ecológicos regulan las interacciones entre organismos a través de las diferentes escalas es de gran importancia para la toma de decisiones de manejo. Al final, el reto es comprender el impacto de los cambios en procesos locales sobre procesos regionales o globales, y así visualizar las mejores estrategias para conservar la funcionalidad de los ecosistemas en las escalas más relevantes.

## Referencias

- BAILEY, V. A.; E. J. WILLIAMS; A. J. NICHOLSON. 1962. Interaction between hosts and parasites when some host individuals are more difficult to find than others. *Journal of Theoretical Biology* 3: 1-18.
- BENHAMOU, S. 1992. Efficiency of area-concentrated searching behavior in a continuous patchy environment. *Journal of Theoretical Biology* 159: 67-81.
- BERRYMAN, A. 1999. Theoretical foundations of biological control, pp. 3-21. In B. A. Hawkins and H. V. Cornell (eds.), *Theoretical approaches to biological control*. Cambridge University Press, Cambridge; New York.
- BOND, A. B. 1983. The foraging behavior of lacewing larvae on vertical rods. *Animal Behaviour* 31: 990-1004.

- BYRNE, D. N.; T. S. BELLOWS. 1991. Whitefly biology. *Annual Review of Entomology* 36: 431-457.
- CORDOLEANI, F.; D. NERINI, A. MOROZOV, M. GAUDUCHON; J.-C. POGGIALE. 2013. Scaling up the predator functional response in heterogeneous environment: When Holling type III can emerge? *Journal of Theoretical Biology* 336: 200-208.
- COSTAMAGNA, A. C.; B. P. MCCORNACK; D. W. RAGSDALE. 2013. Within-plant bottom-up effects mediate non-consumptive impacts of top-down control of soybean aphids. *PLoS one* 8: e56394-e56394.
- DE BARRO, P. J.; S.-S. LIU, L. M. BOYKIN; A. B. DINSDALE. 2011. *Bemisia tabaci*: A Statement of Species Status. *Annual Review of Entomology* 56: 1-19.
- ENGLUND, G.; K. LEONARDSSON. 2008. Scaling up the functional response for spatially heterogeneous systems. *Ecology Letters* 11: 440-449.
- GERLING, D.; O. ALOMAR; J. ARNO. 2001. Biological control of *Bemisia tabaci* using predators and parasitoids. *Crop Protection* 20: 779-799.
- GUERSHON, M.; D. GERLING. 1999. Predatory behavior of *Delphastus pusillus* in relation to the phenotypic plasticity of *Bemisia tabaci* nymphs. *Entomologia Experimentalis Et Applicata* 92: 239-248.
- HASSELL, M. P. 1980. Foraging strategies, population-models and biological control: A case study. *Journal of Animal Ecology* 49: 603-628.
- HE, F.; P. LEGENDRE, C. BELLEHUMEUR; J. V. LAFRANKIE. 1994. Diversity pattern and spatial scale: a study of a tropical rain forest of Malaysia. *Environmental and Ecological Statistics* 1: 265-286.
- HEMERIK, L.; E. YANO. 2011. Scaling up from individual behaviour of *Orius sauteri* foraging on *Thrips palmi* to its daily functional response. *Population Ecology* 53: 563-572.
- HODEK, I.; A. HONEK; H. F. VAN EMDEN. 2012. Ecology and behaviour of the ladybird beetles (Coccinellidae), pp. 605. John Wiley & Sons, Hoboken.
- HOELMER, K. A.; L. S. OSBORNE; R. K. YOKOMI. 1993. Reproduction and feeding behavior of *Delphastus pusillus* (Coleoptera, Coccinellidae), a predator of *Bemisia tabaci* (Homoptera, Aleyrodidae). *Journal of Economic Entomology* 86: 322-329.
- IVES, A. R.; P. KAREIVA; R. PERRY. 1993. Response of a predator to variation in prey density at 3 hierarchical scales: Lady beetles feeding on aphids. *Ecology* 74: 1929-1938.
- LIU, T. X.; P. A. STANSLY. 1999. Searching and feeding behavior of *Nephaspis oculatus* and *Delphastus catalinae* (Coleoptera: Coccinellidae), predators of *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae). *Environmental Entomology* 28: 901-906.
- MUNYANEZA, J.; J. J. OBRYCKI. 1997. Functional response of *Coleomegilla maculata* (Coleoptera: Coccinellidae) to Colorado potato beetle eggs (Coleoptera: Chrysomelidae). *Biological Control* 8: 215-224.
- NACHMAN, G. 2006. A functional response model of a predator population foraging in a patchy habitat. *Journal of Animal Ecology* 75: 948-958.
- O'NEIL, R. J. Year. Published. Functional response of arthropod predators and its role in the biological control of insect pests in agricultural systems, pp. 83-96. In R. R. Baker and P. E. Dunn (eds.), *New directions in biological control : alternatives for suppressing agricultural pests and diseases*. Proceedings of a UCLA Colloquium, January 20-27 1989 1990, Frisco, Colorado. A.R. Liss, New York.

- O'NEIL, R. J. 1997. Functional response and search strategy of *Podisus maculiventris* (Heteroptera : Pentatomidae) attacking Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae). *Environmental Entomology* 26: 1183-1190.
- O'NEILL, R. V.; B. RUST. 1979. Aggregation error in ecological models. *Ecological Modelling* 7: 91-105.
- OBRYCKI, J. J.; T. J. KRING. 1998. Predaceous Coccinellidae in biological control. *Annual Review of Entomology* 43: 295-321.
- R Core Team 2013. R: A Language and Environment for Statistical Computing computer program, version Version 3.1.1. By R Core Team, Vienna, Austria.
- RAUPP, M. J.; R. F. DENNO. 1983. Leaf age as a predictor of herbivore distribution and abundance, pp. 91-124. In R. F. Denno and M. S. McClure (eds.), *Variable plants and herbivores in natural and managed systems*. Academic Press, Inc.; New York.
- RINCON, D. F.; C. W. HOY; L. CAÑAS. 2015. Generating within-plant spatial distributions of an insect herbivore based on aggregation patterns and per-node infestation probabilities. *Environmental Entomology* 144: 194-209.
- RINCON, D. F.; L. A. CAÑAS; C. W. HOY. 2016. Intra-plant spatial interaction between *Delphastus catalinae* (Coleoptera: Coccinellidae) and *Bemisia tabaci* biotype B (Hemiptera: Aleyrodidae) and its effect on predation rates. *Biological Control* 95: 13-22.
- RINCON, D. F.; CAÑAS, L. A. & HOY, C. W. 2017. Modeling changes in predator functional response to prey across spatial scales. *Theoretical Ecology*. DOI:10.1007/s12080-017-0338-z
- SIMMONS, A. M. 2002. Settling of crawlers of *Bemisia tabaci* (Homoptera : Aleyrodidae) on five vegetable hosts. *Annals of the Entomological Society of America* 95: 464-468.
- VAN ROERMUND, H. J. W.; J. C. VAN LENTEREN; R. RABBINGE. 1997. Biological control of greenhouse whitefly with the parasitoid *Encarsia formosa* on tomato: An individual-based simulation approach. *Biological Control* 9: 25-47.
- WELSH, A. H.; A. T. PETERSON; S. A. ALTMANN. 1988. The Fallacy of Averages. *The American Naturalist* 132: 277-288.

---

## Simulating triatomine population dynamics in the Orinoco basin, in Chagas disease infection risk context

Diana Erazo, cDr.<sup>1</sup> y Juan Cordovez, Ph. D.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación en Biología Matemática y Computacional, BIOMAC, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. Código postal 111711. [dc.erazo170@uniandes.edu.co](mailto:dc.erazo170@uniandes.edu.co); <sup>2</sup>Grupo de Investigación en Biología Matemática y Computacional, BIOMAC, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. Código postal 111711. [jucordov@uniandes.edu.co](mailto:jucordov@uniandes.edu.co)

---

### Introduction

Chagas disease is caused by the parasite *Trypanosoma cruzi* and is transmitted to humans by insect of the Reduviidae family. It is considered a Neglected Tropical disease (NTD) in Latin America and recent estimates suggest 8 million people infected and 10,000 deaths per year (WHO 2007). In Colombia, estimates range from 700.000 to 1.2 million people infected and 8 million at risk of contracting the disease (Padilla 2005). The main vector in the country is *Rhodnius prolixus* (WHO 2007), which is characterized by high susceptibility of infection with *T. cruzi*; high mobility between the sylvatic (palm trees in particular) to domestic habitats (Guhl 1998).

Current disease eradication efforts include people awareness, testing for *T. cruzi* in blood transfusions and house spraying programs (Guhl 1998; Guhl *et al.* 2005). However, in Colombia insecticides are of limited usefulness (WHO 2002), because of a strong house re-infestation phenomenon due to the ability of the vectors to move between houses and palms (Sanchez-Martin *et al.* 2006). Contact rates between insects and people has been suggested as an important factor for disease establishment (Catala *et al.* 1997) and comprehending the factors that determine the distribution of insects between habitats (palms trees and houses) could be important in designing new control strategies.

However, the disease eco-epidemiology is complex. For example, it has been reported that insects like hiding in houses with adobe walls; palm leaves roofs and unfinished floors, which constitutes a typical dwelling in rural Colombia (Campbell- Lendrum *et al.* 2007; Bustamante *et al.* 2009). In addition, people (Campbell - Lendrum *et al.* 2007) and domestic animals (Campbell-Lendrum *et al.* 2007; Cohen y Gurtler 2001) provide meals for vectors in the domicile and become reservoirs for the parasite; therefore, their densities have also been suggested as disease risk factors. On the other hand, nocturnal flight patterns of the insects seem to be in the direction of light bulbs (Tonn *et al.* 1978; Schweigmann *et al.* 1988; Vazquez-Prokopek *et al.* 2004; Minoli y Lazzari 2006) and the proximity between the sylvatic and domiciliary habitats influencing the insect density in houses (Sanchez-Martin *et al.* 2006; Fitzpatrick *et al.* 2008).

Several important epidemiological questions arise around the risk factors. For example, what are the insect densities observed and how do they correlate to house characteristics, such as construction materials, number of people, presence of domestic animals; the presence of light

bulbs? What is the increased risk in human infection associated to a particular risk factor? What are more cost-effective programs for disease eradication?

We do not currently have enough data to answer these questions, but many of the biological and ecological characteristics of *R. prolixus* that have been characterized can help us to better understand the re-infestation phenomena and disease dynamics. To improve our understanding of the risk factors commonly associated with human infection we set two aims for this work: i) to develop and validate an Agent Based Model (ABM) that includes relevant aspects of insect population biology including insect dispersal. The model should be capable of reproducing spatial and temporal insect distribution associated to know risk factors such as construction materials, number of people in the house and domestic species. And ii) to use the model for investigating light as a possible factor changing insect colonization patterns.

ABMs have been used for a long time and in diverse subjects including: immune system and disease simulators (Folcik *et al.* 2007), ecological systems simulation (Smaldino y Schan 2010) and human biology (Shank 2010). To develop our model we studied similar approaches that have been used to understand disease dynamics; some of them actually studied Chagas disease transmission (Velazco-Hernandez 1991; Cohen y Gurtler 2001; Barbu *et al.* 2010; Barbu *et al.* 2011). To parameterize our model and discuss our results we use data derived from published papers and surveys taken during a control program in Colombia (Guhl *et al.* 2005; Campbell-Lendrum *et al.* 2007). Finally, to quantify the role of known risk factors and understand the possible role of light we create different scenarios; with the aid of the model, compute indexes of temporal and spatial insect distribution.

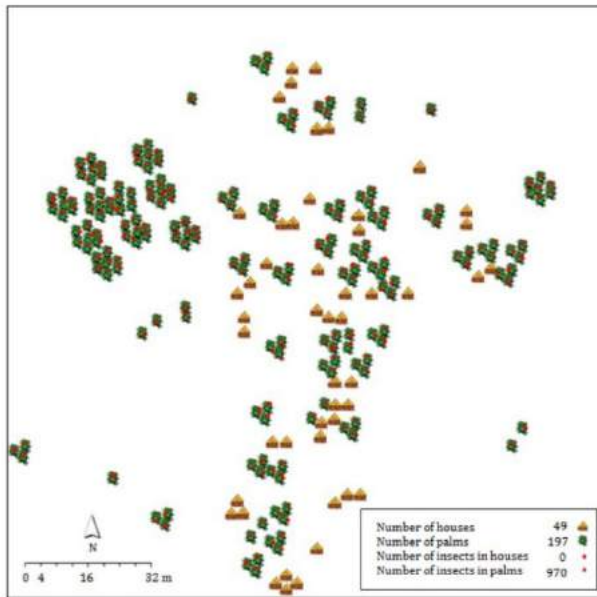
## Methods

We implemented an agent-based model to study the spatio-temporal distribution of *R. prolixus* and its relation with Chagas disease risk factors. The model was built in Matlab® and consisted of a raster with 4 meters pixel size that represented a hypothetical village with 49 houses and 197 palms (Figure 1). The model considered for every agent (vector) their gender, age; location. Vectors were allowed to move, reproduce; die (Figure 2, see Table 1 for model parameters). We evaluated construction materials, number of people per house, number of domestic species per house; the light as risk factors for house infestation. For this, we constructed a control scenario that had mean values for each one of the risk factors and compared it with eight scenarios that included low and high levels of each one of the risk factors. We calculated the proportion of infested houses (infestation index -II), the average number of insects inside the houses (crowding index -CI), proportion of insects in houses and palms; percentage of insects in houses that come from the sylvatic cycle (PISC). We ran 20 simulations for each scenario for a time of 17520 hours (2 years) and compared the results between the scenarios and control statistically.

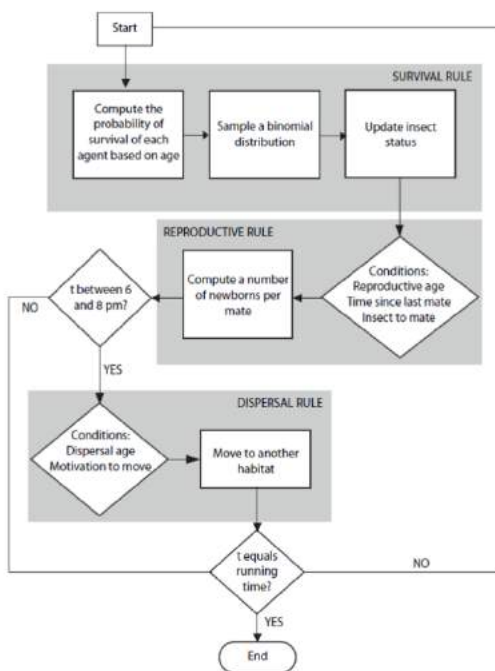
## Results and discussion

We found that the model was able to reflect observed insect distributions and densities in field studies based on known risk factors (construction materials, number of people and domestic species). Although we could not find a study whose objective was to determine the relative distribution between habitats, we found that a study by Pinto *et al.* (2005) reported 2,000 insects

in 102 palms (19.02 per palm); in a similar study taken from the same region the number of insects per house was 6.6 (Costa-Mendes *et al.* 2001). Similarly, other recent reports in Colombia (Webb y Galvao 2001) suggested a crowding index (CI) of 5.6 insects per house (range 1-38, mean 5.6) and an infestation index (II) of around 58 %. The former compares to the CI with the model that was 13 individuals for the control scenario (Figure 3). Regarding the infestation index (II), model results are significantly higher compared to field studies (Table 2).



**Figure 1. Simulated village.** The hypothetical village, inspired by a real village, is constructed over a grid composed by 100x100 pixels of 16 m<sup>2</sup> each with 194 palms and 49 houses distributed in the area. Habitats occupy exactly one pixel, thus in the model we assumed houses of equal areas and palms of similar proportions. The space between houses and palms is used only for insect movement and cannot be occupied at any time. Initial conditions for all simulations assumed insects were located only in palm trees (5 per palm) and absent from houses. The real village is the municipality “el Control” in the Casanare department, Colombia (Lat. 6° 10’ 49” N Long. 71° 41’ 54” W).

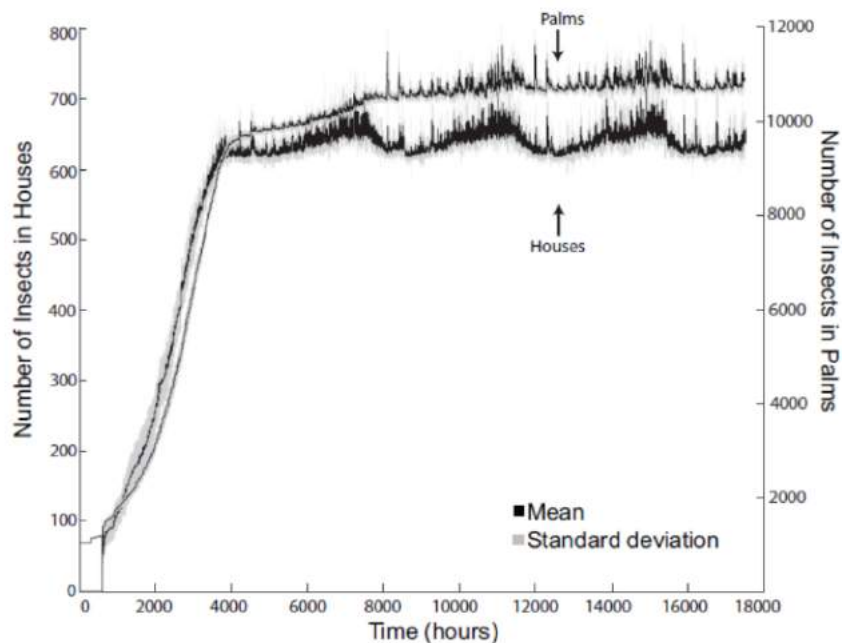


**Figure 2.** Flow diagram illustrating the rules for agents. The model is implemented in three statements: A survival module that calculates the probability of an insect moving to the next time step that is age dependent, a reproductive module that generates newborns in the grid for every female adult that meets the criteria for reproduction and a dispersal rule that is active only for simulation times that correspond to hours between 6 and 8 pm. Insects are free to move from palms to houses and vice versa, between houses and between palms in accordance with the insect motivation to move and selected target habitat. This procedure is repeated for the entire simulation.



**Table 1. Model parameters.** Parameters corresponding to reported biological and ecological characteristics of *R. prolixus* used in the model.

Name	Units	Value	Reference
Palms' Carrying capacity	<i>Insects</i>	20	Angulo <i>et al.</i> (2012)
Maximum house' carrying capacity with all risk factors present	<i>Insects</i>	16.4	
Minimum female interbreeding cycle (Oviposition time)	<i>Hours</i>	300	Gomez-Nuñez (1964)
Time for <i>R. prolixus</i> to achieve adulthood (Sexual maturity equal for males and females)	<i>Months</i>	5	Arevalo <i>et al.</i> (2007)
Fertile eggs per mating	<i>Insects</i>	20 ± 5	Arevalo <i>et al.</i> (2007)
Maximum dispersal distance <i>R. prolixus</i>	<i>Meters</i>	100	Zeledon y Rabinovich (1981); Sanchez-Martín <i>et al.</i> (2006)



**Figure 3. Sample output of control scenario.** We show the time series for the number of insects in houses and palms for an average control scenario with the standard deviation of each index reported. Note that steady state (equilibrium) is achieved after around 6,000 hours, but this steady state is characterized by periodic oscillations that represent intrinsic population dynamics. The model, by considering basic insect

population dynamics, predicts complex epidemiological index close enough to give us confidence in using the model for analysis.

**Table 2. Results compared to control.** The average percentage difference between each tested scenario and control for 20 simulations, 17520 hours each. Every group of simulations for each scenario was compared statistically with the same index in the control scenario. The highlighted entries were not significantly different from the control scenario. (ANOVA,  $p < 0.05$ ). The indexes used to quantify insect distribution are: PIH (Percentage of insects in houses), II (Infestation Index calculated as the percentage of infested houses), CI (Crowding index computed as the average number of insects per infested house) and PISC (Percentage of insects with sylvatic origin inside houses).

		Average percentage differences from control			
Scenario	Scenario (level)	PIH	II	CI	PISC
Control		5.63 %	99.98 %	13.1	4.38 %
Construction Materials	Low	-53,78 %	-3,90 %	-52,79 %	95,21 %
	High	5,15 %	0,02 %	7,35 %	-5,64 %
Number of people inside the house	Low	-7,89 %	0 %	-7,92 %	1,50 %
	High	-0,43 %	0,02 %	0,35 %	2,51 %
Number of domestic species per house	Low	-5,59 %	0 %	-7,36 %	3,86 %
	High	-2,09 %	0,02 %	0,49 %	6,78 %
Presence of Light	Low	-2,79 %	0,02 %	-0,81 %	-14,91 %
	High	-2,53 %	0,02 %	-0,74 %	3,92 %

Our findings suggest that good construction materials contributes the most to decrease both II and CI (4 % and 53 % respectively) (Table 2). Bad construction materials produces and increment in 7 % in CI (Table 2). We also found that moving from 1 person to 7 per house

produces an average increase of 9 insects per house. The number of species does not constitute a risk factor in the model. We postulate, based on the previous observations that domestic species diversity deserve to be explored along with species abundance in the same way that should be done for the sylvatic reservoirs. If we try to convert the increased insects population onto new human cases we can start by assuming that insects feed from humans once every 2 weeks and that there is a  $1e-3$  probability that an encounter results in a human infection (1 out of 1000 encounters). This gives 26 encounters per year per insect (52 weeks/year \* 1 encounter/2 weeks) that translates into 0.026 ( $26 * 1e-3$ ) new infected people per insect per year. Using this rationale and that current costs for chronic Chagas disease patients average US\$1,028 per year (Castillo-Riquelme *et al.* 2008), we estimated that house improvement could result in savings of around US\$3309 per person per year compared to treatment and an increase in 1 person per house could result in 0.8 % more new cases per year.

Light increments showed an increase in the percentage of insects in houses that come from the sylvatic cycle (PISC); however, the infestation index (II) and the crowding index (CI) did not change substantially (Table 2). These results suggest that light sources attract insects from palms to houses but not necessarily increase density or the proportion of infested houses and therefore do not change the average risk of parasite transmission (assuming that only domiciliated insects bites which clearly is an oversimplification). However, a recent report shows that houses closer to public streets lights were 1.64 more likely to be infested than houses further away (Pacheco-Tucuch *et al.* 2012).

Here we were able to quantify know risk factors in terms of money and propose light as important element for human infection. We believe that this type of models could be useful to evaluate the effect of spraying, estimate the consequence of palm farming near a domiciliary zone or define the high risk houses inside a village based on risk factors and house spatial location. We hope to refine the model with data that is currently being collected in an endemic region to further validate the model predictions.

## Referencias

- BARBU C.; DUMONTEIL E.; GOURBIERE S. 2010. Characterization of dispersal of non-domiciliated *Triatoma dimidiata* through the selection of spatially explicit models. PLoS Neglected Tropical Diseases 4: e777.
- BUSTAMANTE D.M.; MONROY C.; PINEDA S.; RODAS A.; CASTRO X. 2009. Risk factors for intradomiciliary infestation by the Chagas disease vector *Triatoma dimidiata* in Jutiapa.; Guatemala. Cad.; Saude Publica 25: 583-592.
- CAMPBELL-LENDRUM D.; ANGULO V.M.; ESTEBAN L.; TARAZONA Z.; PARRA G.J. 2007. House-level risk factors for triatomine infestation in Colombia. International Journal of Epidemiology 36: 866-872.
- CASTILLO-RIQUELME M.; GUHL F.; TURRIAGO B.; PINTO N.; ROSAS F. 2008. The costs of preventing and treating chagas disease in Colombia. PLoS Neglected Tropical Diseases 2: e336.
- CATALA S.; CROCCO L.B.; MORALES G.F. 1997. *Trypanosoma cruzi* transmission risk index TcTRI.: an entomological indicator of Chagas disease vectorial transmission to humans. Acta Tropica 68: 285-295.

- COHEN J.E.; GURTNER R.E. 2001. Modeling household transmission of American trypanosomiasis. *Science* 293: 694-698.
- FELICIANGELI M.D.; CAMPBELL-LENDRUM D.; MARTINEZ C.; GONZALEZ D.; COLEMAN P. 2003. Chagas disease control in Venezuela: lessons for the Andean region and beyond. *Trends in Parasitology* 19: 44-49.
- FITZPATRICK S.; FELICIANGELI M.D.; SANCHEZ-MARTIN M.J.; MONTEIRO F.A.; MILES M.A. 2008. Molecular genetics reveal that silvatic *Rhodnius prolixus* do colonise rural houses. *PLoS Neglected Tropical Diseases* 2: e210.
- FOLCIK V.A.; AN G.C.; OROSZ C.G. 2007. The Basic Immune Simulator: An agent-based model to study the interactions between innate and adaptive immunity. *Theoretical Biology and Medical Modelling* 4.
- GUHL F. 1998. Estado actual del control de la enfermedad de Chagas en Colombia. Curso-taller control de tripanosomiasis americana y leishmaniasis: aspectos biológicos, genéticos y moleculares. Bogotá: Corcas Editores. 47-81.
- GUHL F.; RESTREPO M.; ANGULO V.M.; ANTUNES C.M.; CAMPBELL-LENDRUM D. 2005. Lessons from a national survey of Chagas disease transmission risk in Colombia. *Trends in Parasitology* 21: 259-262.
- GUHL F. 2009. Enfermedad de Chagas: Realidad y perspectivas. *Biomedica* 20: 228-234.
- MINOLI S.A.; LAZZARI C.R. 2006. Take-off activity and orientation of triatomines Heteroptera: Reduviidae. in relation to the presence of artificial lights. *Acta Tropica* 97: 324-330
- PACHECO-TUCUCH F.S.; RAMIREZ-SIERRA M.J.; GOURBIERE S.; DUMONTEIL E. 2012. Public street lights increase house infestation by the Chagas disease vector *Triatoma dimidiata*. *PLoS One* 7: e36207.
- PADILLA J.C. 2005. Situación de la enfermedad de Chagas en Colombia. Ediciones Uniandes. 17-23.
- PINTO N.; MARÍN D.; HERRERA C.; VALLEJO G.; NARANJO J. 2005. Comprobación del ciclo selvático de *Rhodnius prolixus* Stal en reductos de *Attalea butyracea* en el departamento de Casanare. *Biomedica* 25: 159
- SANCHEZ-MARTIN M.J.; FELICIANGELI M.D.; CAMPBELL-LENDRUM D.; DAVIES C.R. 2006. Could the Chagas disease elimination programme in Venezuela be compromised by reinvasion of houses by sylvatic *Rhodnius prolixus* bug populations? *Tropical Medicine & International Health* 11: 1585-1593.
- SCHANK J.C. 2010. The Great Pheromone Myth. *American Journal of Human Biology* 22: 857-858.
- SCHWEIGMANN N.; VALLVE S.; MUSCIO O.; GHILLINI M.; ALBERTI A. 1988. Dispersal flight by *Triatoma infestans* in an arid area of Argentina. *Medical Veterinary Entomology* 2: 401-404.
- SMALDINO P.E.; SCHANK J.C. 2012. Movement patterns, social dynamics; the evolution of cooperation. *Theoretical Population Biology* 82: 48-58.
- TONN R.J.; ESPÍNOLA H.; MORA E.; JIMÉNEZ J.E. 1978. Trampa de luz negra como método de captura nocturna de Triatomíneos en Venezuela. *Boletín de la Dirección Malariología y Saneamiento Ambiental* 18: 25-30.
- VAZQUEZ-PROKOPEC G.M.; CEBALLOS L.A.; KITRON U.; GURTNER R.E. 2004. Active dispersal of natural populations of *Triatoma infestans* (Hemiptera: Reduviidae) in rural northwestern Argentina. *Journal of Medical Entomology* 41: 614-621.
- VELASCO-HERNANDEZ J.X. 1991. An epidemiological model for the dynamics of Chagas' disease. *Biosystems* 26: 127-134.

- WEHBE G.; GALVAO C.M. 2001. Emergency unit nurse of private hospitals: several considerations. *Rev Lat Am Enfermagem* 9: 86-90.
- W.H.O. WORLD HEALTH ORGANIZATION. 2007. Reporte del grupo de trabajo científico sobre la enfermedad de Chagas. Ginebra, Suiza.
- W.H.O. WORLD HEALTH ORGANIZATION. 2002. Control of Chagas Disease: Second Report of the WHO Expert Committee. Geneva: World Health Organization.

#### Referencias usadas como parametros de referencia

- ANGULO V.M.; LYDA E.; LUNA K.P. 2012. *Attalea butyracea* proximas a las viviendas como posible fuente de infestación domiciliaria por *Rhodnius prolixus* Hemiptera: Reduviidae. en los Llanos Orientales de Colombia. *Biomédica* 32: 277-285.
- AREVALO A.; CARRANZA J.C.; GUHL F.; CLAVIJO J.A.; VALLEJO G.A. 2007. Comparison of the life cycles of *Rhodnius colombiensis* Moreno.; Jurberg & Galvao.; 1999 and *R. prolixus* Stal.; 1872 Hemiptera.; Reduviidae.; Triatominae. under laboratory conditions. *Biomedica* 27: 119-129.
- CARCAVALLO R.; TONN R.; ORTEGA R.; BETANCOURT C.B. 1978. Notas sobre la biología.; ecología y distribución geográfica del *Rhodnius prolixus*. *Boletín de la Dirección de Malariología y Saneamiento Ambiental* 18: 175-198.
- CHAVES L.; HERNANDEZ M.; REVILLA T.; RODRIGUEZ D.; RABINOVICH J. 2004. Mortality profiles of *Rhodnius prolixus* Heteroptera:reduviidae. vector of Chagas disease. *Acta Tropica* 92: 119 - 125.
- D'ASCOLI A.; GOMEZ-NUÑEZ J.C. 1966. Notes on the dispersion methods of *Rhodnius prolixus* Stal. *Acta Cientifica Venezuela* 17: 22-25.
- FELICIANGELI MD.; DUJARDIN JP.; BASTRENTA B.; MAZZARRI M.; VILLEGAS J. 2002. Is *Rhodnius robustus* Hemiptera : Reduviidae. responsible for Chagas disease transmission in Western Venezuela? *Tropical Medicine & International Health* 7: 280-287.
- GALVAO C.; ROCHA D.S.; JURBERG J.; CARCAVALLO R. 2001. Flight initiation in *Triatoma infestans* and *T. melanosoma* Hemiptera.; Reduviidae.. *Memorias Instituto Oswaldo Cruz* 96: 137-140.
- GOMEZ-NUÑEZ J.C. 1964. Mass Rearing of *Rhodnius prolixus*. *Bulleting World Health Organization* 31: 565-567.
- GOMEZ-NUÑEZ J.C. 1969. Resting places.; dispersal and survival of CO60-tagged adult *Rhodnius prolixus*. *Journal of Medical Entomology* 6: 83-86.
- GUERENSTEIN PG.; LAZZARI C.R. 2009. Host-seeking: How triatomines acquire and make use of information to find blood. *Acta Tropica* 110: 148-158.
- GUHL F.; PINTO N.; AGUILERA G. 2009. Sylvatic triatominae: a new challenge in vector control transmission. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 104 Suppl 1: 71-75.
- LEHANE M.J.; MCEWEN P.K.; WHITAKER C.J.; SCHOFIELD C.J. 1992. The role of temperature and nutritional status in flight initiation by *Triatoma infestans*. *Acta Tropica* 52: 27-38.
- LEVY M.Z.; QUISPE-MACHACA V.R.; YLLA-VELASQUEZ J.L.; WALLER L.A.; RICHARDS J.M. 2008. Impregnated netting slows infestation by *Triatoma infestans*. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 79: 528-534.
- MCEWEN P.K.; LEHANE M.J. 1993. Factors influencing flight initiation in the triatomine bug *Triatoma infestans* Hemiptera: Reduviidae.. *Insect Science Applied* 14: 461-464.

- MCEWEN P.K.; LEHANE M.J.; WHITAKER C.J. 1993. The effect of adult population density on flight initiation in *Triatoma infestans* Klug. Hemiptera: Reduviidae. Journal of Applied Entomology 116: 321-325.
- MCEWEN P.K.; LEHANE M.J. 1994. Relationships between flight initiation and oviposition in *Triatoma infestans* Klug. Hemiptera: Reduviidae. Journal of Applied Entomology 117.
- SCHOFIELD C.J.; LEHANE M.J.; MCEWAN P.; CATALA S.S.; GORLA D.E. 1991. Dispersive flight by *Triatoma sordida*. Transactions Royal Society Tropical Medicine and Hygiene 85: 676-678.
- SCHOFIELD C.J.; LEHANE M.J.; MCEWEN P.; CATALA S.S.; GORLA D.E. 1992. Dispersive flight by *Triatoma infestans* under natural climatic conditions in Argentina. Medical Veterinary Entomology 6: 51-56.
- ZELEDON R.; RABINOVICH J.E. 1981. Chagas' disease: an ecological appraisal with special emphasis on its insect vectors. Annual Review Entomology 26: 101-133.

---

## Modelos de simulación para el estudio de insectos: dos ejemplos de aplicación de modelos

Alexander Bustos R.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Jardín Botánico José Celestino Mutis, Calle 63 # 68 – 95, [hbustos@jbb.gov.co](mailto:hbustos@jbb.gov.co)

---

### Caso I: Modelamiento de la cría masiva de un ácaro plaga como suministro de presas para un depredador.

*Tetranychus urticae* es una de las principales plagas de cultivos agrícolas en el mundo y para regular sus densidades de población han sido usadas diferentes técnicas y tácticas como el uso de acaricidas. Sin embargo, el uso permanente ha causado la resistencia de la plaga, por lo que se han evaluado otras alternativas de control como el uso de ácaros depredadores. El control biológico ha tenido éxito cuando la oferta del depredador es contante y suficiente para atender las necesidades de las fincas. Sin embargo en Colombia no existe tal oferta a la escala que demanda el mercado y por tanto es necesario optimizar los sistemas de cría masiva del depredador. La complejidad de las interacciones ecológicas de un sistema de cría masiva hace pertinente el desarrollo de un modelo de simulación que permita entender y sugerir acciones de manejo para optimizar del sistema de producción.

Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue desarrollar un modelo de simulación que permita evaluar escenarios para optimizar el sistema de cría masiva de ácaros depredadores. Se usó como fundamento teórico la estructura de modelación de poblaciones propuesta por Gutiérrez A.P. 1996, en donde se asume que todos los individuos afrontan los mismos problemas de adquisición (respuesta funcional) y asignación (respuesta numérica) de recursos en todos los niveles tróficos, y que los factores abióticos como la temperatura pueden afectar el desarrollo de los individuos. Además, se incluye el paradigma del pool metabólico como criterio para priorizar la asignación de los recursos y las interacciones y crecimiento de las poblaciones están reguladas por la relación oferta demanda de recursos.

Densidades de infestación bajas producen tamaños finales similares de la población y el incrementar el número inicial no tiene efecto sobre el tamaño final de la población. Por otro lado, la edad de la planta en la cual es infestada con la plaga si tiene un efecto sobre el tamaño final de la población de la plaga. Las simulaciones sugirieron que al introducir hasta 40 depredadores por planta, siete días después de la plaga permite obtener después de 20 días, hasta 1700 depredadores/planta.

La escasa información publicada sobre los parámetros de crecimiento de las poblaciones en las condiciones particulares de crías masivas es una de las limitantes para la validación de las simulaciones respecto a la producción del depredador. Sin embargo, el modelo como herramienta de análisis permitió identificar momentos y densidades de las poblaciones para evaluar y optimizar el sistema de producción de presas y depredadores como suministro para el control biológico en cultivos comerciales.



## **Caso II: Modelamiento del comportamiento de dispersion de un insecto plaga**

La mosca blanca de los invernaderos *Trialeurodes vaporariorum* – Westwood es uno de los insectos plaga mas importantes en los cultivos. La distribucion espacio-temporal y el tamaño de las poblaciones estan afectados por diferentes factores como la condicion de la planta, el efecto de los enemigos naturales o la presencia de otros organismos en la planta o el cultivo. Utilizando patrones de distribucion espacial se desarrollo un modelo con estructura de edades basado en individuos que incorpora la iologia de de los individuos. Las fenologia y desarrollo de las plantas y los insectos fue modelada con base en reports de literature y la dispersion de la plaga se consider como el factor clave a ser estudiado. Los resultados mostraron que factores como señales visuals o quimicas estan involucradas en el comportamiento y dispersion de los insectos plaga y permiten obtener poblaciones simuladas similares a las obervadas en campo. Ademas, la incorporacion y evaluación de las poblaciones de enemigos naturales y hongos fitopatogenos, afectan los tamaños de poblacion de las poblaciones de la plaga y su enemigo natural, y en consecuencia su distribucion espacial, lo que puede ser usado como insumo para direccionar futuras investigaciones al respect de la dinamica espaciotemporal de estas poblaciones.

## **Simposio 6.**

# **Avances e integración del control biológico en la agricultura**

---

**Coordinación: Diana Maritza Basto Diaz**  
Gerente Comercial Scientia Colombia SAS

### **Participantes:**

Diana Maritza Basto Diaz  
Gerente Comercial Scientia Colombia

Edison Torrado-León  
Instituto de educación e investigación en entomología ENTOMA

Luz Stella Fuentes Quintero  
Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Directora Centro de BioSistemas

Juliana Gómez-Valderrama<sup>1</sup> y Laura Villamizar-Rivero<sup>2</sup>  
Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria CORPOICA

## SIMPOSIO

### Avances e integración del control biológico en la agricultura

Coordinadora: Diana Maritza Basto Diaz

Gerente Comercial Scientia Colombia SAS

---

#### Introducción

Basados en la importancia de orientar a los sectores dinamizadores de la economía en la promoción de la responsabilidad social y ambiental, los sistemas agrícolas sostenibles hacen parte de las prioridades de los diferentes actores gubernamentales y empresariales a nivel mundial. De esta manera los procesos de producción y poscosecha orientados a atender la demanda, cada vez mayor, de alimentos inocuos en los mercados, el enfoque de los productores agrícolas hacia alternativas que generen controles eficaces y beneficios económicos, han sido el mayor impulso hacia la incorporación del control biológico en el Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades.

El Control biológico ofrece una serie de ventajas que involucran: la salud tanto de productores, cosechadores y consumidores; la facilidad en su aplicación y la permanencia en los ecosistemas que se intervienen; el entendimiento de la biología de los diferentes organismos presentes en el sistema de producción y la interacción con los factores bióticos y abióticos; baja o nula resistencia en los organismos fitófagos; las plantas y suelo no son sometidos a situaciones de estrés y desequilibrio, por tanto su vigor y desarrollo son mejores; baja o nula influencia sobre fauna benéfica; sistemas productivos y rentables.

Por tanto, la promoción de estrategias hacia la adopción de buenas prácticas agrícolas que conlleven a la sostenibilidad ambiental/social/económica y el mejoramiento de la competitividad empresarial, orienta a los involucrados hacia una permanente apropiación de tecnología, al entendimiento de las diferentes interacciones que se presentan en los cultivos, la combinación de alternativas de manejo y la concepción y desarrollo de sistemas productivos eficaces, competitivos, rentables y sostenibles.

## ¿Qué tan efectivos son los ácaros depredadores (Phytoseiidae) en el manejo de arañas (Tetranychidae) en ornamentales?

Edison Torrado-León

Biólogo, Magister en Biología-Entomología, Especialista en Producción de documentales científicos. Director general y fundador del Instituto de educación e investigación en entomología ENTOMA y director científico/cofundador de la empresa Naturavisión, Imágenes Científicas. Profesor asociado de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Calle 12 #1B-53 Casa 2, Conjunto Los Andes 4, Chia. [etorradol@entoma.org](mailto:etorradol@entoma.org).

---

**Resumen.** Los ácaros depredadores *Phytoseiulus persimilis* y *Neoseiulus californicus* (Mesostigmata: Phytoseiidae) se han convertido, recientemente, en una de las herramientas valiosas para el control de ácaros plaga como *Tetranychus* spp. (Prostigmata: Tetranychidae), en diferentes cultivos de ornamentales en Colombia, particularmente en rosas y clavel. Esto es debido a que el manejo tradicional de estas arañas con acaricidas de síntesis química, no ha sido suficiente para detener el crecimiento de sus poblaciones. Estas plagas generan agresivos daños a los cultivos agrícolas, tienen alta polifagia –se reportan más de 1.100 especies de plantas- y presentan ciclos de vida corto. Suficiente literatura científica ha demostrado su alta capacidad para establecer poblaciones resistentes a los acaricidas. Las presiones de selección son altas con los agroquímicos disponibles en el mercado, por lo que es frecuente que se requiera el uso de otras alternativas para su manejo, como lo son actualmente estas dos especies de ácaros. Una de las ventajas de su uso es que ambientalmente se consideran seguros, debido a que forman parte de la diversidad biológica, en una buena parte de los agroecosistemas donde son liberados. En general, se considera a estos depredadores como unos excelentes controladores por su alta capacidad de búsqueda, localización e inmovilización de las presas, así como por su voracidad. Se estima que pueden consumir en estado adulto de 4 a 7 presas por día. El ciclo de vida de estas dos especies es menor que las de sus presas, por lo que fácilmente pueden incrementar sus poblaciones y disminuir las de la plaga. Así mismo, las liberaciones en los cultivos de ornamentales de estos ácaros depredadores no generan ninguna dificultad, de esta manera, día a día se incrementan sus usos en dichos cultivos. Estas dos especies de Phytoseiidae se consideran complementarios, debido a que tienen estrategias de vida diferentes. La presente revisión bibliográfica pretendió comparar los dos tipos de adaptaciones que tienen los ácaros *Phytoseiulus persimilis* y *Neoseiulus californicus*, que los hace exitosos agentes de control biológico de las especies arañas plaga de cultivos de ornamentales del género *Tetranychus*, en Colombia.

### Introducción

Los cultivos de ornamentales de corte en Colombia y otros países, se ven fuertemente afectados por dos plagas que son de alto impacto. Por un lado, se encuentran los trips (Thysanoptera: Thripidae) (Torrado-León 2017) y por el otro, los ácaros o arañas (Acari: Prostigmata: Tetranychidae) (Daza *et al.* 2010, Torrado-León 2010, Martínez-Jaime *et al.* 2015). En este último

se destacan las especies *Tetranychus cinnabarinus* (Boisduval, 1867) y *Tetranychus urticae* Koch, 1836 (Luna y Acosta 1987, Torrado-León 2001) (Figura 1).



**Figura 1.** Especies de arañas plaga de mayor frecuencia en cultivos ornamentales en Colombia. **A-C.** *Tetranychus cinnabarinus*. **D.** *Tetranychus urticae* (©E. Torrado-León).

Para su manejo se utilizan diferentes herramientas entre las que se encuentran, principalmente, acaricidas de síntesis química (Fluker 1973, Martínez-Jaime *et al.* 2015, Prakash y Shukla 2015). El uso desproporcionado de algunos productos químicos ha demostrado que reduce la acción de enemigos naturales de los ácaros plaga y aumenta la presión de selección de individuos resistentes a los acaricidas (Van Leeuwen *et al.* 2009, Van Leeuwen *et al.* 2010, Onstad 2014). De acuerdo con una Whalon *et al.* (2008), del top 10 de los artrópodos más resistentes al número de ingredientes activos utilizados para su control a nivel mundial, se encuentra la especie *Tetranychus urticae*, que, para la fecha de esta publicación del 2008, era de 92 ingredientes activos reportados en 367 casos evidenciados (Figura 2).

Por todo esto, es que comenzaron a tener relevancia otras alternativas de manejo de las arañas en ornamentales, tales como el control cultural, extractos vegetales y agentes de control biológico, particularmente los hongos entomopatógenos y los ácaros depredadores, entre otros.

Los ácaros de la familia Phytoseiidae (Acari: Mesostigmata) se han destacado mundialmente por ser importantes depredadores de diferentes especies de ácaros plaga de las familias

Eriophyidae, Tarsonemidae y Tetranychidae (Schausberger y Croft 1999, Jaques *et al.* 2015). El número de especies registradas es cercano a las 2500 en 90 géneros (Moraes *et al.* 2004, Demite *et al.* 2014, McMurtry *et al.* 2015), se destacan los géneros *Amblyseius*, *Phytoseiulus* y *Typhlodromus* (Mesa 1996, McMurtry *et al.* 2015).

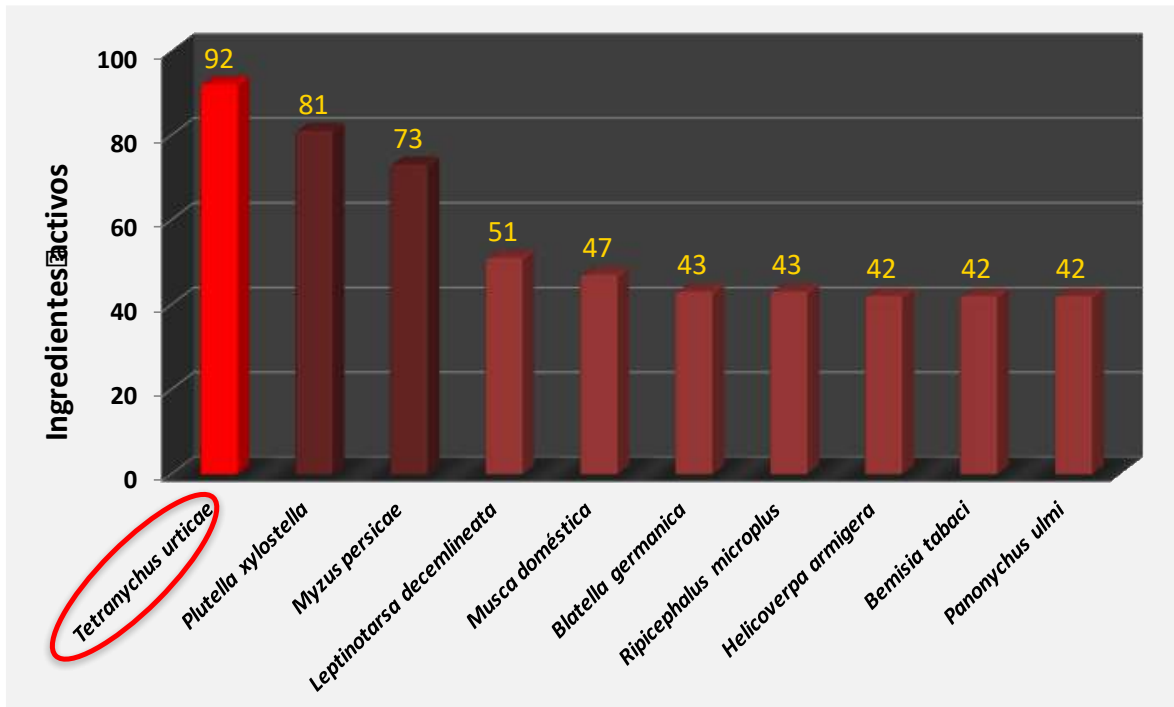


Figura 2. Top 10 de las especies de artrópodos plaga, en las que se han reportado casos evidenciados de resistencia (Adaptado de Whalon *et al.* 2008).

Las especies de ácaros que se han posicionado como efectivos agentes de control biológico de las arañas son las especies *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (1954) y *Neoseiulus californicus* (McGregor, 1954) (Figura 3.). Desde hace más de medio siglo se ha reportado a *P. persimilis* como una especie promisoría para el control de las arañas (Chant 1961, Oatman 1966, Gould 1969). Según Liu *et al.* (2017), estas dos especies, junto con *N. pseudolongispinosus*, una especie nativa descubierta en China, son especialistas en especies del género *Tetranychus*, aunque se considera que *N. californicus*, amplía su rango de presas, incluso al consumo de polen. Estos autores demostraron que *N. californicus* está separado del grupo de depredadores generalistas, basado en la morfología del gnatosoma.



**Figura 3.** A. *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot. B. *Neoseiulus californicus* (McGregor) (©E. Torrado-León).

En Colombia, una de las herramientas que cada día está tomando fuerza es el uso de los ácaros depredadores de la familia Phytoseiidae como *Phytoseiulus persimilis* y *Neoseiulus californicus* (Mesa 1996, De Vis y Barrera 1999, Torrado-León et al. 2001, Argüelles et al. 2013)

Las características que tienen estos ácaros depredadores es su forma de tipo piriforme (Krantz 1978), es decir que tienen forma de pera (Figura 4), son buscadores activos de sus presas.



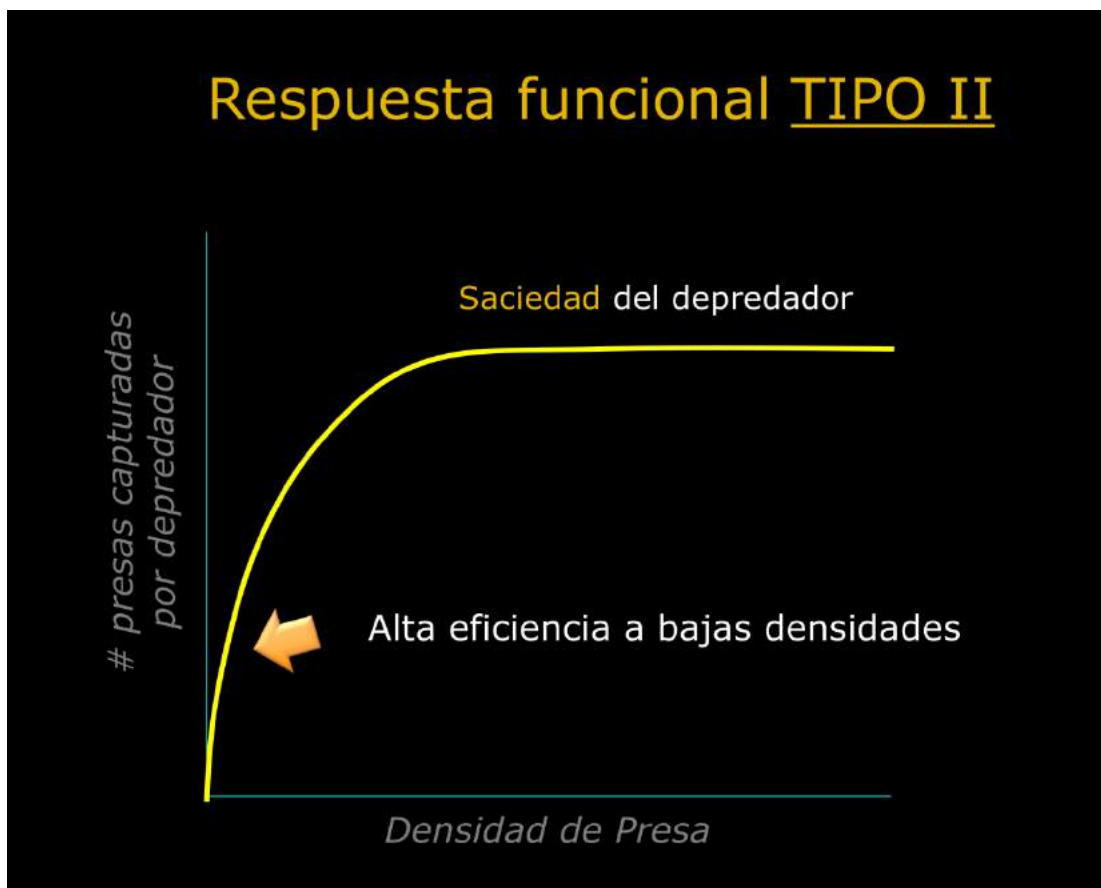
**Figura 3.** Forma piriforme o pera de *P. persimilis* (© E. Torrado-León).

Diferentes estudios han demostrado que *P. persimilis* y *N. californicus*, tiene respuesta funcional de tipo II (Marafeli et al. 2011, Monjarás 2015), es decir, que la tasa de consumo



aumenta de acuerdo con la densidad de la presa hasta alcanzar el plató o meseta, debido a que hay una saciedad (Figura 5). Según Góme (2007), las larvas de estas dos especies no consumen huevos y en la medida que pasan de protoninfa a deutoninfa y posteriormente adulto, incrementan su tasa de consumo. Para este autor, *P. persimilis* consume más huevos durante toda su vida que *N. californicus*.

La reproducción es sexual y una hembra puede poner de 40 a 80 huevos en todo su ciclo de vida. Según Góme (2007), el tiempo de desarrollo huevo/adulto para estas dos especies es de 6,2 días para *N. californicus* y de 5,1 día para *P. persimilis*. De acuerdo con Popov y Khudyakova (1989), el número promedio de huevos por hembras que fueron alimentadas con *T. Urticae*, provenientes de diferentes cultivos, es variable. Para aquellas alimentadas con *T. urticae* en clavel fue de 33, mientras que las que consumieron los ácaros en soya fue de 69.



**Figura 5.** Respuesta funcional de tipo II presentada en ácaros depredadores Phytoseiidae.

De acuerdo con Escobar (Escobar S.F.), los criterios de liberación (cantidad de ácaros depredadores / unidad de área), dependen de la cantidad de ácaro plaga existente y los niveles de

tolerancia permitidos en la finca, que a su vez depende del estado vegetativo del cultivo y la temporada en términos de cosecha.

Varias instituciones en Colombia han desarrollados estudios sobre el uso de estos enemigos naturales de las arañas, entre las que se encuentran la Universidad Nacional de Colombia, la Universidad Militar “Nueva Granada” y el Centro de Biosistemas de la Universidad Jorge Tadeo Lozano, entre otros. En este mismo sentido, el Centro de Innovación de la Floricultura (CENIFLORES) de la Asociación Colombiana de Exportadores de Flores (ASOCOLFLORES), ha coordinado y financiado una gran cantidad de investigaciones tendientes a optimizar el uso de estos ácaros depredadores. De acuerdo con el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) (ICA 2017), las empresas que actualmente se encuentran registradas en Colombia con ácaros depredadores como productos comerciales como *Phytoseiulus persimilis* o *Neoseiulus californicus* son Bichópolis S.A.S.; Koppert Colombia S.A.S. y Scientia de Colombia S.A.S.

### Conclusión

Los ácaros depredadores *Phytoseiulus persimilis* y *Neoseiulus californicus* son una de las alternativas viable para el manejo integrado de *Tetranychus* spp. en cultivos de ornamentales y otros cultivos agrícolas, por su efectividad en la capacidad de búsqueda y captura de las presas, facilidad en la liberación y costos a largo plazo, entre otras.

### Referencias

- ARGÜELLES, A. R.; N. PLAZAS, A. BUSTOS, F. CANTOR, D. RODRÍGUEZ Y A. HILARION. 2013. Interacción entre dos ácaros depredadores de *Tetranychus urticae* Koch (Acariformes: Tetranychidae) en laboratorio. Acta Biológica Colombiana, 18(1): 137-148.
- CHANT, D. A. 1961. An experiment in biological control of *Tetranychus telarius* (L.) (Acarina: Tetranychidae) in a greenhouse using the predacious mite *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (Phytoseiidae). Canadian Entomology. 93: 437-443.
- DAZA, M.; F. CANTOR, D. RODRÍGUEZ, A. BUSTOS R, Y J. R. CURE. 2010. Criterios para la producción de *Phytoseiulus persimilis* (Parasitiformes: Phytoseiidae) bajo condiciones de invernadero. Acta Biológica Colombiana, 15(1): 37-46.
- DE VIS R.Y A.J. BARRERA. 1999. Use of two *Phytoseiulus persimilis* Athias – Henriot (Acari: Phytoseiidae) and *Neoseiulus californicus* (McGregor) (Acari: Phytoseiidae) for the biological control of *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) in roses in the Bogotá plateau. Acta Horticultura (ISHS) 482: 259-268.
- DEMITE, P.R.; J.A. MCMURTRY Y G.J. DE MORAES. 2014. Phytoseiidae Database: a website for taxonomic and distributional information on phytoseiid mites (Acari). Zootaxa, 3795 (5): 571–577.
- FLUKER, S. 1973. Chemical Control of the Twospotted Spider Mite, *Tetranychus urticae*, on Peaches in North Florida. The Florida Entomologist, 56(2): 123-126
- GÓME, C. A. 2007. Dinámica del sistema depredador-presa de las arañas rojas y los fitoseidos (Acari: Tetranychidae, Phytoseiidae) en cultivos hortícolas. Universidad Politécnica De Valencia Escuela Técnica Superior De Ingenieros Agrónomos Departamento De Ecosistemas Agroforestales.

- GOULD, H. J.; N. W. HUSSEY Y W. J. PARR. 1969. Large scale commercial control of *Tetranychus urticae* Koch on cucumbers by the predator *Phytoseiulus persimilis* A.-H. Proceedings of the 2nd International Congress of Acarology. pp. 383–388.
- ICA .2017. Empresas bioinsumos mayo 5 de 2017.  
<http://www.ica.gov.co/Areas/Agricola/Servicios/Fertilizantes-y-Bio-insumos-Agricolas/Listado-de-Bioinsumos/2009/EMPRESAS-REGISTRADAS-BIOINSUMOS-JULIO-8-DE-2008.aspx> (Página visitada el 10 de mayo de 2017)
- JQUES, J. A.; E. AGUILAR-FENOLLOSA, M. A. HURTADO-RUIZ Y T. PINA. 2015. Food web engineering to enhance biological control of *Tetranychus urticae* by phytoseiid mites (Tetranychidae: Phytoseiidae) in citrus. Publisher: Springer, *Editores*: Daniel Carrillo, Gilberto Jose de Moraes, Jorge E. Peña, pp. 251-269
- KRANTZ, G.W. 1978. A manual of Acarology, second edition. Oregon State University Book Stores, INC. Oregon State University, Corvallis, Oregon. 509 pp.
- LUNA, D. M. Y A. ACOSTA. 1989. Evaluación de la distribución poblacional del ácaro *Tetranychus cinnabarinus* (Boisduval) en clavel (*Dianthus caryophyllus* L.). *Agronomía Colombiana*, 4 (1-2): 43-56.
- LIU, S.; J. LV, E. WANG, Y. XU, X. 2017. Life-style classification of some Phytoseiidae (Acari: Mesostigmata) species based on gnathosoma morphometrics. *Systematic & Applied Acarology* 22(5): 629–639.
- MARAFELI, P.; P. R. REIS, E. C. DA SILVEIRA, M. A. DE TOLEDO Y G. C. SOUZA-PIMENTEL. 2011. *Neoseiulus californicus* (McGregor, 1954) preying in different life stages of *Tetranychus urticae* Koch, 1836 (Acari: Phytoseiidae, Tetranychidae). *Acarología* 51 (4): 499–506
- MARTÍNEZ-JAIME, O. A.; M. D. SALAS-ARAIZA Y E. SALAZAR-SOLÍS. 2015. Control de la araña roja (*Tetranychus urticae* Koch.) (Acari: Tetranychidae) en rosal (*Rosa* sp.) bajo condiciones de invernadero. *Entomología Mexicana* 2: 429-434.
- MCMURTRY, J. A. N. F. SOURASSOU Y P. R. DEMITE. 2015. The Phytoseiidae (Acari: Mesostigmata) as biological control agents. *En: Prospects for biological control of plant feeding mites and other harmful organisms.* Publisher: Springer, *Editores*: Daniel Carrillo, Gilberto Jose de Moraes, Jorge E. Peña, pp.133-150.
- MESA, N. C. 1996. Reconocimiento y manejo de crías de la familia Phytoseiidae. Seminario. Reconocimiento, hábitos y manejo de ácaros en flores. Socolen. Cafam –Santafé de Bogotá, junio 13 de 1996: 54-64.
- MONJARÁS, J. I. 2015. Comportamiento biológico de *Phytoseiulus persimilis* y *Tetranychus urticae* en un ambiente con abamectina en rosal. Tesis de Maestría en Ciencias en Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo Coahuila, México, junio de 2015. 41 pp.
- MORAES, G J. DE, MCMURTRY, J.A.; DENMARK, H.A.; CAMPOS, C.B. 2004. A revised catalog of the mite family Phytoseiidae. *Zootaxa*, 434, 1–494.
- OATMAN, E. R.; J. A. MCMURTRY Y V. VOTH. 1966. Suppression of the Two-Spotted Spider Mite on Strawberry with Mass Releases of *Phytoseiulus persimilis*. *Journal of Economic Entomology* 61 (6): 1517-1521.
- ONSTAD, D. W. 2014. IPM and Insect Resistance Management. *En: Insect Resistance Management.* Elsevier Ltd.; pp 516-530.

- POPOV, N.A. Y O.A. KHUDYAKOVA. 1989. Development of *Phytoseiulus persimilis* (Acarina: Phytoseiidae) fed on *Tetranychus urticae* (Acarina: Tetranychidae) on various food plants. Acta Entomologica Fennica. 53: 43-46.
- PRAKASH, P. Y A. SHUKLA. 2015. Chemical control of two spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) on tomato under polyhouse conditions. Pest Management in Horticultural Ecosystems, 21(2): 145-153
- SCHAUSBERGER, P. Y CROFT, B.A. 1999. Predation on and discrimination between con- and heterospecific eggs among specialist and generalist phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae). Environmental Entomology, 28, 523 – 528.
- TORRADO-LEÓN, E.; M. PÉREZ, J. R. CURE, M. GARCÍA Y C. ECHEVERRI. 2001. Evaluación de sistemas de control biológico utilizados comercialmente en Europa para el control de plagas de rosa bajo invernadero, en la sabana de Bogotá. Asocolflores 61: 34-45.
- 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.
- TORRADO-LEÓN, E. 2017. Biología de trips de las flores. En: Manejo Integrado de trips plaga de las flores. ICA, Ceniflores - Asocolflores e Instituto ENTOMA. (En impresión).
- VAN LEEUWEN, T.; VONTAS, J.; TSAGKARAKOU, A.; 2009. Mechanisms of acaricide resistance in the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae*. En: Ishaaya, I.; Horowitz, A.R. (Eds.), Biorational Control of Arthropod Pests. Springer, Holanda, pp. 347-393.
- VAN LEEUWEN, T.; VONTAS, J.; TSAGKARAKOU, A.; W. DERMAUW Y L. TIRRY. 2010. Acaricide resistance mechanisms in the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* and other important Acari: A review. Insect Biochemistry and Molecular Biology 40: 563-572.
- VARGAS, C.; H. AGUILAR, G. EVANS Y R. OCHOA.1989. Potencial de los ácaros fitoseidos (Parasitiformes: Phytoseiidae) para el control biológico de plagas. Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica) No. 14. 87-108.
- WHALON, M. E.; MOTA-SÁNCHEZ, R. M.; HOLLINGWORTH, R. M. Y DUYNLAGER, L.; 2008. Arthropods Resistant to Pesticides Database (ARPD). <http://www.pesticideresistance.org>

## Interacciones biológicas entre enemigos naturales y otras alternativas de manejo

Luz Stella Fuentes Quintero

Ingeniera Agrónoma, M. Sc. Biología Aplicada, cursando Doctorado en Agroecología. Profesora Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Directora Centro de BioSistemas. Carretera Central del Norte, 3 Km después de La Caro, Vía Chía - Briceño. [luz.fuentes@utadeo.edu.co](mailto:luz.fuentes@utadeo.edu.co)

---

**Resumen.** La producción de hortalizas es afectada por diferentes plagas de importancia económica como *Trialeurodes vaporariorum*, *Tetranychus urticae* y *Frankliniella occidentalis*. En gran medida los agroquímicos y controladores biológicos no son compatibles entre sí, por lo que se hace necesario evaluar la sinergia entre otras alternativas de manejo como depredadores, parasitoides, entomopatógenos y extractos vegetales, porque una implementación adecuada de estas estrategias logra mantener baja la población de plagas.

Los resultados de selectividad e interacciones con *Amitus fuscipennis*, *Encarsia formosa*, *Chrysoperla carnea*, *Balaustium leanderi*, *Orius insidiosus*, *Beauveria bassiana*, *Lecanicillium lecanii* y extractos vegetales, fueron evaluados en condiciones de laboratorio, semicontroladas y de campo en plantas de tomate y frijol. La aplicación de *B. bassiana* presenta el 70 % de selectividad sobre *C. carnea*; para el extracto de ajo-ají es del 100 % sobre pupas de *E. formosa*; para *B. bassiana*, *L. lecanii* y el extracto de or (*Ruta graveolens*) es del 100 % sobre pupas de *A. fuscipennis*. El 70 % de larvas y adultos de *C. carnea* prefieren consumir ninfas de mosca blanca frente a ninfas parasitadas por *E. formosa*. En condiciones de campo con aplicaciones y liberaciones de *B. bassiana*, *C. carnea*, *E. formosa*, se presentó una incidencia del 30 % de *T. vaporariorum*. En condiciones semicontroladas existen interacciones positivas entre *E. formosa* y el extracto de ortiga (*Urtica* sp.) y entre *A. fuscipennis* e hidrolato de cola de caballo (*Equisetum arvense*), sobre la población de mosca blanca lo que indica que su implementación puede generar una sinergia para el manejo de la plaga.

### Introducción

Es importante conocer las características biológicas y ecológicas de los enemigos naturales que permitan identificar su efecto potencial como regulador de plagas, además deben cumplir con características de buena adaptabilidad a los cambios en las poblaciones de la plaga, sobrevivir en bajas densidades de la presa objetivo, tener hábitos flexibles de alimentación, altas habilidades reproductivas, buena capacidad de dispersión, mínima competencia intragremio y de baja interferencia mutua (Ehler 1990). Estos parámetros biológicos y de comportamiento permiten crear un marco de referencia cuantitativa para deducir las consecuencias potenciales de las interacciones biológicas que tienen lugar en los agroecosistemas (Luck *et al.* 1988). Es importante conocer la compatibilidad entre enemigos naturales, entomopatógenos y extractos vegetales (Desneux *et al.* 2007), así como el dinamismo de las redes de interacción insecto-planta-enemigos naturales (Power y Stout 2011), para implementar estrategias de manejo de hábitat en busca de

una biodiversidad funcional para la regulación de plagas a través del control biológico por conservación en sistemas de producción agrícola (Landis *et al.* 2000).

En el Centro de Bio-Sistemas de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano se evaluó en condiciones de laboratorio, semicontroladas y campo; la eficacia, selectividad e interacciones entre controladores biológicos (parasitoides, depredadores, entomopatógenos) y extractos vegetales.

**Eficacia de control en condiciones de laboratorio.** En condiciones de  $22 \pm 1$  °C de temperatura y  $70 \pm 10$  % de humedad relativa se determinó la tasa de parasitación y de consumo de algunos enemigos naturales sobre *T. vaporariorum*. *E. formosa* presenta una tasa de parasitación de  $13 \pm 2.8$  ninfas/día y para los adultos de *C. carnea* una tasa de consumo de  $186 \pm 37$  ninfas/día y la capacidad de depredación de *B. leanderi* en su estado adulto es de  $252 \pm 20.78$  huevos/hembra/día de *T. vaporariorum*, que corresponde al 72 % de consumo de la presa ofrecida (Fuentes-Quintero 2015), estos enemigos naturales tienen una proyección interesante sobre la regulación de la población plaga, porque presentan una alta tasa de consumo al compararlo con otros depredadores de mosca blanca reconocidos como *Macrolophus caliginosus* que a una densidad de 300 huevos, consume 93.5 huevos/hembra/día, es decir el 31 % de la presa ofrecida (Hamdan 2006).

Los porcentajes de eficacia insecticida de *Beauveria bassiana* ( $2.2 \times 10^{10}$  ufc/ml) sobre cada uno de los estados de desarrollo de *T. vaporariorum* son: 8 % para Huevos, 89 % para Ninfa I, 92 % para Ninfa II, 34 % para Ninfa III, 20 % para Ninfa IV y 6 % para adultos de mosca blanca. Estos resultados también son consistentes con lo reportado por Barragán y Herrera (2016) quienes obtuvieron una mortalidad de 90,4 % causada por *B. bassiana* sobre los estados inmaduros de *T. vaporariorum*.

Los resultados con extractos vegetales en el estado adulto de *T. vaporariorum* presentó el 66,7 % de eficacia con el extracto de ortiga, mientras que para larvas de trips (*F. occidentalis*) el hidrolato de cola de caballo presentó el 65,2 % de eficacia, mientras que en adultos el extracto de ortiga tiene un efecto del 91 % de mortalidad (Barragán y Herrera 2016).

**Compatibilidad entre enemigos naturales y extractos vegetales.** La supervivencia en pupas de *E. formosa* con el extracto de ajo-ají fue del 100 % y en pupas de *A. fuscipennis* se presentó un 100 % de selectividad con *B. bassiana*, *L. lecanii* y extracto de ruda, mientras que el 60 % de los adultos de *O. insidiosus* sobrevivieron a la aplicación del extracto de ruda y las ninfas un 60 % y 70 % al extracto de ortiga y a *L. lecanii* respectivamente (Barragán y Herrera 2016).

El efecto que causa *B. bassiana* sobre los artrópodos benéficos con la aplicación indirecta es mayor que la aplicación directa, presentando el 70 % de selectividad sobre el depredador *Chrysoperla carnea* y el 60 % sobre el parasitoide *Encarsia formosa*. Tanto larvas como adultos de *C. carnea* prefieren consumir el 70 % ninfas de mosca blanca sobre las ninfas de la plaga parasitadas por *E. formosa*.

---

Se ha encontrado un 100 % de selectividad del extracto de ruda y *B. bassiana* sobre *Balaustium leanderi* depredador de *T. vaporariorum* y *T. urticae*.

**Respuesta de selección de enemigos naturales a metabolitos de plantas afectadas por plaga.** Se determinó que *B. leanderi* responde positivamente a los volátiles de varias plantas no infestadas y hospedantes de las presas *T. vaporariorum* y *T. urticae*; registrándose diferencias estadísticamente significativas y un mayor porcentaje de selección, para la planta de orégano no infestada y la planta de toronjil infestada con *T. urticae*. En toronjil se observó diferencias en los compuestos encontrados, con presencia de limoneno, indicativo de señal producida por herbivoría. Estos resultados sugieren que dicha planta podría ser utilizada en sistemas agrícolas como atrayente y hospedera de *B. leanderi* y tener impacto en la regulación de plagas en sistemas agrícolas (Pachón y Rodríguez 2017).

**Interacciones en condiciones semicontroladas.** Para el control de mosca blanca, se determinó que existen interacciones positivas entre *E. formosa* y extracto de ortiga y entre *A. fuscipennis* e hidrolato de cola de caballo, las cuales pueden implementarse con el fin de minimizar el impacto ambiental ocasionado por el uso de plaguicidas, en la producción ecológica de un cultivo de tomate (Barragán y Herrera 2016).

**Respuesta de las interacciones de enemigos naturales en condiciones de campo.** Después de obtener los resultados en laboratorio, se evaluó la integración de herramientas de manejo de plagas, sobre un cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero. La evaluación se llevó a cabo en un invernadero de 1000 m<sup>2</sup>, donde se implementó un manejo fitosanitario con aplicaciones y/o liberaciones inoculativas desde el inicio del cultivo, de *Beauveria bassiana*, *Chrysoperla carnea* y *Encarsia formosa* para el control de *T. vaporariorum* sumado a la aplicación de *Bacillus thuringiensis* y liberación de *Trichogramma pretiosum* para el control de *T. absoluta*, más otras aplicaciones de extractos vegetales. La incidencia de las plagas se mantuvo por debajo del 30 % durante todo el ciclo del cultivo.

En la finca flores de Monteverde del grupo Flores de los Andes se está evaluando el efecto de la liberación de *B. leanderi* en el cultivo de Rosas, desde hace dos meses se sembraron plantas de toronjil entre las camas del cultivo como refugio del depredador. Se realizaron liberaciones semanales del depredador de diez adultos por cama y hasta la fecha se ha encontrado una reducción de la incidencia de *T. vaporariorum* de 80 % a 40 % y para *T. urticae* y *F. occidentalis* ha mantenido la población por debajo de 4 % de incidencia y daño.

## Conclusión

Conocer la eficacia, compatibilidad e interacciones entre las herramientas de control y los enemigos naturales, la presa y la planta, proporcionan una oportunidad única y de base fundamental para establecer una estrategia sinérgica entre los componentes, en pro de mantener una regulación estable y baja de la población plaga en los sistemas de producción agrícola.

## Bibliografía



- BARRAGÁN, C Y M. HERRERA. 2016. Interacción entre controladores biológicos y extractos vegetales para el manejo ecológico de plagas en cultivos de hortalizas. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Facultad de ciencias e ingeniería. Maestría en Ciencias Ambientales. p. 74.
- DESNEUX, N.; A. DECOURTYE & J.M. DELPUECH. 2007. The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. *Ann. Rev. Entomol.* 52: 81-106.
- EHLER, L.E.; 1990. Introduction strategies in biological control of insects. In: Mackauer, M.; Ehler, L.E.; Roland, J. (Eds.), *Critical Issues in Biological Control*. Intercept;over, UK, p. 111–134.
- FUENTES-QUINTERO, L. S. 2015. El ácaro de terciopelo rojo *Balaustium leanderi*. Enemigo natural de plagas agrícolas en Colombia. Universidad Militar Nueva Granada Facultad de Ciencias Básicas y Aplicadas Bogotá, Colombia. Maestría en Biología aplicada. p. 72.
- HAMDAN, A. J. S. 2006. Functional and numerical responses of the predatory bug *Macrolophus caliginosus* Wagner fed on different densities of eggs of the greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood). *Journal of Biological Research*, 6, 00-00.
- LANDIS, D.A.; WRATTEN, S.D.; GURR, G.M. 2000. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annual Review of Entomology* 45:175-201.
- LUCK, R. F.; B. M. SHEPARD AND P. E. KENMORE. 1988. Experimental methods for evaluating arthropod natural enemies. *Annu. Rev. Entomol.* 33: 367-391.
- PACHÓN, R Y L.M. RODRÍGUEZ. 2017. Respuesta olfativa del ácaro depredador *Balaustium leanderi* a los volátiles de plantas aromáticas no infestadas y afectadas por herbivoría. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Facultad de ciencias e ingeniería. Maestría en Ciencias Ambientales. p. 56.
- POWER, E.; STOUT J. 2011. Organic dairy farming: impacts on insect–flower interaction networks and pollination. En: *Journal of Applied Ecology*. vol.48, no.3,. p 561–569.

## Los entomopatógenos: una alternativa segura para el control biológico de plagas agrícolas

Julianan Gómez-Valderrama<sup>1</sup> y Laura Villamizar-Rivero<sup>2</sup>

Microbióloga Industrial, PhD en Biotecnología. Investigador Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria CORPOICA. Centro de Investigación Tibaitatá. Km 14 Vía Mosquera, Cundinamarca, Colombia. [jagomez@corpoica.org.co](mailto:jagomez@corpoica.org.co). <sup>2</sup> Química Farmacéutica, PhD en Farmacia. Senior Scientist AgResearch Ltd. Lincoln Research Centre. Christchurch 8140, New Zealand. [laura.villamizar@agresearch.co.nz](mailto:laura.villamizar@agresearch.co.nz)

---

**Resumen.** Las interacciones entre los insectos y sus virus patógenos constituyen un campo de conocimiento de amplia utilidad para el control de plagas agrícolas. La primera descripción de un virus entomopatógeno se realizó en el siglo XIX, momento a partir del cual se han tratado de aprovechar al máximo como agentes biocontroladores. Sus principales características de interés son la alta especificidad, patogenicidad y virulencia. Además, algunas especies virales presentan mayor resistencia frente a condiciones de estrés en comparación con las bacterias y los hongos, lo que se ve reflejado en una mejor persistencia en el ambiente y mayor estabilidad en condiciones de almacenamiento. Se conocen más de 1100 especies de insectos afectados por diferentes familias de virus, dentro de las que se destacan las especies pertenecientes a la familia Baculoviridae. Gracias a la integración de diversas disciplinas, actualmente el uso de virus entomopatógenos se está extendiendo a nivel nacional e internacional, mediante el desarrollo de bioinsumos estables y de calidad y con otros usos potenciales como vectores de expresión de proteínas. Sin embargo, aún es necesario superar limitaciones como la producción masiva y la percepción de eficacia y seguridad; áreas de investigación clave que permitirían expandir el uso de los virus entomopatógenos y generar un mayor impacto en la agricultura.

**Palabras clave:** Baculovirus. Bioplaguicidas. Nucleopoliedrovirus. Granulovirus. Control Biológico.

### Introducción

Los insectos son considerados parte fundamental para el equilibrio de los ecosistemas y han tomado gran importancia en los últimos dos siglos gracias a su adaptación a los sistemas agrícolas. La agricultura intensiva ha modificado los hábitats de los insectos, generando que los individuos que logran sobrevivir con éxito se conviertan en plagas y reduciendo al mismo tiempo la eficacia de los enemigos naturales que atacan estas especies en los entornos naturales. La población de la mayoría de insectos se encuentra regulada por diferentes factores, siendo uno de los más importantes los organismos patógenos (bacterias, hongos, virus, protozoos y nematodos). Dichos organismos han evolucionado junto con sus hospederos, por lo que presentan un alto potencial para ser usados en el control de plagas.

Dentro de estos organismos se destacan los virus entomopatógenos, los cuales tienen como característica principal su alta especificidad, que los hace seguros para el hombre y para el medio ambiente. Los virus de insectos se clasifican dentro de 12 familias virales, según lo especificado

por el ICTV (International Committee on Taxonomy of Viruses) (King *et al.* 2012), destacándose como controladores biológicos las especies virales pertenecientes a la familia *Baculoviridae*. La historia del uso de los baculovirus para controlar insectos plaga data de la década de los 40s, pero sólo hasta 1973 se obtuvo el primer producto comercial a partir del nucleopoliedrovirus de *Helicoverpa zea* HzNPV (Falcon, 1976). A partir de este momento, diferentes baculovirus se han aislado, caracterizado, formulado y aplicado en campo de manera exitosa y ambientalmente segura, constituyendo actualmente una de las áreas de mayor interés para el desarrollo de bioplaguicidas.

**Baculovirus.** Los baculovirus son una familia diversa de virus ADN de doble cadena caracterizados por la formación de cuerpos de inclusión (CIs) que los hace estables durante largos períodos de tiempo, por proteger al virus de la radiación ultravioleta y la desecación y además facilita su aplicación mediante pulverizaciones convencionales (Caballero *et al.* 2001; Miller, 1997). Hasta la fecha, la mayoría de los baculovirus se han aislado principalmente de los órdenes Lepidoptera e Hymenoptera (Okano *et al.* 2006; Rohrman, 2011) y es clave aclarar que dentro de estos órdenes su capacidad de infección generalmente se encuentra limitada a una única familia y muy pocas especies (Gómez-Valderrama y Villamizar 2013). La familia consta de cuatro géneros asignados de acuerdo a características estructurales, moleculares y biológicas. Los alphabaculovirus correspondientes a nucleopoliedrovirus aislados de lepidópteros, los betabaculovirus o granulovirus aislados de lepidópteros, los deltabaculovirus o nucleopoliedrovirus aislados de dípteros y los gammabaculovirus o nucleopoliedrovirus aislados de himenópteros (ICTV, 2012; Jehle *et al.* 2006). Los baculovirus solamente infectan los estadios larvales del insecto y dependiendo de la especie de virus, los síntomas de infección comienzan a aparecer entre 3 y 10 días después de la ingestión de CIs (Miller, 1997). La muerte se produce por desintegración de los tejidos y órganos. En las larvas muertas o moribundas el tegumento es generalmente muy frágil y se rompe con facilidad liberando el contenido líquido con millones de partículas virales.

Los estudios en torno a la biología y características genéticas de los baculovirus así como el entendimiento de su comportamiento en el ambiente y su interacción con los hospederos, han permitido el desarrollo y registro de más de 50 productos a base de estos organismos, como estrategia alternativa para el manejo de plagas. A continuación se describen algunos de los casos más relevantes en Colombia y a nivel mundial.

**Granulovirus de *Cydia pomonella* para el control de la polilla del manzano.** La polilla de la manzana, *Cydia pomonella* (Linneus) (Lepidoptera: Tortricidae), es una plaga importante de cultivos como manzana, pera y nogal. Sin un control efectivo, las larvas causan enormes pérdidas en rendimiento y graves daños económicos en huertos. El granulovirus de *C. pomonella* (CpGV, familia Baculoviridae) es un patógeno específico y extremadamente virulento que se ha empleado para desarrollar insecticidas eficaces y seguros desde el punto de vista ambiental. Fue encontrado originalmente en México en 1963 y se registró por primera vez como bioplaguicida a finales de los años ochenta en Suiza. A partir de este momento, varios productos se han desarrollado y registrado en todo el mundo, la mayoría de ellos derivados de la cepa original mexicana CpGV-M. Dichos productos se han utilizado con éxito en la producción orgánica e integrada de manzanas durante más de 25 años, con más de 250.000 ha aplicadas a nivel mundial (Eberle y Jehle, 2006). Considerando los volúmenes de aplicación de los diferentes productos a base de CpGV, se puede

considerar el insecticida viral más importante a nivel mundial, en términos de áreas tratadas. Sin embargo, desde el año 2015 se han reportado poblaciones de *C. pomonella* que presentan una susceptibilidad reducida a los productos a base de CpGV en 40 plantaciones en siete países europeos. Esta resistencia se ha relacionado con un único alelo dominante ligado al cromosoma sexual Z (Schmitt *et al.* 2013). Actualmente se están desarrollando estrategias de manejo de la resistencia, basadas en el uso de la biodiversidad natural de los baculovirus, mediante la aplicación de productos a base de mezclas de diferentes aislamientos de CpGV que son capaces de superar dicha resistencia.

**Nucleopoliedrovirus de *Anticarsia gemmatilis* para el control de la oruga de las leguminosas en Brasil.** La oruga de las leguminosas *Anticarsia gemmatilis*(Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae), es un insecto defoliador considerado una de las principales plagas de la soya en países como Brasil y Argentina. En algunas regiones de Brasil, alrededor del 70 % de las aplicaciones de insecticidas hacen contra esta plaga (Braga Silva y Moscardi 2002). El uso de un nucleopoliedrovirus de *A. gemmatilis* (AgMNPV) como componente de un programa de manejo integrado de plagas de soya (Moscardi, 1999) marcó un hito importante en la historia del uso de los baculovirus. Este programa se implementó en Brasil a principios de los años ochenta y llegó a más de 2.000.000 de hectáreas de soya tratadas anualmente con el virus (Szewczyk *et al.* 2009). Inicialmente, el AgMNPV se producía en el laboratorio para ser distribuido entre los productores de soya para su multiplicación en el campo sobre las poblaciones naturales de larvas de *A. gemmatilis*. Los agricultores aplicaban el virus en áreas más grandes como preparaciones crudas del virus y después recolectaban las larvas muertas y las almacenaban en un congelador para su uso en la siguiente temporada. En 1986 se puso a disposición de los productores de soya una formulación de este virus y a partir de los años 90, cinco empresas privadas iniciaron su producción y comercialización (Braga Silva y Moscardi, 2002). Recientemente el número de hectáreas tratadas con el bioplaguicida disminuyó drásticamente, principalmente debido a nuevas plagas emergentes en el cultivo y a que las aplicaciones del virus lograron controlar y disminuir la plaga. El uso de AgMNPV en Brasil trajo consigo muchos beneficios económicos, ecológicos y sociales. La protección de los campos de soya en Brasil con un producto a base de baculovirus, demostró que estos agentes pueden ser producidos a gran escala y pueden ser una alternativa a los insecticidas químicos de amplio espectro.

**Granulovirus de *Phthorimaea operculella* para el control de la polilla guatemalteca de la papa en Colombia.** La polilla guatemalteca *Tecia solanivora*(Povolny) (Lepidoptera: Gelechiidae) es el insecto plaga de mayor impacto económico en el cultivo de papa en Colombia y otros países productores en América. En los lugares donde se encuentra la plaga se han reportado pérdidas de hasta el 100 %, tanto en semilla almacenada, como en tubérculos en campo (Vargas *et al.* 2004). Este insecto ha sido controlado en diferentes países suramericanos con un baculovirus aislado en el Perú a partir de larvas de *Phthorimaea operculella*. Este virus fue desarrollado por el Centro Internacional de la Papa (CIP) en el Perú como un bioplaguicida polvo para espolvoreo para el control de *P. operculella* en condiciones de almacenamiento de semilla de papa, causando un 98 % de mortalidad de las larvas (Zeddám *et al.* 2003). Posteriormente, la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria Corpoica en el año 2000 se enfrentó al reto de producir este bioplaguicida a base del PhopGV del Perú, y posteriormente a base de un virus nativo para responder a la emergencia sanitaria causada por la polilla guatemalteca *T. solanivora*. El proceso

de producción fue estandarizado y escalado en una planta piloto con capacidad de producción de cinco toneladas al mes. El bioplaguicida con una eficacia superior al 90 % y una vida útil de 24 meses a temperatura ambiente, es actualmente el único producto a base de baculovirus registrado ante el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) en Colombia (ICA, 2017). La dosis de aplicación es de 2,5 Kg por tonelada de tubérculos y el registro comercial permite su uso tanto para protección de semilla como para protección de papa para consumo humano.

**Nucleopoliedrovirus de *Spodoptera frugiperda* para el control del gusano cogollero del maíz en Colombia.** El gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) es considerada la plaga más importante del cultivo de maíz. El nucleopoliedrovirus de *S. frugiperda* (SfNPV) ha sido aislado en varios países como Estados Unidos, Nicaragua, Argentina y España, demostrando resultados promisorios para su control (Ordóñez-garcía *et al.* 2015). Sin embargo, hasta el momento no existe ningún producto a base de este baculovirus registrado para el control del cogollero en nuestro país. En Colombia la investigación para el desarrollo de este virus como bioinsumo inició en el año 2008 con la búsqueda de aislamientos nativos de SfNPV y su posterior desarrollo como un bioplaguicida estable ante condiciones ambientales y eficiente para controlar la plaga en condiciones de campo. En dicho trabajo se encontraron tres aislamientos de SfNPV que fueron caracterizados morfológica, molecular y biológicamente. Se seleccionó el aislamiento NPV003 proveniente de Córdoba por ser el único aislamiento con el cual se observaron larvas con sintomatología de infección viral en condiciones de campo. El virus seleccionado fue formulado, empleando un proceso de microencapsulación que fotoestabilizó eficientemente las partículas virales. La formulación fue evaluada en plantas de maíz bajo condiciones de casa de malla y campo en los departamentos de Meta, Córdoba y Tolima seleccionando  $8 \times 10^{11}$  CIs/ha como la concentración mínima efectiva, con una eficacia del 81 %. para controlar la plaga. En los experimentos en campo se demostró también que la aplicación del bioplaguicida favorece la diversidad y riqueza específica de la entomofauna benéfica asociada al cultivo, lo que tiene un efecto sinérgico en el manejo de la población del insecto plaga (Gómez *et al.* 2013). Actualmente este producto se encuentra en proceso de registro comercial en Colombia con el nombre comercial Spobiol®.

### Perspectivas

Las aplicaciones exitosas de los baculovirus en cultivos como soya y manzano entre otros, han demostrado que si es posible el uso de estos agentes como biocontroladores eficientes y como reemplazo de los productos químicos. Asimismo, se ha demostrado su seguridad a lo largo de más de 50 años de aplicaciones de productos basados en diferentes aislamientos virales y en pruebas contra organismos no blanco, sin reportarse jamás efectos adversos o toxicidad. En este sentido, es importante impulsar el desarrollo de nuevos bioplaguicidas a base de baculovirus y de investigaciones que permitan superar las limitantes para su escalamiento y comercialización, principalmente lo relacionado con su producción masiva. También es importante el desarrollo de formulaciones cada vez más novedosas y el uso de estrategias de potenciación que permitan optimizar su eficacia en campo. De esta forma, los bioplaguicidas virales aumentarán su participación en el mercado y gradualmente los productores tendrán a su disposición más herramientas biológicas, seguras y eficientes para control de plagas en sus cultivos.

---

## Referencias

- BRAGA SILVA, M.T.; MOSCARDI, F. 2002. Field efficacy of the Nucleopolyhedrovirus of *Anticarsia gemmatalis* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae): Effect of formulations , water, pH, volume and time of application; type of spray nozzle. *Biological Control* 31: 75–83.
- CABALLERO, P.; LÓPEZ-FERBER, M.; WILLIAMS, T. 2001. Los baculovirus y sus aplicaciones como bioinsecticidas en el control de plagas. Phytoma, España.
- EBERLE, K.E.; JEHLE, J. A, 2006. Field resistance of codling moth against *Cydia pomonella* granulovirus (CpGV) is autosomal and incompletely dominant inherited. *Journal of Invertebrate Pathology*. 93, 201–6.
- FALCON, L.A.; 1976. Problems Associated with the use of Arthropod Viruses in Pest Control. *Annu. Rev. Entomol.* 21, 305–324.
- GÓMEZ-VALDERRAMA, J.; VILLAMIZAR, L.; 2013. Baculovirus: Hospederos y especificidad. *Rev. Colomb. Biotecnol.* XV, 143–155.
- GÓMEZ, J.; GUEVARA, J.; CUARTAS, P.; ESPINEL, C.; VILLAMIZAR, L.; 2013. Microencapsulated *Spodoptera frugiperda* nucleopolyhedrovirus: insecticidal activity and effect on arthropod populations in maize. *Biocontrol Sci. Technol.* 23, 829–846.
- ICA, 2017. Productos Registrados Bioinsumos - Octubre 20 De 2015 Disponible en: URL <http://www.ica.gov.co/Areas/Agricola/Servicios/Fertilizantes-y-Bio-insumos-Agricolas/Listado-de-Bioinsumos/2009/PRODUCTOS-BIOINSUMOS-MAYO-13-DE-2008.aspx>
- ICTV, 2012. Virus Taxonomy, Virus Taxonomy. Elsevier. doi:10.1016/B978-0-12-384684-6.00111-7
- JEHLE, J.; LANGE, M.; WANG, H.; HU, Z.; WANG, Y.; HAUSCHILD, R.; 2006. Molecular identification and phylogenetic analysis of baculoviruses from Lepidoptera. *Virology* 346: 180–93.
- KING, A.; LEFKOWITZ, E.; ADAMS, M.; CARSTENS, E. 2012. Virus Taxonomy: Ninth Report of the International Committee on Taxonomy of Viruses, Virus Taxonomy. Elsevier. doi:10.1016/B978-0-12-384684-6.00013-6
- MILLER, L.K.; 1997. The Viruses: The Baculoviruses. New York: Plenum Press. New York.
- MOSCARDI, F.; 1999. Assessment of the application of baculoviruses for control of lepidoptera. *Annu. Rev. Entomol.* 44, 257–289.
- OKANO, K.; VANARSDALL, A.L.; MIKHAILOV, V.S.; ROHRMANN, G.F.; 2006. Conserved molecular systems of the Baculoviridae. *Virology* 344, 77–87. doi:10.1016/j.virol.2005.09.019
- ORDÓÑEZ-GARCÍA, A.M.; RIOS-VELASCO, C.; BERLANGA-REYES, D.I.; ACOSTA-, C.H.; SALAS-MARINA, M.Á.; CAMBERO-CAMPOS, O.J.; 2015. Occurrence of natural enemies of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Chihuahua, Mexico. *Florida Entomol.* 98, 843–847.
- ROHRMAN, G.; 2011. Baculovirus Molecular Biology Second Edition, Ed. Bethesda (MD): National Library of Medicine (US), NCBI.; US.
- SCHMITT, A.; BISUTTI, I.L.; LADURNER, E.; BENUZZI, M.; SAUPHANOR, B.; KIENZLE, J.; ZINGG, D.; UNDFORF-SPAHN, K.; FRITSCH, E.; HUBER, J.; JEHLE, J. A.; 2013. The occurrence and distribution of resistance of codling moth to *Cydia pomonella* granulovirus in Europe. *J. Appl. Entomol.* 137, 641–649.
- SZEWCZYK, B.; RABALSKI, L.; KROL, E.; SIHLER, W.; SOUZA, M.L. DE, 2009. Baculovirus biopesticides - a safe alter native to chemical protection of plants. *J. Biopestic.* 2, 209–216.

- VARGAS, B.I.; RUBIO, S.A.; LÓPEZ-ÁVILA, A.; 2004. Estudios de hábitos y comportamiento de la polilla guatemalteca *Tecia solanivora* (Lepidoptera: Gelechiidae) en papa almacenada. Rev. Colomb. Entomol.
- ZEDDAM, J.-L.; VÁSQUEZ SOBERÓN, R.; VARGAS, Z.; LAGNAOUI, A.; 2003. Producción viral y tasas de aplicación del granulovirus usado para el control biológico de las polillas de la papa *Phthorimaea operculella* y *Tecia solanivora* (Lepidoptera: Gelechiidae). Bol. Sanid. Veg. Plagas 29, 659–667.



---

## Integración del control biológico en sistemas de producción agrícola con fines de exportación en Centroamérica y Colombia

Diana Maritza Basto Diaz

Ingeniera Agrónoma, Magister en Sistemas Integrados de Gestión. Gerente Comercial Scientia Colombia S.A.S. Km 2,5 Vía La Unión - La Victoria, Finca La Natalia, La Unión (Valle del Cauca). [ventas@scientia.com.co](mailto:ventas@scientia.com.co).

---

**Resumen.** La alteración de los ecosistemas con las prácticas agrícolas desarrolladas en las últimas décadas, en el afán de obtención de resultados inmediatos y con un consumo de recursos ilimitado, ha generado el desequilibrio que, sumado al uso indiscriminado de agroquímicos de síntesis química y su disminución de eficacia, tiene al sector productivo en serios problemas fitosanitarios. En Centroamérica en atención a los requerimientos del mercado Norteamericano inicialmente, y luego ampliando su oferta hacia mercados Europeos y Asiáticos, se debió tomar acción frente a los sistemas de producción y el manejo de plagas y enfermedades. Plagas como Trips en Pimentón, Arañita roja en Banano y Papaya y Mosca Blanca en Tomate, llevó a establecer estrategias de manejo que generarán soluciones sostenibles. El Grupo Popoyán como líder en el desarrollo agrícola de Guatemala ha generado diferentes alianzas que permiten el establecimiento de modelos de producción exitosos, cuyo componente principal es el Control Biológico. El uso de depredadores, parasitoides y entomopatógenos ha llevado a que cultivos como Pimentón, Tomate, Cucurbitáceas, Cítricos, Rambutan, Papaya, Caña, Banano, Aguacate, Cardamomo, Mora, Macadamia, Café, Fresas, Piña, Flores, entre otros, logren manejos integrados eficientes y rentables e incluso certificaciones orgánicas sostenibles ambientales, social y económicamente. En Colombia existe amplia experiencia en la incorporación de enemigos naturales en Caña de azúcar y en los últimos años ha sido el sector Floricultor el que mayor demanda ha presentado de estrategias de Control Biológico sobre *Tetranychus* sp.; Trips, Mosca Blanca, Babosas y manejo de hongos del suelo; otros renglones orientados a exportación como Aguacate, Café, Pasifloras, Aromáticas y Hortalizas están desarrollando estrategias que permitan dar cumplimiento a los diferentes requisitos de los mercados demandantes.

### Introducción

La producción agrícola ha venido evolucionando en los últimos años debido a las exigencias comerciales del mercado a nivel nacional e internacional. Por parte de consumidores y clientes, la demanda creciente de productos inocuos, consistentes, uniformes, con presentación atractiva, marca la diferencia y ha llevado a los productores a orientar sus esfuerzos hacia el cumplimiento de las diversas exigencias y tendencias, las cuales, acompañadas del interés gubernamental y social, hacen que el desarrollo de los sistemas de producción estén en la línea con la sostenibilidad ambiental, económica y social. Por otra parte, existe la presión de plagas y enfermedades que, junto con las decrecientes eficacias de los productos de síntesis química y sus implicaciones en la salud y medio ambiente, el cambio climático, la disponibilidad de recursos, entre otros, permite que las estrategias de Control Biológico sean reales herramientas que se ajustan y mejoran en mayor medida en los cultivos orientados a exportación. Centroamérica y Colombia poseen una amplia oferta de productos que han adaptado e innovado en estrategias que sirven de guía para

muchos de los interesados en atender el actual entorno competitivo, con la implementación de modelos de producción enmarcados en el cumplimiento de normas y exigencias de calidad que lleven al posicionamiento de productos agrícolas autóctonos.

### Experiencias de integración de Control Biológico en sistemas de producción agrícola en Centroamérica

- PIMENTÓN: Principal plaga limitante es Trips, además del daño en el fruto y planta, es vector de virus TSWV. Estrategias de manejo: Depredadores: *Amblydromalus limonicus* Garman and McGregor (Acari: Phytoseiidae), *Orius insidiosus* Say (Hemiptera: Anthocoridae), *Chrysoperla carnea* Stephens (Neuroptera: Chrysopidae); Entomopatógenos: *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin (Moniliales: Moniliaceae), *Steinernema* sp. (Rhabditida: Steinernematidae) y *Heterorhabditis* sp. (Rhabditida: Heterorhabditidae).

El manejo de plantas banco ha permitido desarrollar programas con mayor eficiencia, entendiendo la relación entre el depredador y la presa. En la Figura 1, se puede observar el nivel de daño en el que se encontraban los frutos de Pimentón y la posterior calidad que se obtiene bajo la implementación del Manejo Integrado de Plagas.



**Figura 1.** Daño por Trips en Pimentón y Estado actual del cultivo con MIP. (Fotos MICSA)

- CITRICOS: Reacción ante incremento de poblaciones plaga y presencia de HLB. *Diaphorina citri* Kuwamura (Hemiptera: Liviidae): manejo con Depredador: *C. carnea*; Parasitoide: *Tamarixia radiata* Waterston (Hymenoptera: Eulophidae); Entomopatógenos: *Metarhizium* sp. y *B. bassiana*.  
Ácaros: Depredadores: *Neoseiulus californicus* McGregor (Acari: Phytoseiidae) y *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (Acari: Phytoseiidae).

Trips: *Amblydromalus limonicus*, *Orius insidiosus*; Entomopatógenos: *Beauveria bassiana*, *Steinernema* sp. y *Heterorhabditis* sp.

Mosca Blanca: Depredador: *Chrysoperla carnea*; Parasitoide: *Eretmocerus eremicus* Rose & Zolnerowich (Hymenoptera: Aphelinidae); Entomopatógenos: *Beauveria bassiana* y *Lecanicillium lecanii*.

Escamas, Cochinillas y Pulgones: Uso de depredadores: *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant (Coleoptera: Coccinellidae), *Chrysoperla carnea*; Entomopatógenos: *Beauveria* sp.; *Metarhizium* sp. y *Lecanicillium* sp.

Gallina ciega/Chisa : Entomopatógenos: *Steinernema* sp, *Heterorhabditis* sp y *Metarhizium* sp.

Los porcentajes de parasitoidismo de *T. radiata* sobre inmaduros de *D. citri* se registran sobre el 80 %. Con la disminución de químicos y el equilibrio de las poblaciones, se pasa de encontrar 50 a 10 individuos de *D.citri* por brote, en las primeras intervenciones.

- CAFÉ: Broca en aumento significativo, resultados eficientes con aplicaciones al suelo con *Heterorhabditis* sp. y *Beauveria bassiana*. Para manejo de Gallina ciega, principal género *Phyllophaga* sp. (Coleoptera: Scarabaeoidea), los resultados con *Heterorhabditis* sp. han registrado el 60 % de larvas afectadas. En complemento se ha utilizado para manejo de ácaros los depredadores: *N. californicus* y *P. persimilis*. Es importante mencionar los avances que se han logrado en el establecimiento de nuevas plantaciones y renovaciones con el uso de *Trichoderma*, evidenciando las diferentes relaciones que presenta su aplicación sobre la sanidad y desarrollo de las plantas, el antagonismo, la inducción de resistencia sistémica y el estímulo de crecimiento (MONFLI & CASAS-FLORES, 2014)
- RAMBUTAN: Siendo uno de los cultivos promisorios y en crecimiento para atender las demandas de mercados internacionales, las pérdidas ocasionadas por Cochinillas fueron superadas con la incorporación de los depredadores *Cryptolaemus montrouzieri* y *Chrysoperla carnea*. La marcación de focos y el seguimiento a través del monitoreo llevaron a que las liberaciones de los depredadores disminuyeran los daños. El uso complementario de *Beauveria* sp. y Aceite Mineral han mantenido los programas con resultados eficientes.
- PAPAYA: El manejo de ácaro blanco y rojo con liberaciones de *N. californicus* y *P. persimilis* han permitido mantener los niveles de infestación por debajo del 20 %. Por otra parte, en el manejo de Mosca blanca la incorporación de *Eretmocerus eremicus* y *Amblydromalus limonicus* ha pasado de 90 % a 25 % la incidencia. Estos manejos están complementados con uso de jabones para lavado de follaje, ubicación de trampas en puntos calientes, entre otras prácticas que hacen parte del MIPE.
- CAÑA:  
Diatraea: Actualmente se están realizando los ajustes al programa de liberación a través del uso de ultralivianos y vehículos motorizados para la dispersión de *Trichogramma* sp. (Hymenoptera: Trichogrammatidae) a granel. Con avances en formulación y estabilidad del producto, se logra optimizar el tiempo de liberación y de acuerdo con los resultados del monitoreo se ajustan las dosis de individuos por área. Con respecto a Salivazo-Aeneolamia, se está avanzando en el desarrollo de metodologías para el uso de *Heterorhabditis* sp. en mezcla

con *Metarhizium* sp. basado en resultados preliminares que muestran controles sobre estados inmaduros cuando hay buenas condiciones de humedad en el suelo.

- **CARDAMOMO:** Siendo Guatemala el primer exportador de Cardamomo, este cultivo ha tomado mayor importancia en su manejo (AGEXPORT, 2017). Como se puede observar en la Figura 2, las poblaciones de Trips, *Sciothrips cardamomi* Ramakrishna (Thysanoptera: Thripidae), ocasionan daños sobre flores y frutos. El uso de las diferentes herramientas de manejo permitió disminución de daño y mejoramiento en productividad, teniendo como principales componentes: Uso de Entomopatógenos: *Beauveria bassiana* y *Steinernema feltiae*; liberación de depredador *Chrysoperla carnea*; eliminación de malezas hospederas y monitoreo permanente.



**Figura 2.** Daño de Trips sobre flores y frutos de Cardamomo. (Fotos: MICSA)

- **MACADAMIA:** Los daños en la nuez por efecto del Barrenador del fruto *Ecdytolopha torticornis* Meyrick (Lepidoptera: Tortricidae) han llegado hasta el 39 % (BLANCO-METZLER, WATT, & COSENS, 2001), por lo cual el entendimiento del comportamiento de la plaga y la combinación de estrategias dirigidas a afectar los estados expuestos, permitieron el manejo y disminución del daño. La estrategia se basa en el uso de trampas de: luz, cromáticas y con feromonas, junto con la colecta de frutos del suelo y la incorporación de enemigos naturales como el parasitoide *Trichogramma* sp.; y los Entomopatógenos *Heterorhabditis* sp. y *Beauveria bassiana* aplicados al suelo.
- **FRESA:** El incremento de cultivo de fresa orgánica ha impulsado programas donde se utiliza: Nematodos entomopatógenos para las plagas que hacen ciclo en el sustrato, como fungus-nat y trips; a nivel foliar se realizan liberaciones de *O. insidiosus* y *A. limonicus*, para manejo de trips, cuyo establecimiento y eficacia ha sido exitoso con el uso de plantas banco dentro y fuera del invernadero, como se observa en la Figura 3. Con respecto a ácaros se liberan

depredadores *N. californicus* y *P. persimilis*. Además, se realizan aplicaciones de hongos entomopatógenos y extractos vegetales.



**Figura 3.** Establecimiento de enemigos naturales y uso de plantas banco en Fresa (Fotos MICSA)

### Avances en el manejo de estrategias de Control Biológico en sistemas de producción agrícola en Colombia

La demanda de soluciones integrales en el manejo de plagas en Colombia está concentrada en cultivos de Flores, Frutales, Hortalizas y Aromáticas para exportación. Los principales Blancos biológicos y las herramientas que se están desarrollando son los siguientes:

Blanco biológico Nombre común	Alternativa en desarrollo
Trips	<i>Orius insidiosus</i> <i>Chrysoperla carnea</i>
	Nemátodos entomopatógenos: <i>Steinernema</i> sp. y <i>Heterorhabditis</i> sp.
Ácaros	<i>Phytoseiulus persimilis</i> <i>Neoseiulus californicus</i> <i>Stethorus punctillum</i>
Mosca blanca	<i>Encarsia formosa</i> <i>Eretmocerus eremicus</i> <i>Amitus fuscipennis</i> <i>Chrysoperla carnea</i>
Diatraea	<i>Trichogramma</i> sp. <i>Cotesia flavipes</i> <i>Lydella minensis</i> <i>Billaea claripalpis</i> <i>Chrysoperla carnea</i>
Plagas con ciclo en suelo: Chisa, Sinfílicos, Fungus-gnat, Babosas	Nemátodos entomopatógenos: <i>Steinernema</i> sp. y <i>Heterorhabditis</i> sp. <i>Gaeolaelaps aculeifer</i>
Cochinillas	<i>Ceraeochrysa claveri</i> <i>Ceraeochrysa cincta</i>



	<i>Chrysoperla carnea</i>
Diaphorina	<i>Tamarixia radiata</i> <i>Chrysoperla carnea</i>
Telchin	Nemátodos entomopatógenos: <i>Steinernema</i> sp. y <i>Heterorhabditis</i> sp.
Tuta	<i>Apanteles gelechiidivoris</i> <i>Trichogramma</i> sp.
Stenoma	<i>Trichogramma</i> sp. Nemátodos entomopatógenos: <i>Steinernema</i> sp. y <i>Heterorhabditis</i> sp.
Salivazo	Nemátodos entomopatógenos: <i>Steinernema</i> sp. y <i>Heterorhabditis</i> sp.
Perforador del fruto	<i>Trichogramma</i> sp. Nemátodos entomopatógenos: <i>Steinernema</i> sp. y <i>Heterorhabditis</i> sp.
Broca	Nemátodos entomopatógenos: <i>Steinernema</i> sp. y <i>Heterorhabditis</i> sp.

El entendimiento de la biología de los actores del sistema de producción, de las condiciones ambientales, del suelo y del agua, la interacción entre los mismos, el monitoreo y uso de moléculas compatibles, el control de los factores determinantes y la interpretación oportuna de la información, permite la adopción de tecnologías que promueven el uso de enemigos naturales, orientado al manejo integrado y la producción de alimentos inocuos.

## Referencias

- Asociación Guatemalteca de Exportadores-AGEXPORT. 2017. Estadísticas de exportación. [www.export.com.gt](http://www.export.com.gt). Obtenido de [http://export.com.gt/estadisticas-de-exportacion/#diciembre\\_2016](http://export.com.gt/estadisticas-de-exportacion/#diciembre_2016). Fecha revisión: 28 mayo 2017.
- BLANCO-METZLER, H.; WATT, A.; & COSENS, D. 2001. Within-tree distribution of *Ecdytolopha torticornis* (Lep: Tortricidae) oviposition on macadamia nuts. *Revista de Biología Tropical* 49 (2): 697-702.
- CALIXTO A.; C. L. 2001. Taxonomía del Suborden Terebrantia (Insecta: Thysanoptera) en la sabana de Bogotá. Syngenta. 84 p.
- MALAI, M.; & RAVENSBERG, W. 2006. Conocer y Reconocer. Las plagas de cultivos protegidos y sus enemigos naturales. Reed Business Information - Koppert B. V. 288 p.
- MONFLI, V.; & CASAS-FLORES, S. 2014. Biotechnology and Biology of *Trichoderma* en *Molecular Mechanisms of Biocontrol in Trichoderma spp. and Their Applications in Agriculture*. Elsevier B. V.

## **Simposio 7.**

# **Ecología química de insectos**

---

**Coordinación: Nancy Barreto-Triana**  
Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria  
(Corpoica) Tibaitatá

### **Participantes:**

Felipe Borrero-Echeverry  
Sandra Aragón  
Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica)

Alicia Romero Frías  
Universidad Antonio Nariño

Flor Edith Acevedo  
Centro Nacional de Investigaciones de café, Cenicafé



## Simposio

### Ecología química de Insectos

**Coordinadora: Nancy Barreto-Triana**

Investigador phd asociado. Entomología. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica) Tibaitatá, km14 via Mosquera Cundinamarca. nbrarreto@corpoica.org.co

---

Las señales químicas juegan un papel importante en las interacciones entre los insectos y su entorno. El simposio *Ecología Química de Insectos* abordará diferentes aspectos de la comunicación entre insectos y otros organismos de la misma o diferente especie, y sus posibles aplicaciones. La ecología química de insectos es un área multidisciplinaria con gran potencial para generar nuevo conocimiento y desarrollar soluciones aplicadas a la agricultura y la salud humana y animal, que puede tener un gran impacto para el futuro de la entomología en Colombia.

La sesión incluye una amplia variedad de temas que permitirá que los asistentes tengan un panorama sobre los diferentes estudios desarrollados por investigadores colombianos en diferentes temáticas de la Ecología Química.

La primera parte será una introducción a la terminología y ejemplos clásicos de la ecología química y su aplicación "*Olores complejos: Interacciones entre semioquímicos de diferentes fuentes*" En esta ponencia se hablará de la forma en la que los insectos perciben e interpretan semioquímicos provenientes de diferentes fuentes y que transmiten diferentes mensajes. En su ambiente natural los insectos se encuentran rodeados de un sin fin de semioquímicos y no solo tienen que discriminar la información de una fuente importante sino las mezclas de varias fuentes importantes. Se explorarán los mecanismos neurales detrás de las interacciones entre diferentes semioquímicos y las respuestas comportamentales que conllevan.

La ponencia "*Semioquímicos de picudos (Coleoptera: Curculionidae): Un aporte al desarrollo de la fruticultura en Colombia*", mostrará algunas herramientas conceptuales y metodológicas de la ecología química para el estudio de las interacciones planta-insecto, el control biológico de plagas y la prospección biológica de plantas e insectos. Su objetivo es que los asistentes dimensionen la complejidad y el dinamismo de las relaciones entre los organismos que se dan en la naturaleza. Asimismo, a través de estudios de caso proporcionará elementos que conduzcan a alternativas de solución a problemas relacionados con el manejo de plagas...

En la segunda parte se hablará del rol de los microorganismos en las interacciones multitróficas: "*Bacterias asociadas al intestino de Spodoptera frugiperda regulan defensas en plantas*" El daño mecánico causado por los insectos, sumado a los componentes presentes en sus secreciones orales inducen respuestas de defensa en las plantas. Ésta charla explora los efectos de las bacterias presentes en las secreciones orales del cogollero del maíz (*Spodoptera frugiperda*) en las defensas inducidas en plantas de tomate y maíz. Los resultados indican que las bacterias

pueden alterar la expresión de varios genes de defensa, resaltando la importancia de los microorganismos en interacciones multitróficas.

Por último se discutirá sobre *“La importancia de los hongos endófitos en la modulación de las interacciones planta-insecto”*. Esta ponencia explorará cómo el uso de hongos como agentes de control biológico afecta la comunicación a través de diferentes niveles tróficos en las plantas de tomate y su entomofauna asociada. Los resultados de esta investigación sugieren que hongos entomopatógenos y endófitos pueden alterar la composición de metabolitos secundarios en la planta afectando su interacción con los herbívoros y enemigos naturales.

## Olores complejos: Interacciones entre semioquímicos de diferentes fuentes

Felipe Borrero-Echeverry

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica) Tibaitatá, Km. 14 vía Mosquera-Bogotá,  
Mosquera, Colombia. Tel: +57 (1) 4227300 ext 1328. [fborrero@corpoica.org.co](mailto:fborrero@corpoica.org.co)

---

La comunicación química es el único tipo de comunicación utilizado por todos los seres vivos. Los compuestos químicos utilizados en la comunicación son denominados semioquímicos y tradicionalmente han sido subdivididos en cuatro categorías. Las feromonas son compuestos químicos utilizados en la comunicación intraespecífica mientras que los demás grupos, las alomonas, sinomonas y kairomonas son compuestos involucrados en la comunicación interespecífica. Las alomonas son compuestos que presentan un beneficio al organismo que las produce con un costo al organismo que las percibe, mientras que las kairomonas presentan un costo para el emisor y beneficio para el receptor. Por último, las sinomonas son aquellos compuestos que presentan beneficios tanto para el emisor como el receptor (Eisner and Meinwald 1995).

La importancia de la comunicación química entre los insectos herbívoros y las plantas ha sido reconocida desde mediados del siglo 19 en los trabajos de Ernst Stahl, Anton Kerner von Marilaun, y Léo Herrera entre otros. Sin embargo, estos trabajos fueron olvidados hasta la segunda mitad del siglo XX. La identificación de la feromona de *Bombyx mori* por Adolf Butenandt (1959) y las observaciones llevadas a cabo por entomólogos, trabajando con polinizadores e insectos herbívoros, demostraron que estos usaban metabolitos secundarios volátiles para encontrar sus hospederos, causaron un interés renovado en la disciplina (Harborne 2001, Hartmann 2008).

Desde entonces, la ecología química ha avanzado rápidamente. Estudios ecológicos, etológicos y aplicados han sido apoyados por herramientas bioquímicas, fisiológicas, anatómicas y genéticas que se desarrollan constantemente. Estas nuevas herramientas nos han ayudado a comprender tanto el contexto ecológico detrás de la comunicación química, como los mecanismos detrás de la percepción y procesamiento de los olores. El descubrimiento de los receptores de odorantes (OR por sus siglas en inglés) en mamíferos por Linda Buck y Richard Axel (1991) y posteriormente de receptores similares en *Drosophila melanogaster* (Clyne *et al.* 1999, Vosshall *et al.* 1999) ha permitido comprender la olfacción de los insectos desde la periferia hasta los cuernos laterales y cuerpos fungiformes del cerebro donde se integra la información y determina la respuesta comportamental adecuada.

Las feromonas son los semioquímicos más estudiados en la ecología de los insectos. A la fecha, decenas de miles de compuestos han sido identificados como feromonas de insectos en más de 3000 especies (El-Sayed 2014). La composición de las feromonas es fundamental para que cumplan su función. Aunque algunas feromonas pueden estar compuestas de un solo compuesto químico, la mayoría consisten en mezclas de varios compuestos en proporciones específicas. Cambios en estas proporciones o la ausencia de un compuesto puede causar que la feromona pierda fidelidad (Linn *et al.* 1986). Las feromonas han sido tradicionalmente subdivididas en feromonas sexuales, de agregación, de alarma, de reclutamiento, y feromonas territoriales (Vander Meer *et al.* 1998, Yew and Chung 2015).

Las feromonas sexuales en los lepidópteros han sido las más estudiadas ya que incitan un comportamiento de vuelo estereotípico al ser la principal señal utilizada por los machos para localizar hembras conespecíficas, y el hecho que muchas especies son plagas en sistemas agrícolas. Las feromonas producidas por las hembras también sirven como afrodisiacos y hay evidencia que feromonas producidas por los machos pueden ejercer la misma función (Jacobson 2012). Las feromonas sexuales normalmente presentan dimorfismo sexual lo cual significa que no solo funcionan como señales intraespecíficas, sino también como señales inter e intra-género. (Vosshall 2008). Similarmente, las feromonas de agregación también son atrayentes, sino que atraen tanto machos como hembras de la misma especie. Las feromonas de agregación son comunes en Coleóptera, Blattodea, y Hemiptera pero han sido principalmente estudiadas en coleópteros gracias a su importancia económica (Bell *et al.* 1972; Gries *et al.* 2015; Symonds and Gitau-Clarke 2016).

Los insectos también utilizan los volátiles producidos por sus plantas hospederas para encontrar fuentes de alimento y sitios de apareamiento u ovoposición a largas distancias (Bruce *et al.* 2005, de Bruyne and Baker 2008). Los volátiles de los hospederos contienen información sobre la identidad del hospedero pero los mecanismos que utilizan los insectos para discriminar la información disponible no son bien conocidos. Hay algunos ejemplos que sugiere que los insectos utilizan la presencia de compuestos raros para discriminar su planta hospedera (Bjostad and Hibbard 1992, Hansson *et al.* 1999, Knight and Light 2001), y aunque es posible que este sea el caso con algunos insectos especialistas es más probable que la mayoría de los insectos utilicen mezclas para reconocer sus hospederos (de Bruyne and Baker 2008, Bruce and Pickett 2011, Xiao *et al.* 2012, Riffell *et al.* 2014).

Los volátiles de los hospederos también contienen información sobre la calidad de estos. Las herbívora induce la producción de compuestos volátiles que atraen enemigos naturales y son una fuente de información honesta sobre la calidad de la planta. Estos volátiles inducidos pueden reducir la atracción de insectos hacia potenciales hospederos e inhibir la ovoposición sobre estos (Signoretto *et al.* 2012, Xiao *et al.* 2012, Allmann *et al.* 2013, Biere *et al.* 2013). Los patógenos y otros microbios asociados a las plantas también pueden modificar el perfil de volátiles de estas y modificar que tan atractivas son para los insectos (Stensmyr *et al.* 2012, Biere *et al.* 2013, Davis *et al.* 2013).

Las interacciones entre los volátiles producidos por hospederos y las feromonas han generado gran interés y en tiempos recientes se ha convertido en un área de estudio importante en la ecología química (Landolt and Phillips 1997, Reddy and Guerrero 2004). Los volátiles de los hospederos afectan la comunicación por medio de feromonas al interactuar y modificar la fisiología y comportamiento de los insectos cuando las dos señales se encuentran en conjunto. Se ha demostrado que los volátiles pueden tener un efecto sinérgico con las feromonas sexuales y de agregación. Este fenómeno es común entre feromonas de agregación en coleópteros y volátiles de sus hospederos (Dowd and Bartelt 1991, Erbilgin and Raffa 2000, Reinecke *et al.* 2002, Muniappan *et al.* 2004) y se ha visto, en menor medida, entre las feromonas sexuales de los lepidópteros y sus hospederos (Dickens *et al.* 1990, Light *et al.* 1993, Reddy *et al.* 2002, Yang *et al.* 2004, Tasin *et al.* 2007, Trona *et al.* 2013). El sinergismo entre las feromonas y los volátiles puede ser benéfico para los insectos ya que puede incrementar la probabilidad de encontrar parejas que ya se encuentran sobre los hospederos. Dado que las plantas producen volátiles en cantidades mucho más grandes que los insectos, esta señal también puede ser más consistente en el tiempo y el espacio que aquellas producidas por los insectos

Sin embargo, los volátiles de las plantas hospederas también pueden tener un efecto antagónico frente a la atracción producida por las feromonas (Anton and Hansson 1994, Hayes *et al.* 1994, Anton and Hansson 1995, Byers *et al.* 2000, Byers *et al.* 2004, Pregitzer *et al.* 2012, Party *et al.* 2013, Rouyar *et al.* 2015). Los efectos antagónicos de los volátiles de las plantas hospederas son menos comprendidos pero se cree que puede estar directamente relacionado con la selección de hospederos de alta calidad o jugar un papel en la selección de parejas.

En este simposio se discutirán las interacciones entre feromonas y volátiles de plantas hospederas, principalmente en lepidópteros y *Drosophila melanogaster* (al ser el mejor modelo en entomología) desde los receptores de odorantes hasta el comportamiento y sus implicaciones ecológicas.

**Palabras clave:** semioquímicos, feromonas, alomonas, sinomonas, kairomonas.

## Referencias

- ALLMANN, S.; SPAETHE, A.; BISCH-KNADEN, S.; KALLENBACH, M.; REINECKE, A.; SACHSE, S.; BALDWIN L.; HANSSON, B. 2013. Feeding-induced rearrangement of green leaf volatiles reduces moth oviposition. *Elife* (2): e00421.
- ANTON, S; HANSSON, B. 1994. Central processing of sex-pheromone, host odor; oviposition deterrent information by interneurons in the antennal lobe of female *spodoptera littoralis* (lepidoptera, noctuidae). *Journal of Comparative Neurology* 350 (2): 199-214.
- ANTON, S. AND B. S. HANSSON (1995). Sex pheromone and plant-associated odor processing in antennal lobe interneurons of male *spodoptera littoralis* (lepidoptera, noctuidae). *Journal of Comparative Physiology A: Sensory Neural and Behavioral Physiology* 176 (6): 773-789.
- BELL, W. J.; PARSONS, C.; MARTINKO, E. A. 1972. Cockroach aggregation pheromones: Analysis of aggregation tendency and species specificity (orthoptera: Blattidae). *Journal of the Kansas Entomological Society* 45 (4): 414-421.
- BIERE, A.; BENNETT, A. E.; FOX, C. 2013. Three-way interactions between plants, microbes and insects. *Functional Ecology* 27 (3): 567-573.
- BJOSTAD, L. B; HIBBARD, B. E. 1992. 6-methoxy-2-benzoxazolinone: A semiochemical for host location by western corn rootworm larvae. *Journal of Chemical Ecology* 18 (7): 931-944.
- BRUCE, T. J.; PICKETT, J. A. 2011. Perception of plant volatile blends by herbivorous insects—finding the right mix. *Phytochemistry* 72 (13): 1605-1611.
- BRUCE, T. J. A.; WADHAMS, L. J.; WOODCOCK, C. M. 2005. Insect host location: A volatile situation. *Trends in Plant Science* 10 (6): 269-274.
- BUCK, L; R. AXEL. 1991. A novel multigene family may encode odorant receptors: A molecular basis for odor recognition. *Cell* 65 (1): 175-187.
- BUTENANDT, A.; BECKMANN, R.; STAMM, D.; HECKER, E. 1959. Über den sexuallockstoff des seidenspinners *bombyx mori*. Reindarstellung und konstitution. *Zeitschrift für Naturforschung B* 14 (4): 283-284.
- BYERS, J. A.; ZHANG, Q.-H.; BIRGERSSON, G. 2000. Strategies of a bark beetle, *pityogenes bidentatus*, in an olfactory landscape. *Naturwissenschaften* 87 (11): 503-507.
- BYERS, J. A.; ZHANG, Q.-H.; BIRGERSSON, G. 2004. Avoidance of nonhost plants by a bark beetle, *pityogenes bidentatus*, in a forest of odors. *Naturwissenschaften* 91 (5): 215-219.

- CLYNE, P. J.; WARR, C. G.; FREEMAN, M. R.; LESSING, D.; KIM, J. H.; CARLSON, J. R. 1999. A novel family of divergent seven-transmembrane proteins: Candidate odorant receptors in *Drosophila*. *Neuron* 22 (2): 327-338.
- DAVIS, T. S.; CRIPPEN, T. L.; HOFSTETTER, R. W.; TOMBERLIN, J. K. 2013. "Microbial volatile emissions as insect semiochemicals." *Journal of Chemical Ecology* 39 (7): 840-859.
- DE BRUYNE, M.; BAKER, T. C. 2008. Odor detection in insects: Volatile codes. *Journal of Chemical Ecology* 34 (7): 882-897.
- DICKENS, J.; JANG, E.; LIGHT, D.; ALFORD, A. 1990. Enhancement of insect pheromone responses by green leaf volatiles. *Naturwissenschaften* 77 (1): 29-31.
- Dowd, P. F. and R. J. Bartelt (1991). "Host-derived volatiles as attractants and pheromone synergists for dried fruit beetle *carpophilus hemipterus*." *Journal of chemical ecology* 17 (2): 285-308.
- EISNER, T.; MEINWALD, J. 1995. *Chemical ecology: The chemistry of biotic interaction*. Washington D.C.; National Academy Press.
- EL-SAYED, A. 2014. The pherobase: Database of pheromones and semiochemicals. Retrieved June 25, 2015, from <http://www.pherobase.com>.
- ERBILGIN, N.; RAFFA, K. F. 2000. Effects of host tree species on attractiveness of tunneling pine engravers, *ips pini*, to conspecifics and insect predators. *Journal of Chemical Ecology* 26 (4): 823-840.
- GRIES, R.; BRITTON, R.; HOLMES, M.; ZHAI, H.; DRAPER, J.; GRIES, G. 2015. Bed bug aggregation pheromone finally identified. *Angewandte Chemie* 127 (4): 1151-1154.
- HANSSON, B.; LARSSON, M. C.; LEAL, W. S. 1999. Green leaf volatile-detecting olfactory receptor neurones display very high sensitivity and specificity in a scarab beetle. *Physiological Entomology* 24 (2): 121-126.
- HARBORNE, J. B. 2001. Twenty-five years of chemical ecology. *Natural Products Report* 18 (4): 361-379.
- HARTMANN, T. 2008. The lost origin of chemical ecology in the late 19th century. *PNAS* 105 (12): 6.
- HAYES, J. L.; STROM, B. L.; ROTON, L. M.; INGRAM JR. L. L. 1994. Repellent properties of the host compound 4-allylanisole to the southern pine beetle. *Journal of Chemical Ecology* 20(7): 1595-1615.
- JACOBSON, M. 2012. *Insect sex pheromones*, Elsevier.
- KNIGHT, A. L.; LIGHT, D. M. 2001. Attractants from bartlett pear for codling moth, *cydia pomonella* (L.), larvae. *Naturwissenschaften* 88 (8): 339-342.
- LANDOLT, P. J.; PHILLIPS, T. W. 1997. Host plant influences on sex pheromone behavior of phytophagous insects. *Annual Review of Entomology* 42 (1): 371-391.
- LIGHT, D. M.; FLATH, R. A.; BUTTERY, R. G.; ZALOM, F. G.; RICE, R. E.; DICKENS, J. C.; JANG, E. B. 1993. Host-plant green-leaf volatiles synergize the synthetic sex pheromones of the corn earworm and codling moth (Lepidoptera). *Chemoecology* 4 (3-4): 145-152.
- LINN, C. E.; CAMPBELL, M. G.; ROELOFS, W. L. 1986. Male moth sensitivity to multicomponent pheromones: Critical role of female-released blend in determining the functional role of components and active space of the pheromone. *Journal of Chemical Ecology* 12 (3): 659-668.
- MUNIAPPAN, R.; BAMBA, J.; CRUZ, J.; REDDY, G. 2004. Field response of guam populations of the new guinea sugarcane weevil, *rhabdoscelus obscurus* (boisduval)(Coleoptera: Curculionidae), to aggregation pheromones and food volatiles. *Micronesica* 37 (1): 57-68.
- PARTY, V.; HANOT, C.; BUSSE, D. S.; ROCHAT, D.; RENO, M. 2013. Changes in odor background affect the locomotory response to pheromone in moths. *PLoS One* 8 (1): e52897.

- PREGITZER, P.; SCHUBERT, M.; BREER, H.; HANSSON, B. S.; SACHSE, S.; KRIEGER, J. 2012. Plant odorants interfere with detection of sex pheromone signals by male *heliopsis virescens*. *Frontiers in Cellular Neuroscience* 6: 42.
- REDDY, G. V.; GUERRERO, A. 2004. Interactions of insect pheromones and plant semiochemicals. *Trends in Plant Science* 9 (5): 253-261.
- REDDY, G. V. P.; HOLOPAINEN, J. K.; GUERRERO, A. 2002. Olfactory responses of *plutella xylostella* natural enemies to host pheromone, larval frass; green leaf cabbage volatiles. *Journal of Chemical Ecology* 28 (1): 131-143.
- REINECKE, A.; RUTHER, J.; HILKER, M. 2002. The scent of food and defence: Green leaf volatiles and toluquinone as sex attractant mediate mate finding in the european cockchafer *melolontha melolontha*. *Ecology Letters* 5 (2): 257-263.
- RIFFELL, J. A.; SHLIZERMAN, E.; SANDERS, E.; ABRELL, L.; MEDINA, B.; HINTERWIRTH, A. J.; KUTZ, J. N. 2014. Flower discrimination by pollinators in a dynamic chemical environment. *Science* 344 (6191): 1515-1518.
- ROUYAR, A.; DEISIG, N.; DUPUY, F.; LIMOUSIN, D.; WYCKE, M.-A.; RENOU, M.; ANTON, S. 2015. Unexpected plant odor responses in a moth pheromone system. *Frontiers in Physiology* 6: 148.
- SIGNORETTI, A. G. C.; PENAFLO, M. F. G. V.; BENTO, D. J. M. S. 2012. Fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Je Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), female moths respond to herbivore-induced corn volatiles. *Neotropical Entomology* 41 (1): 22-26.
- STENSMYR, MARCUS, C.; HANY, K. M.; DWECK, A.; FARHAN, I.; IBBA, A.; STRUTZ, L.; MUKUNDA, J.; LINZ, V.; GRABE, K.; STECK, S.; LAVISTA-LLANOS, D.; WICHER, S.; SACHSE, M.; KNADEN, PAUL, G. BECHER, Y.; SEKI, BILL, S.; HANSSON. 2012. A conserved dedicated olfactory circuit for detecting harmful microbes in *Drosophila*. *Cell* 151 (6): 1345-1357.
- SYMONDS, M. R. E.; GITAU-CLARKE, C. W. 2016. The evolution of aggregation pheromone diversity in bark beetles. *Advances in Insect Physiology* 50: 195-234.
- TASIN, M.; BÄCKMAN, A.-C.; CORACINI, M.; CASADO, D.; IORIATTI, C.; WITZGALL, P. 2007. Synergism and redundancy in a plant volatile blend attracting grapevine moth females. *Phytochemistry* 68 (2): 203-209.
- TRONA, F.; ANFORA, G.; BALKENIUS, A.; BENGTSSON, M.; TASIN, M.; KNIGHT, A.; JANZ, N.; WITZGALL, P.; IGNELL, R. 2013. Neural coding merges sex and habitat chemosensory signals in an insect herbivore. *Proceedings of the Royal Society B* 280 (1760): 1-8.
- VANDER MEER, R. K.; BREED, M. D.; ESPELIE, K. E.; WINSTON, M. L. 1998. Pheromone communication in social insects. Boulder, Colorado, Westviw Press.
- VOSSHALL, L. B. 2008. Scent of a fly. *Neuron* 59 (5): 685-689.
- VOSSHALL, L. B.; AMREIN, H.; MOROZOV, P. S.; RZHETSKY, A.; AXEL, R. 1999. A spatial map of olfactory receptor expression in the *Drosophila* antenna. *Cell* 96 (5): 725-736.
- XIAO, Y.; WANG, Q.; ERB, M.; TURLINGS, T. C. J.; GE, L.; HU, L.; LI, J.; HAN, X.; ZHANG, T.; LU, J.; ZHANG, G.; LOU, Y. 2012. Specific herbivore-induced volatiles defend plants and determine insect community composition in the field. *Ecology Letters* 15 (10): 1130-1139.
- YANG, Z. H.; BENGTSSON, M.; WITZGALL, P. 2004. Host plant volatiles synergize response to sex pheromone in codling moth, *cydia pomonella*. *Journal of Chemical Ecology* 30 (3): 619-629.
- YEW, J. Y.; CHUNG, H. 2015. Insect pheromones: An overview of function, form; discovery. *Progress in lipid research* 59: 88-105.



---

## Semioquímicos de picudos (Coleoptera: Curculionidae): Un aporte al desarrollo de la fruticultura en Colombia

Alicia Romero Frías

Universidad Antonio Nariño. Cra 3 Este No.47A-15 Bl.4, P.4. Sede Circunvalar-Bogotá. [aaromero@uan.edu.co](mailto:aaromero@uan.edu.co)

---

**Resumen.** Los curculionídeos se consideran como unas de las principales plagas de los cultivos de frutales en Colombia. Estos insectos se encuentran ampliamente distribuidos en las diferentes zonas de producción y causan pérdidas significativas en los diferentes departamentos productores. Los estudios presentados se realizaron con el objetivo de identificar los compuestos orgánicos volátiles (VOCs) responsables de las interacciones en los sistemas planta-insecto a través de tres etapas: en la primera se identificaron los VOCs responsables de las interacciones planta-insecto e insecto-insecto; en la segunda se evaluó la interacción entre los VOCs identificados y los curculionídeos bajo estudio y en la tercera, con base en la atracción de los semioquímicos identificados, se plantearon alternativas para la captura de los individuos adultos en el campo. Se identificaron los VOCs que median la comunicación en los sistemas guayaba (*Psidium guajava*)-*Conotrachelus psidii* Marshall y aguacate (*Persea americana*)-*Heilipus lauri* Boheman, tanto las kairomonas (limoneno,  $\beta$ -cariofileno) provenientes de las plantas hospederas como los componentes macho específicos de sus feromonas de agregación, los cuales para ambas especies de picudos poseen estructuras cíclicas tipo monoterpenoides. La evaluación de las respuestas electrofisiológicas y de comportamiento de los picudos permitió determinar la atracción de los insectos hacia algunos de los VOCs provenientes de sus hospederos y de los propios insectos. Así, se confirmó la participación del limoneno y derivados del grandisol como semioquímicos de las especies y se estableció que podrían ser potencialmente usados para la detección y el monitoreo de los adultos en el campo.

**Palabras clave.** Feromonas. Kairomonas. Comunicación química.

**Abstract.** Weevils are considered one of the greatest pests in Colombian fruit crops. These pests are widely distributed in the different areas of production in Colombia and causes significant losses in regions, in which fruit trees are a very important crops. We present results of some studies carried out with the aim of identifying the volatile organic compounds (VOCs) involved in the interaction of the systems plant-insect. The research involved three stages: the VOCs responsible of the interactions plant-insect and insect-insect were identified, then the interaction between the identified VOCs and the weevils were evaluated and finally an alternative for the capture of insect was tested in the field, based on the attraction towards the identified semiochemicals. VOCs that mediated communication in guava (*Psidium guajava*)-*Conotrachelus psidii* Marshall and avocado (*Persea americana*)-*Heilipus lauri* Boheman systems were identified. Limonene and  $\beta$ -cariofileno were detected, suggesting a possible role as kairomones for insects host plant finding.

Additionally, male-specific VOCs, were identified as potential to be pheromone components, for both species of weevil these compounds have cyclic monoterpenoid type structures. The weevil's behavioral and electrophysiological responses allowed establishing the insect attraction to some of the VOCs from the host and their conspecifics. Thus, the participation of limonene and the derivate grandisol as semiochemicals species was confirmed and its potential use for detection and monitoring of the

weevils was established. These results represent a very useful tool to be included as a part of the integrated management program of this pest through the use of semiochemicals.

**Key words:** Pheromone. Kairomone. Chemical communication.

## Introducción

Los semioquímicos, en particular las feromonas, han sido ampliamente utilizadas para el manejo de plagas y en su uso se ha identificado la ventaja de no ser tóxicas para los humanos ni para los artrópodos. Las feromonas producidas por los insectos presentan un gran potencial como herramientas para el manejo de plagas. Estas han sido usadas tanto para el monitoreo de poblaciones de plagas como en el control directo de las mismas. Las trampas con feromonas suministran un camino fácil y eficiente para la detección de poblaciones de insectos en el campo o para el control de insectos-plaga a través de la interrupción del apareamiento o por captura de los insectos por medio del uso de trampas cebadas con atrayentes. Las trampas con feromonas son específicas para cada especie, y su uso en el manejo de plagas presenta ventajas tales como el bajo costo de aplicación y un potencial bajo de que las plagas desarrollen resistencia a estas, en contraste de lo que ocurre con los plaguicidas corrientes (Witzgall *et al.* 2010; Tewari *et al.* 2014).

En respuesta a la problemática que representan las especies *Conotrachelus psidii* y *Heilipus laurien* los cultivos de guayaba y aguacate respectivamente, se han realizado diferentes estudios dirigidos a establecer posibles opciones de manejo y control de este insecto-plaga, entre los que se han incluido: control cultural (podas sanitarias, eliminación de frutos infestados, transporte de frutos) y control químico (ICA, 2012), pero aún no se han considerado las feromonas como una opción viable para el manejo de estos insectos-plagas. Los resultados obtenidos en otros estudios permiten sugerir que los VOCs que median las interacciones insecto-insecto y planta-insecto del *C. psidii* y el *H. lauri* pueden influir en el ataque que realizan estos insectos sobre los cultivos de guayaba y aguacate, lo cual indica que podrían ser utilizados como atrayentes en trampas y constituirse en una alternativa amigable con el ambiente para el manejo de estas plagas.

## Materiales y métodos

Las colonias de insectos adultos de ambas especies bajo estudio fueron establecidas con adultos de edad y estado de apareamiento desconocido, recolectados en cultivos comerciales de guayaba y aguacate respectivamente. Los frutales de guayaba estaban localizados en la vereda Popoba Sur sector Delicias, municipio de Puente Nacional (Santander, Colombia) y los de aguacate en la vereda Tesoritos, municipio de Herveo (Tolima, Colombia). Durante la obtención de los individuos adultos de ambas especies se consideraron los aspectos morfológicos y ciclos de vida, así como la fluctuación poblacional de los adultos en función de la infestación en las zonas elegidas para el estudio. Los insectos recolectados se llevaron al laboratorio en Bogotá en donde se alimentaron con frutos de guayaba y aguacate, se diferenciaron sexualmente por observación con un estereoscopio, para la separación se consideraron las características del dimorfismo sexual de las especies. Los insectos se mantuvieron en el laboratorio hasta la realización de las extracciones y los bioensayos.

Los VOCs liberados por los insectos se recolectaron, por medio de las técnicas de Headspace estático - Microextracción en fase sólida (HS-MEFS) y Headspace dinámico (HSD). Los extractos de los

VOCs liberados por los machos y hembras de las especies bajo estudio se analizaron posteriormente por CG-EM (cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas), con miras a separar e identificar los posibles candidatos a ser los componentes de las feromonas de agregación de estas especies.

Para evaluar la respuesta de los individuos adultos de *C. psidii* y *H. lauri* frente a los VOCs identificados se realizaron evaluaciones electrofisiológicas de las especies frente a diferentes fuentes de olor a través del uso de la técnica de cromatografía de gases acoplada a electroantenografía (CG-EAD) y luego, las respuestas de comportamiento a través del empleo de un olfatómetro en Y. La evaluación de comportamiento se realizó para tiempos determinados con los registros correspondientes. Para darle validez estadística a los resultados se realizaron mínimo 20 réplicas de cada bioensayo. La comparación de las respuestas binarias de los insectos en las medidas olfatométricas se analizaron con la prueba chi-cuadrado. El análisis de los datos se realizó con el programa WinSTAT para Excel 2007 (V. 2012.1.0.84). Adicional a lo mencionado, en el sistema guayaba-*Conotrachelus psidii*, se evaluó el efecto de los VOCs caracterizados como atrayentes de insectos adultos de *C. psidii* en cultivos de guayaba.

**Semioquímicos responsables de la comunicación en las especies.** En la Tabla 1 se resumen los resultados obtenidos para machos y hembras de *C. psidii* por los dos métodos de extracción mencionados. El limoneno y el  $\beta$ -cariofileno se detectaron en machos y en hembras, tanto por HS-MEFS como por HSD. Además por HSD se logró detectar  $\alpha$ -humuleno como compuesto común en machos y hembras.

**Tabla 1.** Cantidades relativas de VOCs liberados por machos y hembras de *Conotrachelus psidii*. Std, identificado con base en el índice de retención y el espectro de masas con un patrón de referencia; EM, detectado y propuesto de acuerdo con el índice de retención y el espectro de masas reportado en la literatura; IR=índice de retención calculado para dos columnas de polaridades distintas (RTX-5 y FFAP); cantidad relativa calculada a partir del área del pico (%) y promedio de tres determinaciones: - = No detectado, + < 5 %, ++ entre 5-10 %, +++ entre 10-15 %, ++++ >15 %.

No	Compuesto	Fuente	IR		Cantidad de VOC			
					Machos		Hembras	
			RTX-5	FFAP	HS-MEFS	HSD	HS-MEFS	HSD
1	$\beta$ -Pineno	Std	994	1107			+	
2	Limoneno	Std	1034	<1200	+		+	+
3	Eucaliptol	Std	1038	1190			+	
4	VOC MinoritarioFeromona	---	1192	1713	+		+	
5	Decanal	Std	1208	1480	+		+	
6	VOC MayoritarioFeromona	Std	1280	1856	++++		++++	
7	Copaeno	EM	1387	----			+	
8	$\beta$ -Cariofileno	Std	1433	1594	+		+	++
9	$\alpha$ -Humuleno	Std	1468	1656			+	+
10	(+)-Aromadendreno	Std	1476	1701			+	

El hecho de que los compuestos limoneno y el  $\beta$ -cariofileno, identificados en la planta de guayaba hayan sido detectados en los insectos adultos de *C. psidii*, sugiere su papel como aleloquímicos, específicamente como cairomonas; así que estos compuestos que son liberados por la planta y por el *C. psidii* deberían influir en la comunicación química entre estas dos especies. Las cairomonas provenientes de su planta hospedera podrían ayudarle a los adultos de *C. psidii* a establecer la disponibilidad de un sitio para alimentarse y ovipositar (Romero-Frías *et al.* 2015).

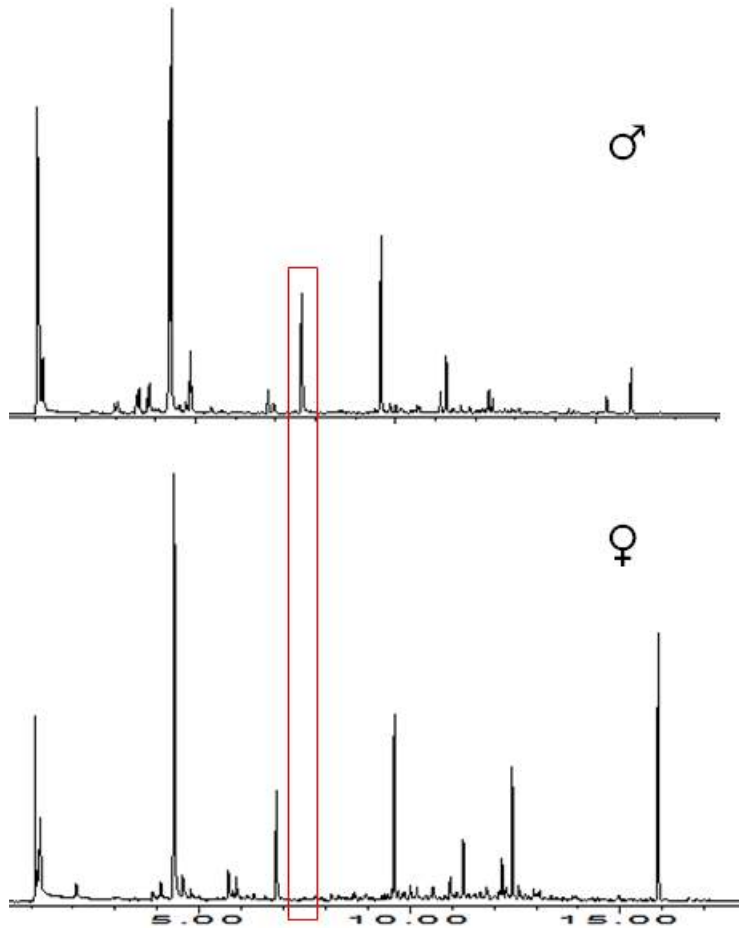
También se lograron detectar dos compuestos macho-específicos, compuestos 4 y 6 de la Tabla 1. Estos dos compuestos, minoritario 4 y mayoritario 6, no han sido reportados como productos naturales vegetales. Teniendo en cuenta las estructuras químicas que han sido previamente identificadas para curculionídeos de especies cercanas al *C. psidii*, resultó razonable proponer una estructura que se encontrará relacionada con el mismo esqueleto terpenoide. Así, por comparación de los índices de retención y de los espectros de masas con una muestra de papayanol sintético con estereoquímica definida, la estructura del compuesto mayoritario se confirmó como 2-hidroxi-2,6-dimetil-3-oxabicyclo 4.2.0octano con fórmula molecular  $M=C_{10}H_{18}O_2$  (Romero-Frías *et al.* 2016). El nombre de este compuesto se debe a que fue identificado por primera vez como uno de los componentes de la feromona de agregación del picudo de la papaya *Pseudopiazurus obesus* (Zarbin *et al.* 2007, Zarbin *et al.* 2010).

Con base en el espectro de masas del compuesto minoritario, se sugirió como estructura más probable el 2-formil-2,6-dimetil-3-oxabicyclo 4.2.0 octano, con fórmula molecular:  $M=C_{10}H_{16}O_2$ , el cual sería obtenido por oxidación del papayanol y por ser su aldehído, se le denominó “*Papayanal*”. Para confirmar la identidad estructural del papayanal se realizó su síntesis y posterior caracterización a través de técnicas de análisis químico previstas para tal fin (Romero-Frías *et al.* 2016).

La técnica de CG-EAD se empleó para evaluar los VOCs identificados. Las antenas de los machos y las hembras del *C. psidii* no fueron estimuladas por los compuestos  $\beta$ -cariofileno y limoneno bajo las condiciones de análisis. La respuesta de un insecto frente a un VOC específico puede verse afectada por su concentración, también es posible que las antenas del *C. psidii* posean pocos receptores para estos compuestos, pero para confirmar ambas hipótesis se requiere realizar otros estudios. En el caso del (1*R*,2*S*,6*R*)-papayanol se encontró que este compuesto macho-específico provocaba respuestas en las antenas en los insectos adultos de *C. psidii*, lo que hizo evidente que este compuesto hace parte de los componentes de la feromona de agregación de la especie (Romero-Frías, 2015).

La atracción del insecto frente al papayanol en distintas combinaciones en laboratorio permitió confirmar su papel como componente mayoritario de la feromona de agregación de esta especie. Estos resultados fueron corroborados bajo condiciones de campo, lo que indicó que este compuesto puede ser usado como atrayente e incorporado como una herramienta potencial dentro del programa de manejo integrado de este insecto-plaga.

Para los insectos adultos de *Heilipus laurise* logró detectar un compuesto macho-específico (Figura 1). Al comparar su índice de retención y su espectro de masas contra un patrón de referencia se confirmó su estructura, el compuesto se identificó inequívocamente como (1*R*,2*S*)-grandisol. Este compuesto ha sido reportado como componente de la feromona de agregación de otros curculionídeos de la misma familia (Zarbin *et al.* 2010).



**Figura 1.** Cromatogramas de los VOCs liberados por machos (♂) y hembras (♀) adultos de *H. lauri* con HS-MEFS en una columna ZB-5, mostrando el compuesto macho-específico.

Para confirmar la atracción de los adultos de *Heilipus lauri* al compuesto identificado, actualmente se están evaluando las respuestas olfativa y electrofisiológica del insecto, a partir de lo cual se podrá contribuir al desarrollo de una estrategia para el monitoreo y control de esta plaga mediante el uso de los componentes de su feromona.

### Conclusión

En la comunicación de los curculionídeos *C. psidii* y *H. lauri* participan kairomonas provenientes de sus plantas hospederas y una feromona de agregación macho-específica. Los semioquímicos identificados en este estudio podrán ser usados como atrayentes en trampas para la detección, el monitoreo y el manejo de estas plagas en cultivos de guayaba y aguacate respectivamente, reduciendo el uso de insecticidas y preservando los enemigos naturales en los agroecosistemas.

## Referencias

- FOSTER, S.; HARRIS, S. 1997. Behavioural manipulation methods for insect pest management. *Annual Review of Entomology*, 42: 123–146.
- ICA. 2012. Manejo fitosanitario del cultivo del aguacate Hass (*Persea americana* Mill). Bogotá. Colombia.
- ROMERO-FRÍAS, A.; MURATA, Y.; SIMOES-BENTO, J.M.; OSORIO, C. 2016. (1R,2S,6R)-Papayanal: A new male-specific volatile released by the guava weevil *Conotrachelus psidii* (Coleoptera: Curculionidae). *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*. DOI 10.1080/09168451.2015.1136877.
- ROMERO-FRÍAS, A.; MURATA, Y.; SIMOES-BENTO, J.M.; OSORIO, C. 2015. Chemical signaling between guava (*Psidium guajava* L, Myrtaceae.) and the guava weevil (*Conotrachelus psidii* Marshall). *Revista de la Facultad de Ciencias Básicas de la Universidad Militar Nueva Granada*. 11. 102-113.
- ROMERO-FRÍAS, A. Semioquímicos responsables de la interacción entre la guayaba (*Psidium guajava* L. y el picudo de la guayaba *Conotrachelus psidii* Marshall. Tesis de Doctorado en Ciencias-Química. Departamento de Química. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia.
- TEWARI, S.; LESKEY, T.; NIELSEN, A.; RODRIGUEZ-SAONA, J.; PIÑERO, C. 2014. Integrated Pest Management. Elsevier Inc. San Diego. USA. Capítulo 9. Use of pheromones in insect pest management, with special attention to weevil pheromones 141-168.
- WITZGALL, P.; KIRSCH, P.; CORK, A. 2010 Sex pheromones and their impact on pest management. *Journal of Chemical Ecology* 36: 80-100.
- ZARBIN, P.; MOREIRA, M.; HAFTMANN, J.; FRANCKE, W.; OLIVEIRA, A. 2007. Male-specific volatiles released by the Brazilian papaya weevil, *Pseudopiazurusobesus*: Partial identification and evidence of an aggregation pheromone. *Journal of Brazilian Chemical Society* 18:1048-1053.
- ZARBIN, P.; MOREIRA, M.; HAFTMANN, J.; TROGER, A.; FRANCKE, S.; KOPF, J.; MORI, K.; FRANCKE, W. 2010. (1R,2S,6R)-2-Hydroxymethyl-2,6-dimethyl-3-oxabicyclo[4.2.0]octane, a new volatile released by males of the papaya borer *Pseudopiazurusobesus* (Col.: Curculionidae). *Organic Letters* 12:2447-2449.

## Bacterias asociadas al intestino de *Spodoptera frugiperda* regulan defensas en plantas

Flor Edith Acevedo<sup>1</sup>, Michelle Peiffer<sup>2</sup> y Gary Felton<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Investigador científico; <sup>2</sup>Research Support Assistant; [floredith.acevedo@gmail.com](mailto:floredith.acevedo@gmail.com). <sup>3</sup>Professor.

<sup>1</sup>Centro Nacional de Investigaciones de café, Cenicafé; <sup>2,3</sup>Penn State University Department of Entomology; [mlk101@psu.edu](mailto:mlk101@psu.edu); [gwf10@psu.edu](mailto:gwf10@psu.edu)

---

El daño mecánico causado por los insectos al alimentarse combinado con moléculas presentes en la saliva y las secreciones orales inducen respuestas defensivas en plantas asociadas al ácido jasmónico. Este estudio investigó el efecto de bacterias presentes en las secreciones orales de *Spodoptera frugiperda* en la inducción de defensas en plantas de maíz y tomate. Usando métodos de cultivos se identificaron siete diferentes aislamientos de bacterias pertenecientes a la familia Enterobacteriaceae en las secreciones orales de *S. frugiperda* provenientes de campo. Dos aislamientos, *Pantoea ananatis* y Enterobacteriaceae-1 suprimieron la actividad de las proteínas de defensa polifenol oxidasa e inhibidores de tripsina e incrementaron la actividad de peroxidasa en tomate. Un aislamiento de *Raoultella* sp. y *Klebsiella* sp. redujeron la actividad de peroxidasa e incrementaron la actividad de inhibidores de tripsina en tomate. Al contrario, todos los aislamientos de bacterias incrementaron la expresión del gen de inhibidores de proteasas en maíz *mpi*. Plantas tratadas con *P. ananatis* y Enterobacteriaceae-1 incrementaron el crecimiento de larvas de *S. frugiperda* en tomate, pero redujeron su crecimiento en maíz. Estos resultados resaltan la importancia de los microbios asociados a insectos en su habilidad para mediar interacciones con sus plantas huésped en forma específica para diferentes especies de plantas afectadas por el mismo herbívoro.

Texto completo disponible en:

ACEVEDO, F. E.; PEIFFER, M.; TAN, C. W.; STANLEY, B. A.; STANLEY, A.; HOOVER, K.; ROSA, C.; LUTHE, D.; FELTON, G. W. 2017. Fall armyworm-associated gut bacteria modulate plant defense responses. *MolecularPlant Microbe Interactions* 30 (2): 127-137. doi: <http://dx.doi.org/10.1094/MPMI-11-16-0240->



## La importancia de los hongos endófitos en la modulación de las interacciones planta-insecto

Sandra Aragón

Investigador PhD. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Corpoica. Km 14 vía Mosquera, Colombia. [saragon@corpoica.org.co](mailto:saragon@corpoica.org.co)

---

Las plantas liberan una variedad de compuestos volátiles que juegan un papel importante en las interacciones con individuos de su misma especie y con organismos de otros niveles tróficos (Dudareva *et al.* 2006; Gershenzon y Dudareva 2007). Muchos de estos compuestos volátiles que actúan como atrayentes de insectos asociados han sido identificados para casos muy específicos (Bruce *et al.* 2005; Mann *et al.* 2012; Metcalf y Metcalf 1991; Sasso *et al.* 2009; van Dam *et al.* 2010). Sin embargo, los volátiles de las plantas son dinámicos y pueden ser modulados por factores bióticos y abióticos que como resultado pueden afectar las interacciones con otras especies (Dicke *et al.* 2009).

Las interacciones planta-insecto han sido ampliamente estudiadas basados en la interacción ecológica uno a uno, es decir, describiendo la comunicación mediada por señales químicas emitidas por las plantas y que son reconocidas por los insectos. Lo cual les permite obtener información acerca de la ubicación y la calidad de su planta hospedera. Sin embargo, esta comunicación química puede ser modulada, de acuerdo a diferentes factores que influyen en la producción *de novo* de algunos compuestos orgánicos volátiles, o la variación en la concentración o proporción de dichos compuestos, generando así una respuesta en los organismos de diferentes niveles tróficos que se valen de estas señales para localizar su hospedero.

Uno de los factores bióticos ampliamente reportado por su efecto en la modulación de la interacción planta-insecto, es la presencia de hongos endófitos en los tejidos vegetales. Definidos como microorganismos que viven durante todo o parte de su ciclo de vida dentro de los tejidos de plantas vivas sin ocasionar ningún síntoma o efecto negativo en su planta hospedera y su colonización a nivel interno es demostrable (Rodríguez *et al.* 2009; Saikkonen *et al.* 1998; Schulz y Boyle 2006).

Adicionalmente, los microorganismos endófitos pueden conferir a sus plantas hospederas diferentes beneficios, por ejemplo, actúan como agentes promotores de crecimiento, o elicitores de mecanismos de defensa que potencialmente pueden preparar a la planta para defenderse del ataque de patógenos o insectos plaga. Aunque la mayoría de estudios que involucran a hongos endófitos en las interacciones multitróficas han sido desarrollados con endófitos de gramíneas (Li *et al.* 2014; Saikkonen *et al.* 2013), existen reportes de los efectos de algunos endófitos colonizadores de raíces que tienen la capacidad de afectar el perfil de compuestos volátiles emitidos por la planta y en consecuencia afectan su interacción con algunos insectos plaga aumentando la atracción de los fitófagos (Jallow *et al.* 2008; Schausberger *et al.* 2012).

Este simposio está dirigido a la comprensión del papel de los hongos endófitos en las interacciones multitróficas, se hará una revisión de los conceptos básicos involucrados en este tipo de interacciones, los usos potenciales en el manejo integrado de plagas y las ventajas del uso de microorganismos endófitos en la agricultura nacional. Se discutirán brevemente algunos de los efectos indirectos ocasionados por los hongos endófitos en parámetros fisiológicos de las plantas que en consecuencia

afectan la oviposición y atracción de insectos plaga. De esta manera se contribuye con el entendimiento de las interacciones multitróficas entre plantas solanáceas - hongos endófitos - insectos herbívoros. Se enfocará en responder a tres temas principales: i) Conocer la capacidad de los hongos evaluados para colonizar endófitamente los tejidos de la planta de tomate mediante diferentes métodos de inoculación, ii) reconocer los parámetros de la planta que son afectados por la colonización endófito y iii) conocer si el efecto de los hongos en las plantas permite que indirectamente la interacción de la planta con su entorno se afecte.

**Palabras clave.** Interacciones microorganismo-planta-insecto, Compuestos orgánicos volátiles, Selección de planta hospedera, hongos endófitos.

## Referencias

- BRUCE, T. J. A.; WADHAMS, L. J.; AND WOODCOCK, C. M. 2005. Insect host location: A volatile situation. *Trends Plant Sci.* 10, 269–274. doi:10.1016/j.tplants.2005.04.003.
- DUDAREVA, N.; NEGRE, F.; NAGEGOWDA, D. A.; AND ORLOVA, I. 2006. Plant Volatiles: Recent Advances and Future Perspectives. *CRC. Crit. Rev. Plant Sci.* 25, 417–440. doi:10.1080/07352680600899973.
- GERSHENZON, J.; AND DUDAREVA, N. 2007. The function of terpene natural products in the natural world. *Nat. Chem. Biol.* 3, 408–14. doi:10.1038/nchembio.2007.5.
- JALLOW, M. F. A.; DUGASSA-GOBENA, D.; VIDAL, S. 2008. Influence of an endophytic fungus on host plant selection by a polyphagous moth via volatile spectrum changes. *Arthropod. Plant. Interact.* 2, 53–62. doi:10.1007/s11829-008-9033-8.
- LI, T.; BLANDE, J. D.; GUNDEL, P. E.; HELANDER, M.; SAIKKONEN, K. 2014. Epichloë endophytes alter inducible indirect defences in host grasses. *PLoS One* 9, e101331. doi:10.1371/journal.pone.0101331.
- MANN, R. S.; ALI, J. G.; HERMANN, S. L.; TIWARI, S.; PELZ-STELINSKI, K. S.; ALBORN, H. T.; *et al.* 2012. Induced release of a plant-defense volatile “Deceptively” attracts insect vectors to plants infected with a bacterial pathogen. *PLoS Pathog* 8, e1002610. doi:10.1371/journal.ppat.1002610.
- METCALF, R. L.; METCALF, E. R. 1991. Plant kairomones in insect ecology and control. First edit. , eds. R. L. Metcalf and E. R. Metcalf New york: Chapman and Hall.
- RODRIGUEZ, R. J.; WHITE, J. F.; ARNOLD, A. E.; REDMAN, R. S.; JR, J. F. W.; ARNOLD, A. E.; *et al.* 2009. Fungal endophytes: diversity and functional roles. *New Phytol.* 182, 314–330. doi:10.1111/j.1469-8137.2009.02773.x.
- SAIKKONEN, K.; FAETH, S. H.; HELANDER, M.; AND SULLIVAN, T. J. 1998. Fungal endophytes: A continuum of interactions with host plants. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 29, 319–343. doi:10.1146/annurev.ecolsys.29.1.319.
- SAIKKONEN, K.; GUNDEL, P. E.; HELANDER, M. 2013. Chemical ecology mediated by fungal endophytes in grasses. *J. Chem. Ecol.* 39, 962–8. doi:10.1007/s10886-013-0310-3.
- SASSO, R.; IODICE, L.; WOODCOCK, C. M.; PICKETT, J. A.; GUERRIERI, E. 2009. Electrophysiological and behavioural responses of *Aphidius ervi* (Hymenoptera: Braconidae) to tomato plant volatiles. *Chemoecology* 19, 195–201. doi:10.1007/s00049-009-0023-9.
- SCHAUSBERGER, P.; PENEDER, S.; JÜRSCHIK, S.; HOFFMANN, D. 2012. Mycorrhiza changes plant volatiles to attract spider mite enemies. *Funct. Ecol.* 26, 441–449. doi:10.1111/j.1365-2435.2011.01947.x.
- SCHULZ, B.; BOYLE, C. 2006. What are Endophytes? *Soil Biol.* 9, 1–14. doi:10.1007/3-540-33526-9.

VAN DAM, N. M.; QIU, B.-L.; HORDIJK, C. A.; VET, L. E. M.; JANSEN, J. J. 2010. Identification of biologically relevant compounds in aboveground and belowground induced volatile blends. *J. Chem. Ecol.* 36, 1006–1016. doi:10.1007/s10886-010-9844-9.

## **Simposio 8.**

# **Experiencias exitosas de Manejo Integrado de plagas**

---

**Coordinación: Amanda Varela Ramírez y Diana Rueda Ramírez**  
Pontificia Universidad Javeriana; Est. Doctorado. Universidade de Sao  
Paulo Escola Superior de Queiroz Piracicaba, SP, Brasil

### **Participantes:**

Diego Fernando Villanueva-Mejía  
Universidad EAFIT

Martha Eugenia Londoño Zuluaga  
Pensionada de Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, CORPOICA

Cristo Rafael Pérez Cordero  
Fedearroz, Fondo Nacional del arroz, Seccional Montería

## SIMPOSIO

### **Experiencias exitosas de manejo integrado de plagas**

**Coordinadoras: Amanda Varela Ramírez y Diana Rueda Ramírez**

**Descripción:** El manejo integrado de plagas (MIP) es un planteamiento dinámico que busca la integración de métodos o prácticas de control de plagas para adelantarse a su aparición en los cultivos. Puede integrar control cultural, físico, químico, biológico e incluso aspectos de normatividad. Se comenzó a usar en gran escala en los años 80, pero aún hoy en Colombia no ha sido una estrategia ampliamente difundida y utilizada en el manejo de cultivos. De hecho, existen pocas personas con experiencia en su implementación. Con el fin de difundir y promover para que se convierta realmente en una herramienta utilizada en diferentes cultivos, este simposio quiere mostrar experiencias reales y exitosas de MIP en varios cultivos como rosas y arroz, y cómo se puede lograr que sea una práctica sostenible. Los conferencistas invitados podrán explicar cómo se pueden ajustar las prácticas a las condiciones locales en que se usan. La FAO la está promoviendo en más de 40 países en todo el mundo, mejorando la manera en que se usan plaguicidas de síntesis química, las condiciones de seguridad sanitaria y la contaminación, favoreciendo prácticas agrícolas más sanas con menores perturbaciones en los agrosistemas.

## Aplicación de la Biotecnología Moderna a la Agricultura en Colombia

Application of Modern Biotechnology to Agriculture in Colombia

Diego Fernando Villanueva-Mejía

Departamento de Ciencias Biológicas, Escuela de Ciencias, Universidad EAFIT, Carrera 49 No 7 Sur-50 Medellín, Antioquia Colombia. [dvillanu@eafit.edu.co](mailto:dvillanu@eafit.edu.co).

---

**Resumen.** Colombia representa hoy uno de los países más prometedores en cuanto al desarrollo de su potencial agrícola, para ayudar generar suficiente alimento para las generaciones futuras, debido a factores como disponibilidad de tierras, agua, diversidad topográfica, entre otros. Es importante destacar, que el acuerdo de paz firmado en 2016 entre el Gobierno y las Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia (FARC) puso fin a más de 50 años de conflicto y estableció importantes reglas básicas para el desarrollo rural y agrícola. Sin embargo, Colombia sólo alcanzará su potencial si se adoptan tecnologías competentes para hacer frente a los desafíos que han surgido para la agricultura en el siglo XXI. La biotecnología moderna es claramente un aliado importante para aplicar una amplia gama de tecnologías y sistemas innovadores donde más se necesitan, como aumentar la productividad de los cultivos, aumentar los rendimientos y, en última instancia, garantizar la seguridad alimentaria. Uno de los mayores desafíos está relacionado con el control de plagas en el que se ha demostrado que la biotecnología ofrece soluciones sostenibles. Aquí se presenta un estudio de caso centrado en una de las plagas más limitantes del cultivo de papa, a través del desarrollo de líneas de papa genéticamente modificadas, tal vez una de las más avanzadas investigaciones en biotecnología realizadas bajo el liderazgo de científicos colombianos. En última instancia, el crecimiento suficiente de alimentos para ayudar a alimentar no sólo el país sino la región con la sostenibilidad deseada y la seguridad será responsabilidad de todos.

**Palabras clave.** Necesidades agrícolas. Biotecnología Moderna. *Tecia solanivora*. *Solanum tuberosum*. Cultivos biotecnológicos.

**Abstract.** Colombia represents today one of the most promising countries regarding the development of its agriculture potential to help grow enough food for future generations due to factors such as land availability, water, topographic diversity, among others. Importantly, the peace agreement signed in 2016 between the Government and FARC (Revolutionary Armed Forces of Colombia) put an end to more than 50 years of conflict as well as establishing important ground rules for things such as rural and agricultural development. However, Colombia will only live up to its potential if competent technologies are adopted to face challenges that have arisen for Agriculture in the 21st century. Modern Biotechnology is clearly an important ally to apply a broad array of technologies and innovative systems where they are most needed, such as enhancing crop productivity, increasing yields; ultimately ensuring food security. One of the biggest challenges is related to pest-control in which biotechnology has been demonstrated to offer sustainable solutions. Herein is presented a case study focused on the most limiting pests of potato crops through the development of genetically modified potato lines, perhaps one of the most advanced researches in biotechnology accomplished under the leadership of Colombian scientists. Ultimately, growing enough food to help feed not just the country but the region with the desired sustainability and security will be everyone's responsibility.

**Key words.** Agricultural needs. Modern Biotechnology. *Tecia solanivora*. *Solanum tuberosum*. Biotech crops.

## Introducción

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) en el año 2009 presentó al mundo los grandes desafíos que tiene el sector de la agricultura en el mundo: 1) Producir más alimentos y fibras para alimentar a una población creciente, con una mano de obra menor; 2) Producir más materias primas para un mercado bioenergético potencialmente enorme (potencial para producir energías alternativas); 3) Contribuir al desarrollo global de los numerosos países en desarrollo dependientes de la agricultura; 4) Adoptar métodos de producción más eficaces y sostenibles; 5) Adaptarse al cambio climático (FAO 2009). Estos desafíos deberán ser tenidos en cuenta por Colombia, en su vía de desarrollo agrícola en el presente siglo, teniendo en cuenta la oportunidad de crecimiento del país, al ser uno de los siete países con potencial de ser “despensa agrícola” para el mundo (FAO 2016), el escenario de Colombia frente al acuerdo de paz con las FARC (Fisas Armengol 2016) y de igual forma, los resultados presentados por el último Censo Agropecuario realizado en el país (DANE 2014).

Las medidas a tomar para enfrentar los desafíos del enunciado anterior, deben permitir el aumento de la sostenibilidad, productividad y resiliencia de la agricultura en Colombia, con esfuerzos significativos y prioritarios en investigación y desarrollo, de lo contrario se comprometerá seriamente la producción de alimentos en el país y en las regiones que ya están sufriendo una gran inseguridad alimentaria (FAO 2016). Con esta revisión se presenta un breve panorama de los desafíos que se han planteado para el sector agrícola en el siglo XXI, y de igual forma, cómo la biotecnología moderna es considerada un aliado importante para hacer frente a los desafíos expuestos y así generar alternativas tecnológicas de desarrollo para el sector agrícola en Colombia.

### Grandes retos para la agricultura en el siglo XXI

Las proyecciones de crecimiento poblacional mundial indican que para el año 2050, el número de personas en el mundo incrementará a 9000 millones y de igual forma, que para el año 2100 la cifra superará 10900 millones de personas (FAO 2009). Si a esto se suma, que el promedio de la esperanza de vida pasó de 46 años en el año 1840 a 85 años en el año 2000 (Oeppen y Vaupel 2002), el panorama no es para nada alentador, dado que se proyecta que el umbral siga creciendo y por lo tanto, las fuentes de alimento también. Ahora bien, el problema no es solo el número de personas. La desnutrición se estima afecta hoy a 13 de cada 100 personas en el mundo, donde 143 millones de niños menores de cinco años, están en grado crítico de afectación (FAO 2016), cifras que incluso impactan a Colombia (Fonseca *et al.* 2011; Quiroga 2012)

Para satisfacer esas necesidades y alimentar una población mundial de 9100 millones de personas en el año 2050, se requiere de un aumento en la producción de alimentos de un 70 %, (FAO 2009), reto que seguramente implicaría usar una mayor cantidad de tierra. Sin embargo, los estudios indican que las tierras aptas para agricultura no son infinitas, y por el contrario son limitadas. Los datos muestran que en 2016, habían 1600 millones de hectáreas en el mundo, disponibles para ser cultivadas, y la proyección indica que para el año 2050 solo habrán disponibles 1680 millones, lo que equivale a 5 % de crecimiento en disponibilidad de tierras (Rajib *et al.* 2016), cifra que contrasta con el porcentaje de crecimiento de la población humana (21,3 %). Esto acrecienta el desafío de lograr la seguridad alimentaria, entendiendo



que la necesidad de alimentos no puede satisfacerse dirigiendo las estrategias político-económicas de los estados, simplemente aumentando la cobertura espacial (área) de tierras disponibles para la agricultura.

Por otra parte, el quinto informe del Grupo Intergubernamental de Cambio climático (IPCC) indica que el calentamiento del planeta está sucediendo, lo cual representa otro desafío importante para la humanidad y la agricultura. El cambio climático es un proceso relativamente lento, pero puede acelerarse con el cambio en el uso en la tierra, dado que esto último puede tener efectos nocivos en los ecosistemas y en los procesos ambientales (Rajib *et al.* 2016). Es así como la agricultura, se considera “amenazada” o “presionada” por el cambio climático en alta magnitud, dado que directamente, éste fenómeno afecta la frecuencia de fenómenos meteorológicos, las modalidades de producción agrícola, y la distribución de plagas y/o enfermedades (Kurukulasuriya y Rosenthal 2003; Zhang *et al.* 2017), con consecuencias severas en lugares con graves problemas de desnutrición, en los que hay abundancia de pobreza y menor capacidad de adaptación (IPCC 2014). Sin embargo, vale la pena mencionar que la agricultura también es un sujeto “activo” que contribuye al calentamiento global, gracias a las actividades que hacen parte de la cotidianidad de la producción agrícola, como el uso de máquinas y productos que contienen en su mayoría moléculas químicas derivadas del petróleo y que por tanto, contribuyen al incremento en la emisión de CO<sub>2</sub>, así como de manera indirecta, gracias a la destrucción de bosques destinados a conservación para poder sembrar, y producir más alimento (Kurukulasuriya y Rosenthal 2003).

### **Colombia: Una despensa agrícola para el mundo**

El más reciente Censo Agropecuario realizado en Colombia (DANE 2014), permitió identificar el principal uso y distribución de las 111.5 millones de hectáreas que conforman a Colombia en área continental (Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible 2012). Es así como se determinó que el 38,6 % de la cobertura del país, se encuentra dedicado al uso agropecuario (correspondiente a 43.1 millones de ha), de las cuales, 7.1 millones de ha (es decir 6,3 % del área nacional) se encuentran dedicadas a siembra de cultivos, el resto, se encuentra destinado a la alimentación de animales (DANE 2014) (Ver Figura 1). Esto demuestra la necesidad de corregir la brecha de la distribución actual de la tierra, y así retomar el equilibrio productivo. Sin duda alguna, una importante oportunidad de crecimiento para la producción agrícola del país, oportunidad que el mundo ha identificado. Factores determinantes como: disponibilidad de tierra, suministro de agua y diversidad topográfica y climática, han hecho que Colombia sea considerado el séptimo país del mundo con la oportunidad de convertirse en despensa agrícola (FAO 2011).

Con los ojos del mundo puestos en Colombia, se debe tomar la agricultura como bastión de desarrollo, enfrentando como prioridad todos los eslabones débiles (necesidades) que hoy frenan la agricultura colombiana: suelos pobres (sin nutrientes) o contaminados, semillas sin vigorosidad e incapaces de adaptarse a los cambios inclementes del clima, semillas intolerantes a factores bióticos (plagas y patógenos), semillas con baja productividad, baja disponibilidad de fertilizantes, carencia de sistemas de riego apropiados, ausencia de modelación climática, uso de maquinaria tecnificada inapropiada a las condiciones topográficas del país, carencia de innovación en poscosecha, escasez de vías aptas para transportar oportunamente los alimentos a los centros de acopio, exceso de intermediación en los mercados, entre otros factores.

## **Biotechnología para la innovación en la Agricultura**

Con todos los retos que enfrenta la agricultura de Colombia, ¿cómo lograr convertir al país en una despensa agrícola? La respuesta no es simple, pero sin lugar a dudas, un aliado importante es la Biotecnología Moderna.

La palabra “biotecnología” se deriva de dos palabras simples: Biología y Tecnología (Verma *et al.* 2011). El Art. 2 del convenio sobre la Diversidad Biológica ha definido la Biotecnología como “Toda aplicación tecnológica que utilice sistemas biológicos y organismos vivos o sus derivados para la creación o modificación de productos o procesos para usos específicos” (Naciones Unidas 1992). Desde 1999, la FAO advirtió sobre los beneficios de la biotecnología para la agricultura para incrementar el suministro de alimentos y aliviar el hambre, enfrentando las condiciones adversas bióticas y abióticas (FAO 1999). El empobrecimiento y degradación de los suelos, promovido por la sobreexplotación agrícola ha hecho que las plantas sean sometidas cada vez más a tensiones bióticas y abióticas, lo que disminuye su productividad (García-Cristobal *et al.* 2015). Es por ello que se hace necesario, desarrollar plantas que puedan enfrentar a los organismos vivos (estrés biótico) entendidos como plagas, patógenos, y plantas indeseables (Peterson y Higley 2001), y a su vez, que las plantas puedan soportar condiciones adversas en salinidad, clima, sequía, metales pesados, entre otros (estrés abiótico) (Mittler 2006). Así mismo, un factor relevante al desarrollo del sector agrícola y ligado a la seguridad alimentaria, es la calidad nutricional, elemento esencial (Francis *et al.* 2017). El potencial de la biotecnología en la adición de valor en los cultivos alimentarios mediante el enriquecimiento con proteínas de calidad, vitaminas, hierro, zinc, carotenoides, antocianinas, etc. (Datta 2013), contribuirá rotundamente al logro de la seguridad alimentaria.

Otros puntos esenciales para la agricultura colombiana en los cuales la Biotecnología podrá contribuir notablemente, son: inducción de variaciones genéticas en cultivares mediante mutagénesis dirigida; desarrollo de nuevas variedades vegetales; generación de cruces interespecíficos; selección de cultivares promisorios mediante el asistimiento de marcadores moleculares modernos que permitan incluso realizar mejoramiento asistido por genómica; generación de sistemas de propagación masiva de plántulas que permita el uso de material vegetal libre de la contaminación endógena provocada por microorganismos, diagnóstico temprano de patógenos que conlleve al uso eficiente de herramientas y productos de control a precisión y medioambientalmente amigable; desarrollo de bioproductos que controlen plagas y enfermedades; desarrollo de formulados a base de complejos microbianos que permitan la fijación de elementos esenciales para la planta (P, N, entre otros) y por último, (y no menos importante), la conservación del germoplasma de las variedades genéticas que permitan el acceso a fuentes de material genético para futuros desarrollos (programas de mejoramiento).

## **Cultivos agrícolas biotecnológicos en el mundo**

El reporte más reciente desarrollado por el “International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications (ISAAA)”, publicado en la primera semana de Mayo de 2017, ha indicado que en el año 2016 fueron sembradas 185.1 millones de hectáreas de cultivos biotecnológicos (ISAAA 2016). Para ser más precisos y tratar de dimensionar esta área, las 185.1 M de hectáreas son comparables al 20 % del área total de China (que cuenta con 956 millones de hectáreas) o de Estados Unidos (que tiene un área de 956 millones de hectáreas), o 1.6 veces al área de Colombia (que cuenta con 111.5 millones de hectáreas). Un total de 26 países, de los cuales 7 son desarrollados y 19 están en vía de desarrollo, adoptaron y

sembraron los cultivos biotecnológicos en 2016. Aquí se detalla el área cultivada de los cinco (5) países que lideran el listado: el país que más área sembró fue Estados Unidos (72.9 millones de hectáreas), seguido de Brasil (49.1 millones de hectáreas), Argentina (23.8 millones de hectáreas), Canadá (11.6 millones de hectáreas) e India (10.8 millones de hectáreas) (ISAAA 2016).

Acorde a las cifras reportadas por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA 2017) y publicadas por (Agro-Bio 2016), en el año 2002 Colombia ingresó a la lista de los países que adoptaron los cultivos biotecnológicos, inicialmente con la siembra del clavel azul. Posteriormente, en el año 2003 fue aprobado el algodón GM, mientras que el Maíz fue aprobado para siembra bajo esquema de siembras controladas en el 2007. Un poco más reciente, a finales del 2009, Colombia aprobó la siembra comercial de rosas azules genéticamente modificadas. Esta evolución de adopción biotecnológica para la agricultura, ha hecho que Colombia haga parte del grupo de 26 naciones que han adoptado los cultivos biotecnológicos como herramienta para afrontar los desafíos que afronta la agricultura, y desde el 2010, dentro de las 19 mega-naciones que siembran 50 mil hectáreas o más de cultivos biotecnológicos (ISAAA 2016). Solo en el año 2016, Colombia sembró 110,000 hectáreas de cultivos biotecnológicos (GM), de ellas: 100,000 en Maíz GM, 9,800 hectáreas de Algodón GM y 12 hectáreas de Clavel Azul GM (bajo condiciones de invernadero) (Agro-Bio 2016).

#### **Aporte de la Biotecnología Moderna al Manejo Integrado de Plagas (MIP): Líneas de papa (*Solanum tuberosum*) tolerante a la polilla guatemalteca (*Tecia solanivora*)**

Para empezar, algunos datos de importancia del cultivo de la papa. Este cultivo se ha mantenido en la última década en el cuarto lugar en la producción agropecuaria nacional, con un promedio de 147.000 ha sembradas, 14 a 17 ton/ha de producción nacional promedio, lo que ha representado ciclos productivos que oscilan alrededor de los 3 millones de toneladas en el país (Agronet 2017). Así mismo, dada la dinámica de producción del cultivo, se estima que el cultivo de la papa es el producto de origen agrícola que posee la mayor demanda de fungicidas e insecticidas y la segunda de fertilizantes químicos, después del café (Espinal *et al.* 2006). En ese contexto, la polilla guatemalteca (*Tecia solanivora*) (Lepidoptera: Gelechiidae) (Povolny, 1973) descrita inicialmente en Centro América, es una de las plagas principales causantes de la alta cantidad de aplicaciones de insecticidas químicos, debido al daño dramático que causa a los tubérculos a nivel de campo y almacenamiento. Se estima que las pérdidas ocasionadas por esta plaga oscilan entre el 50 y el 100 % de la producción del cultivo (Villanueva *et al.* 2009). Después de invadir países como Guatemala, Costa Rica, Venezuela, Colombia y Ecuador, *T. solanivora* se considera como la plaga entomológica más dañina que afecta este cultivo en Centro y Sur América (Puillandre *et al.* 2008; Torres-Leguizamon *et al.* 2009)

Dentro de las estrategias involucradas en el Manejo Integrado de Plagas, el principal método de control de *T. solanivora* se realiza mediante la aplicación de insecticidas químicos con un promedio de 12 a 15 aplicaciones por período de cultivo (OEPP/EPPO 2005), práctica que además de incrementar los costos de producción, genera resistencia en las poblaciones de la plaga, produce problemas en la salud humana y ocasiona un impacto negativo sobre el ambiente (Villanueva *et al.* 2014). Teniendo en cuenta que las larvas de *T. solanivora* se desarrollan en los tejidos internos del tubérculo, cualquier estrategia que implique aplicaciones externas se verá limitada en el contacto con la plaga, lo que implica la búsqueda de nuevas alternativas de control mucho más eficientes.

El desarrollo de plantas genéticamente modificadas que expresan proteínas insecticidas derivadas de *Bacillus thuringiensis* se considera una alternativa eficiente para controlar este tipo de plagas (Adang, Crickmore; Jurat-Fuentes 2014; Schnepf *et al.* 1998). Esta tecnología ya ha sido previamente usada en otros cultivos a nivel mundial desde el año 1996 (ISAAA 2016). Diferentes grupos de investigación han escogido a la papa (*Solanum tuberosum*) como cultivo objeto de investigaciones en ingeniería genética con el fin de introducirle características adicionales, papa resistentes al virus del enrollamiento de la hoja (Kawchuket *al.* 1991), al virus X de la papa (Jongedijk *et al.* 1992) y al virus Y de la papa (Malnoe *et al.* 1994), resistencia contra el nemátodo *Globodera pallida* (Urwin *et al.* 2001) y contra insectos lepidópteros como *Phthorimaea operculella* usando genes *cry1Ac* (Davidson *et al.* 2006).

Es así como un grupo de científicos colombianos pertenecientes al grupo de Biotecnología Vegetal CIB-UNALMED de la Corporación para Investigaciones Biológicas, inició desde el año 1998 investigaciones para obtener una línea de papa mejorada genéticamente con tolerancia a *T. solanivora*, mediante el uso de genes codificantes a proteínas Bt.

Inicialmente, se desarrolló un sistema de transformación mediado por *Agrobacterium tumefaciens* para las variedades de papa colombianas Diacol Capiro y Parda Pastusa, junto con un sistema de regeneración a partir de explantes de hoja (Rodríguez *et al.* 2000)(Trujillo *et al.* 2001). En el año 2001, se logró un acuerdo de transferencia de materiales (ATM) con la Universidad de Ottawa, en el que se obtuvo dos construcciones que contenían los genes sintéticos *cry1Ab* y *cry1Ac* procedentes de Bt, junto con las secuencias reguladoras: promotores Ubiquitina y del virus del mosaico del coliflor (CamV35S), siempre con el terminador del gen de la Nopalina sintasa (Nos ter) (Villanueva-Mejía y Arango-Isaza 2013).

Para el año 2004, se obtuvo la transformación genética de las variedades comerciales de papa Diacol capira, Parda pastusa, Caicedonia, Puracé, Nevada y Pan de azúcar, siguiendo la metodología estandarizada en el grupo. Se definieron 40 líneas de papa (de las variedades mencionadas) transformadas específicamente con el gene *cry1Ac* de Bt bajo la expresión de los promotores Ubiquitina y CaMV35S (Villanueva-Mejía y Arango-Isaza 2013). Para el año 2006, se confirmó la integración del gen *cry1Ac* en el genoma de las plantas, una muy buena expresión del mismo, adecuada cantidad de proteína Cry1Ac expresada en los tubérculos de plantas biotecnológicas y muy buena actividad sobre las larvas de *T. solanivora*, representada en mortalidad hasta del 100 % de las larvas a nivel de laboratorio (Valderrama *et al.* 2007).

Para complementar estos estudios, el grupo de investigación evaluó la actividad de cepas nativas de Bt frente a larvas de *T. solanivora*, encontrando muy buena actividad de más de 10 cepas nativas de Bt dentro de las cuales se identificó la CBT-12 de genotipo *cry1Ac*, *cry2*, como la cepa más activa frente a este insecto, lo cual fue publicado en el año 2009 por Villanueva y colaboradores (Villanueva *et al.* 2009). Es importante reconocer que el hallazgo de cepas nativas es de gran relevancia, pues constituye una fuente de componentes biológicos para el desarrollo de nuevos bioinsecticidas, así como una fuente de genes que hasta el momento no están disponibles, que sirven para el desarrollo de plantas biotecnológicas resistentes a la plaga, evitando la aparición de resistencia temprana y el problema de las patentes (Cerón 2004) o limitaciones de los ATMs.

Continuando con la investigación, ocho líneas de papa transformadas genéticamente con el gen *cry1Ac* derivado de Bt fueron caracterizadas a nivel molecular, inmunológico y biológico bajo condiciones confinadas de bioseguridad en condiciones de laboratorio, invernadero y campo experimental e

igualmente se determinó su equivalencia sustancial (Villanueva *et al.* 2014). Tal como se describió en ese estudio, las líneas de papa Bt DC 40.5, DC 40.7A, DC 40.7B, PP 28, PP 28.1 y PP 40.A fueron resistentes al ser expuestas al ataque de *Tecia solanivora*. Los resultados obtenidos, indican que dos líneas de papa genéticamente modificadas son promisorias para continuar con pruebas de evaluación y selección para una posible comercialización.

Vale la pena resaltar, que todas las mencionadas investigaciones adelantadas por los investigadores del grupo Biotecnología Vegetal CIB-UNALMED referentes al desarrollo de las líneas de papa biotecnológicas, siempre se acompañaron de los respectivos permisos otorgados por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, a través del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), ente regulador nacional para los organismos modificados genéticamente con fines agrícola, pecuario, pesquero, plantaciones forestales comerciales y agroindustriales (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural 2005). En el año 2002, se logró el registro del grupo en el ICA (Resolución 1217 de 2002), en el año 2010, se logró renovar la autorización para realizar actividades de investigación en medio confinado con Organismos Genéticamente Modificados de papa (Resolución 1628 del 18 de Mayo de 2010), en el año 2010 se recibió autorización para realizar ensayos de campo bajo condiciones controladas de papa Bt OVM (resistente a *Tecia solanivora*), en la estación experimental “La Selva” de Corpoica – Rionegro, Antioquia. (Resolución 4040 del 06 de Diciembre de 2010) (Villanueva-Mejía y Arango-Isaza 2013).

## Referencias

- ADANG, M J.; CRICKMORE, N.; JURAT-FUENTES, J.L.. 2014. Diversity of *Bacillus thuringiensis* Crystal Toxins and Mechanism of Action.pp. 39-87.In:Tarlochan, S.; Sarjeet, S. (Eds.). Advances in Insect Physiology, Vol 47. ed. Oxford Academic Press. 436 p.
- AGRO-BIO. 2016. Transgénicos en el Mundo, Colombia y La Región Andina. Disponible en: <http://www.agrobio.org/transgenicos-en-el-mundo-colombia-region-andina/>. Fecha acceso: 11 Noviembre 2016.
- AGRONET. 2017. Agronet-Estadísticas. <http://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/default.aspx>. Fecha de acceso: 5 Junio 2017.
- CERÓN, J. 2004. Productos Comerciales: Nativos y Recombinantes. p. 123-147. In:A Bravo and J Cerón (eds.). *Bacillus thuringiensis* en el Control Biológico. Editorial Buena Semilla.Bogotá. Colombia. 294 p.
- DANE. 2014. Censo Nacional Agropecuario Colombia.
- DATTA, A. 2013. Genetic Engineering for Improving Quality and Productivity of Crops.*Datta Agriculture & Food Security* 2: 15.
- DAVIDSON, M.M.; BUTLER, R; WRATTEN, S; CONNER, A. 2006. Field Evaluation of Potato Plants Transgenic for a cry1Ac Gene Conferring Resistance to Potato Tuber Moth, *Phthorimaea operculella* (Zeller) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Crop Protection* 25(3): 216-24.
- ESPINAL, C.; COVALEDA, H.; RUIZ, N.; BARRIOS, C.2006. La cadena de la papa en colombia: una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005.
- FAO. 1999. Comité de Agricultura: Biotecnología. <http://www.fao.org/unfao/bodies/COAG/COAG15/x0074s.htm>. Fecha de acceso: 11 Marzo 2017.
- FAO. 2009. La Agricultura Mundial En La Perspectiva Del Año 2050.Como Alimentar Al Mundo En 2050.
- FAO. 2011. The State of the World’s Land and Water Resources for Food and Agriculture - Managing Systems at Risk.Rome. 308 p.

- FAO. 2016. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - (FAO) El Estado Mundial de La Agricultura y La Alimentación. Roma.
- FISAS A.; V. 2016. Negociar La Paz Con Las FARC : Una Experiencia Innovadora. Icaria and Más Madera. 183 p.
- FONSECA, Z.; HEREDIA, A.; OCAMPO, R.; FORERO, Y.; SARMIENTO, O.; ÁLVAREZ, M.; ESTRADA, A.; SAMPER, B.; GEMPELER, J.; RODRÍGUEZ, M. 2011. Encuesta Nacional de La Situación Nutricional, ENSIN 2010. Davinci Editores. Bogotá D.C. 513 p.
- FRANCIS, D.; FINER, J.; GROTEWOLD, E. 2017. Challenges and Opportunities for Improving Food Quality and Nutrition through Plant Biotechnology. *Current Opinion in Biotechnology* 44: 124-29.
- GARCÍA-CRISTOBAL, J. ET AL. 2015. Priming of Pathogenesis Related-Proteins and Enzymes Related to Oxidative Stress by Plant Growth Promoting Rhizobacteria on Rice Plants upon Abiotic and Biotic Stress Challenge. *Journal of Plant Physiology* 188: 72-79.
- ICA. 2017. Índice de Normatividad. <http://www.ica.gov.co/Normatividad/Indice-de-Normatividad.aspx>. Fecha de acceso: 12 Marzo 2017.
- IPCC. 2014. IPCC Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.). Geneva, Switzerland: IPCC. 151 p.
- ISAAA. 2016. 52 ISAAA Brief Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2016. ed. ISAAA. Ithaca, NY. 105 p.
- JONGEDIJK, ERIK ET AL. 1992. Increased Resistance to Potato Virus X and Preservation of Cultivar Properties in Transgenic Potato Under Field Conditions. *Nature Biotechnology* 10(4): 422-29.
- KAWCHUK, L.; MARTIN, R.; MCPHERSON, J. 1991. Sense and Antisense RNA-Mediated Resistance to Potato Leafroll Virus in Russet Burbank Potato Plants. *Molecular Plant-Microbe Interactions* 4(3): 247-53.
- KURUKULASURIYA, P.; ROSENTHAL, S. 2003. Climate Change and Agriculture: A Review of Impacts and Adaptations. World Bank Environment Department Paper 91: 106.
- MALNOE, P.; FARINELLI, L.; COLLET, G.; REUST, W. 1994. Small-Scale Field Tests with Transgenic Potato, Cv. Bintje, to Test Resistance to Primary and Secondary Infections with Potato Virus Y. *Plant Molecular Biology* 25(6): 963-975.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. 2005. "Decreto 4525 DE 2005." : 11.
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. 2012. Política Nacional Para La Gestión Integral de La Biodiversidad y Sus Servicios Ecosistémicos. Bogotá D.C. 128 p.
- MITTLER, R. 2006. Abiotic Stress, the Field Environment and Stress Combination. *Trends in Plant Science* 11(1): 15-19.
- NACIONES UNIDAS. 1992. Convenio Sobre La Diversidad Biológica Naciones Unidas 1992. 30 p.
- OEPP/EPPO. 2005. *Tecia solanivora*-Data Sheets on Quarantine Pests. European and Mediterranean Plant Protection Organization. 399-401.
- OEPPE, J.; VAUPEL, J.; W. 2002. DEMOGRAPHY: Enhanced: Broken Limits to Life Expectancy. *Science* 296 (5570): 10291031.
- PETERSON, R.; HIGLEY, L.; G. 2001. Biotic Stress and Yield Loss. CRC Press. 261 p.
- POVOLNY, D. 1973. *Scrobipalopsis solanivora* Sp. N. -A New Pest of Potato (*Solanum tuberosum*) from Central America. *Acta Universitatis Agriculturae, Facultas Agronomica* 21: 143-46.
- PUIILLANDRE, N. et al. 2008. Genetic Bottleneck in Invasive Species: The Potato Tuber Moth Adds to the List. *Biological Invasions* 10(3): 319-33.
- QUIROGA, E. 2012. Mortalidad Por Desnutrición En Menores de Cinco Años, Colombia, 2003-2007. *Biomédica Mortalidad por desnutrición en Colombia. Biomédica* 3232: 499-509.



- RAJIB, M.; A.; AHIABLAME, L.; PAUL, M. 2016. Modeling the Effects of Future Land Use Change on Water Quality under Multiple Scenarios: A Case Study of Low-Input Agriculture with Hay/pasture Production. *Sustainability of Water Quality and Ecology* 8: 50-66.
- RODRÍGUEZ, E. *et al.* 2000. Estandarización de Un Medio de Cultivo Adecuado Para La Regeneración de Tallos a Partir de Hojas, Utilizando Dos Variedades Colombianas de Papa (*Solanum tuberosum* L.). *Rev Fac Nal Agro Med* 53(1): 887-99.
- SCHNEPF, E. *et al.* 1998. *Bacillus thuringiensis* and Its Pesticidal Crystal Proteins." *Microbiology and molecular biology reviews* 62(3): 775-806.
- TORRES-LEGUIZAMON, M. *et al.* 2009. Isolation and Characterization of Polymorphic Microsatellites in the Potato Tuber Moth *Tecia solanivora* (Povolny, 1973) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Molecular Ecology Resources* 9(4): 1167-1169.
- TRUJILLO, C. *et al.* 2001. One-Step Transformation of Two Andean Potato Cultivars (*Solanum tuberosum* L. Subsp. Andigena). *Plant Cell Reports* 20(7): 637-641.
- URWIN, P.; E.; TROTH, K.; M.; ZUBKO, E.; I.; ATKINSON, H.; J. 2001. Effective Transgenic Resistance to *Globodera Pallida* in Potato Field Trials. *Molecular Breeding* 8(1): 95-101.
- VALDERRAMA, A.; M. *et al.* 2007. Resistance to *Tecia solanivora* (Lepidoptera: Gelechiidae) in Three Transgenic Andean Varieties of Potato Expressing *Bacillus thuringiensis* Cry1Ac Protein. *Journal of Economical Entomology* 100(1): 172-79.
- VERMA, A.; S.; AGRAHARI, S.; RASTOGI, S.; SINGH, A. 2011. Biotechnology in the Realm of History. *Journal of pharmacy & bioallied sciences* 3(3): 321-323.
- VILLANUEVA-MEJIA, D.; ARANGO-ISAZA, R. 2013. Hacia El Desarrollo de Líneas de Papa Biotecnológicas: Una Experiencia Colombiana. 115-128. Chaparro-Giraldo, A. (eds.). En: *Propiedad Intelectual Y Regulación En Biotecnología Vegetal: El Caso De Los Cultivos Genéticamente Modificados (GM)*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C. 142 p.
- VILLANUEVA, D. *et al.* 2009. Molecular Characterization of a Colombian *Bacillus thuringiensis* Strain with Activity against *Tecia solanivora* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Revista Colombiana de Entomología* 35(2): 130-37.
- VILLANUEVA, D. *et al.* 2014. Líneas Colombianas de Papa Genéticamente Modificadas Resistentes a *Tecia solanivora* (Lepidoptera: Gelechiidae) Bajo Campo Confinado. *Revista Colombiana de Entomología* 40 (2): 146-155.
- ZHANG, P.; ZHANG, J.; CHEN, M. 2017. Economic Impacts of Climate Change on Agriculture: The Importance of Additional Climatic Variables Other than Temperature and Precipitation. *Journal of Environmental Economics and Management* 83: 8-31.



## Lineamiento para el manejo de plagas en cultivos de frutales

Martha Eugenia Londoño Zuluaga

Pensionada de Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, CORPOICA. Calle 17 #40b-76 Medellín, Colombia. [londonomarta2@gmail.com](mailto:londonomarta2@gmail.com).

---

### Datos históricos del MIP-conceptualizaciones

Se dice que surge un problemas de plagas cuando un insecto, patógeno o maleza compite con el hombre. Las plagas son nocivas o destructivas dependiendo del número de individuos que compiten con el hombre. Se ha conocido a través de la historia, que los patrones para la protección de cultivos han atravesado por una serie de fases que progresivamente han conducido al fracaso. Dichos fracasos se han dado porque se toman decisiones solo pensadas en el control, indicándose con esto que se pretende eliminar el problema de una sola vez. Los patrones de protección de cultivos han pasado por: fase de subsistencia, fase de explotación, fase de crisis, fase de desastre y fase de manejo integrado (Metcalf y Luckmann, 1990). Existe una diferencia muy clara entre el control de plagas por el método tradicional, basado en el control químico, y el MIP. En el control químico, se usan acciones en función de la plaga, buscando su máxima mortalidad o erradicación temporal; estas medidas conducen a una disminución rápida de la plaga; no obstante, volverá a aumentar cuando disminuyan los residuos del insecticida. En el MIP la plaga es considerada como parte del agro-ecosistema que mantiene interacciones positivas y negativas con los otros componentes del mismo. De modo que, se puede obstaculizar el desarrollo de las plagas o se puede aportar a su mortalidad natural, mediante el manejo de los otros componentes. Se trata entonces de utilizar medidas preventivas, de modo que se anticipen a la ocurrencia del problema, utilizando el conocimiento que se tiene del cultivo, de las plagas y de las condiciones locales (Bennett *et al.* 2005; Cisneros, 2010).

Existe un requisito operativo en el diseño de programas MIP y es la Integración de los agentes de la cadena, entre los cuales se destacan productores, Instituciones del estado, Centros de Investigación y Desarrollo Tecnológico, Universidades, Comercializadores, Procesadores, industriales y demás agentes cadena. Un programa MIP es un conjunto de estrategias que ayudan a la regulación de problemas fitosanitarios en un cultivo. Los componentes del manejo de plagas en agricultura fueron propuestos por Geier (1966) y Apple *et al.* (1977), cuando listaron las siguientes estrategias: 1.-Identificación de la plaga a manejar. 2.-Conocimiento de la Biología, ecología y hospederos de la plaga. 3.-Reconocimiento y caracterización del área de influencia de la plaga. 4.-Desarrollo de estrategias de manejo. 5.-Desarrollo de técnicas confiables de supervisión. 6.-Establecimiento de umbrales económicos. 7.-Diseño de modelos descriptivos y de pronóstico.

Para la construcción de programas de manejo integrado de plagas es necesario tener en cuenta algunos conceptos. En primera instancia, es necesario conocer y comprender el ecosistema agrícola; entre los frutales existen especies que tiene una larga vida, lo cual permite que el ecosistema tenga una condición especial en el cual se mantiene una mayor estabilidad. En segunda instancia, está la planeación de ecosistema agrícola; esto incluye el manejo que el administrador le dé al suelo, el agua, la luz, el aire-viento y a las prácticas de manejo del cultivo (Geier, 1966; Apple *etal.* 1977). Todo esto encaja en la conocida "Función productiva" (<https://es.wikipedia.org/wiki/Fenotipo>) (Oliva *et al.* 2008)), la cual se

resume en una ecuación. Dicha función describe perfectamente los sistemas productivos y se representa matemáticamente así:

Fenotipo (F) = Genotipo (G)+ Ambiente (A)+ Interacción GA    donde,

**F** representa el fenotipo, **G** la identidad genética del material vegetal, **A**, el ambiente en el que vive el genotipo y, **GA** es la interacción del genotipo en ese ambiente en particular donde se desarrolla, crece y produce el frutal. Queda claro entonces que la respuesta fenotípica depende de la identidad genética del material plantado, de la oferta edafo-climática del ambiente donde se cultiva y de la interacción GA, que representa las prácticas de cultivo que los productores apliquen.

Es crucial entonces manejar el sistema productivo en consonancia con la función productiva, teniendo en cuenta la comprensión y planeación del ecosistema agrícola.

En la construcción de programas de manejo integrado de plagas, en tercera instancia se debe considerar el costo/beneficio de las prácticas de manejo que se utilicen, así como, del beneficio/riesgo. Es fundamental conocer el mercado del producto que se va a sacar a la venta, el precio pagado por el mercado en las épocas de producción y con base en ello tener claro el beneficio esperado. Así también hay que calcular el costo de las pérdidas por causa de cada una de las plagas y el costo de las estrategias de manejo que pueden utilizarse. Por ello, en el manejo integrado de plagas debe haber un ramillete de opciones, de tal manera que, cuando se presente un daño intolerable, por el riesgo que representa de pérdida, se escoja la medida de manejo que permita una buena relación costo/beneficio. En este orden de ideas, el riesgo debe ser cuantificado; para ello es necesario identificar no solo cuales son las plagas claves del cultivo, sino también los niveles de daño económico (NDE) y los umbrales de acción (UA). Es entendible entonces, que en agro-ecosistemas de frutales se debe tener en cuarta instancia una tolerancia al daño de la plaga, hasta que se llegue al UA. Todo indica que los productores deben acostumbrarse a convivir con unos remanentes de plagas, en quinta instancia, sin dejar de medir la infestación de manera frecuente. El umbral de acción para el agricultor es aquel punto en el que el costo del daño causado por la plaga es mayor que el costo de un tratamiento. Éste es un umbral económico. El umbral puede variar según se trate de un riesgo sanitario (baja tolerancia) o simplemente cosmético (alta tolerancia en una situación no comercial). (Colaboradores de Wikipedia [https://es.wikipedia.org/wiki/Manejo\\_integrado\\_de\\_plagas#Historia](https://es.wikipedia.org/wiki/Manejo_integrado_de_plagas#Historia)).

Cada una de las plagas tiene su dinámica, la cual está relacionada con la fenología del cultivo, las condiciones edafo-climáticas prevalentes y la biología de la misma. La combinación de estos factores favorece la aparición y crecimiento poblacional de una plaga determinada. Por esta razón, en sexta instancia, debe tenerse en cuenta la oportunidad para la aplicación de medidas de manejo, de manera que impacten la plaga y disminuyan el riesgo de pérdida.

Por último, en séptima instancia, los programas de manejo integrado de plagas deben contar con la aceptación del sector productivo implicado y con el entendimiento del público circundante. Es decir, en el diseño de programas MIP, la propuesta debe ser unificada y aceptada por los integrantes de la cadena productiva. Los ajustes que se requieran deben ser basados en investigación para el beneficio del sector productivo. El objetivo al construir un programa MIP es Seleccionar y usar inteligentemente procedimientos de manejo de plagas que garanticen consecuencias económicas, ecológicas y sociológicas favorables (Geier, 1966; Apple *et al.* 1977; Bennett *et al.* 2005; Kogan 1998; Jahnet *et al.* 2007).

### Programas MIP-Consideraciones

Un Programa MIP se desarrolla para un agro-ecosistema específico donde se cuenta con aspectos comunes como cultivos, variedades de plantas, condiciones climáticas, especialmente temperatura y precipitación, prácticas agrícolas propias, especies de plagas y sus enemigos naturales presentes, condiciones socioeconómicas de los productores y mercado. Los Programas MIP no se importan de un lugar a otro tal y como fueron diseñados; requieren ajustes importantes que los adapten a las condiciones propias del nuevo lugar. No se trata de protocolos. No obstante, algunas prácticas utilizadas en un programa MIP pueden ser tenidas en cuenta en otro programa, con previa evaluación experimental y ajuste a las condiciones locales del nuevo lugar.

Se destaca nuevamente que los Programas MIP exitosos tienen en común que cuentan con el interés y apoyo de los productores, disponen de un programa técnico estructurado basado en el análisis de la situación local, cuentan con un equipo eficiente para la implementación del programa -constituido por agricultores capacitados, asistentes técnicos de las grandes empresas o un equipo técnico especial-, tienen los recursos para la operación del programa y consiguen que los agricultores alcancen beneficios en un tiempo determinado. Es preciso aclarar que un Programa MIP se enfoca en situaciones especiales de plagas en un cultivo y su entorno productivo, ambiental, económico y social. Entre los componentes del programa están las estrategias, tácticas, prácticas, etc.; que se aplican para reducir el impacto de las plagas (Cisneros, 2010).

Dada la variabilidad de situaciones que se presentan en agricultura, los programas MIP deben ser específicos y tienen costos altos que deben ser asumidos entre todos los integrantes de la cadena productiva. De igual manera deben ser dinámicos, basando las estrategias en las situaciones presentes. De lo contrario se puede caer en un círculo vicioso en el que se estanca el programa y se convierte en un acumulo de prácticas repetitivas, sin integración de estrategias apropiadas para la realidad (Ehler y Bottrel, 2000).

El manejo de plagas es importante porque siempre se presentan problemas fitosanitarios que deben atenderse. Dichos problemas deben manejarse con un enfoque más holístico, de manera que se proteja el medioambiente, pero también el cultivo, y que se usen alternativas químicas solo cuando sea estrictamente necesario. Por ello debe contarse con productos de calidad y adecuados para el mercado (Londoño, 2015).

La apuesta en Colombia tiene que ser generar y mantener modelos productivos sostenibles de frutales, con soluciones tecnológicas amigables con el ambiente, que permitan consolidar y abastecer mercados nacionales e internacionales con fruta de calidad a precios competitivos. Para lograrlo, se debe tener en cuenta la función productiva, los conceptos y las estrategias mencionadas arriba. Las decisiones de manejo de plagas dependen del material vegetal, condiciones del suelo, nutrición y estado fisiológico del cultivo, clima, porcentaje de incidencia de la plaga, umbral de acción, disponibilidad de dinero del productor, entre otros factores. Por lo tanto, deben ser orientadas mediante asistencia técnica profesional.

## Componentes de un Programa MIP

Un programa MIP usa una gran variedad de tácticas o métodos complementarios entre sí que buscan reducir las plagas a niveles bajos que puedan ser tolerados por los agricultores. En general, usa métodos físicos, mecánicos, químicos, biológicos, genéticos, legales y culturales. Estos métodos se aplican en tres etapas: prevención, observación y aplicación. Los Programas MIP se basan en seis componentes básicos principales:

**1. Niveles aceptables de plagas.** Se trata de definir cuál es el nivel tolerable de una plaga en un cultivo de acuerdo con su fenología y con el ambiente en el que se desarrolla. El límite máximo de infestación permitido para cada plaga que pueden ser tolerado por el cultivo sin que se afecte su rendimiento o beneficio económico (Cisneros, 2010). El énfasis está en el “manejo” y no en la “erradicación” de la plaga, ya que la erradicación de una plaga es frecuentemente imposible; intentarlo puede ser costoso, insalubre y en general poco probable. Es por lo tanto mejor establecer el nivel tolerable de una plaga y aplicar estrategias de manejo cuando se excede ese nivel; esto es un umbral de acción. (Colaboradores de Wikipedia [https://es.wikipedia.org/wiki/Manejo\\_integrado\\_de\\_plagas#Historia](https://es.wikipedia.org/wiki/Manejo_integrado_de_plagas#Historia)).

**2. Prácticas preventivas de cultivo.** La primera medida a tomar es seleccionar las variedades apropiadas para las condiciones medioambientales en las que se va a cultivar, y mantenerlas sanas. Otra estrategia útil es la cuarentena vegetal, la cual debe hacerse cuando se entra material de otras zonas cultivadas o de viveros extranjeros, a una zona productiva específica. Las medidas fitosanitarias como la eliminación de plantas enfermas que contrajeron un virus, una bacteria, etc.; la cual es altamente contaminante y diezmate de la producción.

**3. Muestreo.** El establecimiento de un sistema de medición de los niveles de infestación de las plagas y de sus enemigos naturales es fundamental en la toma de decisiones en Programas MIP (Cisneros, 2010). La vigilancia constante es uno de los soportes del Programa MIP. Se pueden usar métodos de muestreo de niveles de plagas, tales como observación visual, trampas, jama, entre otros. Lo fundamental es llevar los registros de lo ocurrido y guardarlos sigilosamente. De igual manera, es necesario conocer el ciclo de vida y el comportamiento de las plagas atendidas. Los ciclos vitales de muchos insectos dependen de las temperaturas diarias. El registro y análisis de estas temperaturas permite determinar el momento para la erupción de una plaga específica (Colaboradores de Wikipedia [https://es.wikipedia.org/wiki/Manejo\\_integrado\\_de\\_plagas#Historia](https://es.wikipedia.org/wiki/Manejo_integrado_de_plagas#Historia)).

**4. Controles mecánicos.** Los métodos mecánicos son la primera opción a aplicar cuando una plaga está cerca al umbral de acción. Consiste simplemente en recoger la plaga manualmente o por medio de trampas, barreras físicas, usar aspiradoras, remover arar el suelo, etc.; para interrumpir el ciclo de vida.

**5. Controles biológicos.** Se busca con este método promover los insectos benéficos que atacan a los insectos plaga. Pueden ser hongos, bacterias, virus, nematodos e insectos parásitos y depredadores. Los procesos y materiales biológicos permiten un manejo de plagas con un impacto ambiental mínimo; algunas veces a bajo costo.

**6. Controles químicos.** Mediante este método se usan pesticidas sintéticos para el manejo de plagas, solamente cuando es necesario y en la cantidad y momento adecuados. Se busca impactar y truncar el ciclo de vida de las plagas. Muchos de los insecticidas nuevos son derivados de sustancias naturales vegetales como nicotina, piretro y análogos de hormonas juveniles de insectos. Otros son llamados de

nueva generación, ya que se utilizan en dosis muy bajas por hectárea, con un impacto menor sobre la fauna benéfica y el medio ambiente (Colaboradores de Wikipedia [https://es.wikipedia.org/wiki/Manejo\\_integrado\\_de\\_plagas#Historia](https://es.wikipedia.org/wiki/Manejo_integrado_de_plagas#Historia)).

### Plagas en frutales vs. MIP en Colombia

“Los Programas MIP son el tratamiento ideal para los cultivos orgánicos y se basan en conocimiento, experiencia, observación e integración de técnicas múltiples; no usa opciones químicas sintéticas. En agricultura de gran escala MIP puede reducir la exposición de los seres humanos a productos químicos con potencial tóxico y puede llegar a bajar los costos” (Colaboradores de Wikipedia

([https://es.wikipedia.org/wiki/Manejo\\_integrado\\_de\\_plagas#Historia](https://es.wikipedia.org/wiki/Manejo_integrado_de_plagas#Historia)).

En todos los casos, hay unos pasos a seguir cuando se aplican estrategias de MIP, sea un Programa concebido o no. Estos pasos son: Identificación de las plagas limitantes en el cultivo, Conocimiento del ciclo de vida y de sus enemigos naturales, Muestreo del cultivo para evaluar la población de las plagas (esto incluye presencia, distribución, incidencia, severidad), Establecimiento de umbrales de acción (económico, sanitario, estético), Elección de una combinación apropiada de técnicas de manejo, Evaluación de los resultados (¿Tuvieron efecto las medidas tomadas? ¿Se obtuvo la prevención o control deseado? ¿Hubo efectos colaterales indeseables?) (Colaboradores de Wikipedia [https://es.wikipedia.org/wiki/Manejo\\_integrado\\_de\\_plagas#Historia](https://es.wikipedia.org/wiki/Manejo_integrado_de_plagas#Historia)).

Esta parte del escrito se enfocará a mostrar ejemplos de MIP en cultivos de frutales importantes en Colombia. Se utilizarán plagas ejemplarizantes tales moscas de la fruta y perla de tierra. Es claro que en Colombia no tenemos Programas de Manejo Integrado de Plagas en frutales, pero sí se ha contribuido al conocimiento de plagas limitantes, su biología, enemigos naturales y otros aspectos puntuales, dependiendo del cultivo. Por lo tanto, se puntualizará por parte del autor de este artículo en las estrategias recomendadas a través de la investigación y de la experiencia de agentes de la cadena productiva.

**Moscas de la fruta.** Las moscas de la fruta son insectos plagas de varios cultivos. Afectan cultivos de mango, guayaba, cítricos, mora, entre otros. A pesar de los grandes esfuerzos institucionales que ha hecho el ICA en este tema, no se logra aún la construcción de un Programa de Manejo Integrado para estas plagas. Aun así, Colombia ha utilizado estrategias combinadas de manejo de moscas de las frutas que han servido para disminuir el impacto de estas plagas en algunos cultivos. Las moscas más importantes son *Ceratitis capitata* Wied, *Anastrepha* complejo *fraterculus* (Wiedemann), *Anastrepha obliqua* (Macquart) y *Anastrepha grandis* (Macquart). El Plan de Manejo de Moscas de la Fruta propuesto por el ICA en Colombia presenta varias estrategias que desde el punto de vista gubernamental se deben afrontar, dado que estas plagas además de los daños directos, generan restricciones para ingreso de frutas frescas en mercados internacionales por ser plagas de carácter cuarentenario (Arévalo y Flórez, 2011).

El ciclo de vida de las moscas de la fruta se inicia cuando las hembras adultas ovipositan debajo de la cáscara. El estado de huevo de las moscas de la fruta dura de 2 a 7 días en verano y de 20 a 30 días en invierno. El estado larval dura de 6 a 11 días; dependiendo de las condiciones ambientales. La larva

madura del tercer estadio abandona el fruto, lo cual usualmente coincide con su caída; la larva al abandonar el fruto, se entierra a 2-3 centímetros de profundidad del suelo y se transforma en pupa. El estado de pupa dura de 9-15 días aunque puede durar meses si bajan las temperaturas. Una vez alcanzada la madurez fisiológica, emerge el adulto que puede vivir hasta tres meses bajo condiciones favorables y tener hasta doce generaciones por año (Matheus, 2005).

Los enemigos naturales reportados en Colombia para moscas de la fruta incluyen las especies que atacan larva-pupa: *Doryctobracon areolatus* (Szépligeti) y *D. crawfordi* (Viereck), parasitando *A. fraterculus* (Wiedemann) en feijoa, *Opius anastrephae* Viereck, *Asobara anastrephae* (Muesebeck), *Microcrasis* sp.; (Braconidae), *Aganaspis pelleranoi* (Eucilidae), *Aceratoneuromyia indica* (Braconidae) (Yepes y Vélez, 1989) Falta estudios precisos de la biología de estos parasitoides y evaluaciones de su comportamiento, para dirigir su uso de manera apropiada.

El ICA ejerce vigilancia de moscas de la fruta mediante el uso de trampas Jackson y McPhail. También realiza muestreo de frutos en fincas. El procedimiento utilizado se hace, para determinar las características de una población de moscas de la fruta y para determinar las especies presentes dentro de un área (OIEA, 2005, citado por Arévalo y Flórez, 2011). Si bien el ICA hace esta labor de muestreo que sirve para la detección y delimitación oficial de estas plagas, es necesario que dentro de los cultivos se lleve a cabo un muestreo *in situ* y se utilicen los registros para la toma de decisiones. El umbral de acción está dado por el índice Moscas/Trampa/Día (MTD), que estima el número promedio de moscas capturadas en una trampa en un día de exposición en el campo. Es una medida relativa del tamaño de la población adulta de la plaga en un espacio y tiempo determinado. El Umbral de Acción (UA) es de 0,5 moscas/trampa/día. Los manejos preventivos se aplican antes de llegar al UA. Entre las estrategias preventivas se considera: siembra de variedades por bloques, distancias de siembra, podas, plateos, fertilización, programación de cosechas, cosecha oportuna, recolección de fruta afectada por las moscas de los árboles o en el suelo y su disposición final en fosa o en bolsa. Se recomienda el uso del hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana* sobre adultos aplicado por debajo de la copa de los árboles y dejar actuar los parasitoides presentes en cada región. Se plantea una decisión de manejo con cebo insecticida cuando el UA alcance 0,5 MTD. Por ello se recomienda aplicar el cebo en surcos alternos (Arévalo y Flórez, 2011).

Como puede verse, el manejo de moscas de la fruta en Colombia aplica estrategias de manejo usando niveles aceptables de plaga, utilizando prácticas preventivas, muestreos, métodos de manejo mecánico, biológico y químico. No obstante, le falta involucrar al sector productivo para que se concientice y participe en la construcción y aplicación de Programas MIP, en los cuales se capacite a los productores y asistentes técnicos para que se asegure su implementación. Debe además realizarse estudios ecológicos, clima y comportamiento de las plagas del cultivo frutal específico y registrar la fluctuación poblacional en relación con la fenología del cultivo y las condiciones climáticas propias de la zona. Realizar estudios más completos de plantas hospederas en cada zona de influencia del Programa. De igual manera, para cada especie frutal deben identificarse las plagas más limitantes y ampliar el Programa MIP para que les dé cobertura.

**Perla de tierra.** La mora es un frutal que en Colombia se encuentra difundido por varios departamentos. El cultivo ocupa una extensión aproximada de 12. 280 hectáreas. La perla de tierra es una plaga que ataca raíces de la planta (Castrillón *et al.* 2000; Ríos *et al.* 2010). Se reportan pérdidas a causa de esta



plaga de 1-2 ton fruta/año y muerte del 20 % plantas, además de mala calidad de la fruta por reducción del tamaño de la fruta; en el oriente antioqueño las pérdidas son de 40 a 47 % (Castro *et al.* 2008).

En estudios de tabla de vida realizados en Rionegro, Antioquia, se reporta una duración de huevo a huevo de  $211,87 \pm 17,72$  días en breva como hospedero, con duraciones parciales de  $35,03 \pm 9,35$  días para huevo,  $144,8 \pm 5,98$  días para ninfa,  $53,45 \pm 5,98$  para hembra móvil y  $69,78 \pm 20,28$  días para ovisaco (Arévalo-Maldonado *et al.* 2012).

La perla de tierra tiene varios hospederos cultivados y también arvenses, especialmente en clima frío moderado. Se han reportado entre ellos brevo (*Ficus carica* L.), mora (*Rubus glaucus*), tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* Cav.), vid (*Vitis labrusca* L.), arracacha (*Arracasia xanthorrhiza*), ciprés (*Cupressus lusitánica* Mill.), sorgo (*Sorghum vulgare* L.), manzano (*Malus* sp.), cítricos (*Citrus* sp.), fresa (*Fragaria* sp.), durazno (*Prunus pérsica* Stokes & Zuccarini), lulo (*Solanum quitoense* Lam.), yuca (*Manihot utilissima* Pohl.), papa criolla (*Solanum phureja*), y las arvenses lengua de vaca (*Rumex crispus*), falso piretro (*Artemisia absinthium* L.), pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), san joaquin (*Hibiscus* sp.), besito (*Impatiens balsamina*) y Jazmín de noche (*Jasminum sambac*), que es un hospedero común (Posada y García, 1976, Urueta, 1980, Castrillón *et al.* 1998, Kondo y Gómez, 2008).

La dispersión de la perla de tierra está favorecida por la hormiga *Linepithema* sp. que carga las ninfas neonatas hasta las raíces que proporcionan nutrientes de mejor calidad. En esta asociación mutualista, las hormigas también protegen la paga de enemigos naturales a cambio de la miel de rocío producido por las perlas (Arévalo-Maldonado *et al.* 2012).

Entre los enemigos naturales de la perla de tierra en Colombia se ha detectado a las larvas de la mosca depredadora *Proleptis lucifer* consumiendo ninfas pequeñas, hembras y huevos. No obstante, se desconocen las condiciones agroecológicas que favorecen su presencia. De igual manera, faltan estudios sobre la cría, multiplicación y posibilidades de liberación de este depredador, para que se considere como estrategia de manejo de *E. colombianus*. Los hongos *Metarhizium anisopliae*, *Paecilomyces fumosoroseus* y *P. lilacinus* causan mortalidad especialmente en ninfas neonatas y hembras móviles, las cuales son más fáciles de alcanzar en época de invierno, cuando se concentran en el cuello de la planta. (Lopera, 2001; Osorio, 2005).

Por el hábito alimenticio, la perla de tierra inyecta enzimas para facilitar penetración e instalación del estilete. Esto conlleva a una fitotoxemia que ocasiona reducción de la producción, nudosidades en raíces que bloquean la nutrición y la respiración. Las mediciones de la población de perla de tierra en cultivos de mora se han hecho más por métodos indirectos, contabilizando las plantas con los siguientes síntomas: disminución de crecimiento y desarrollo, menor emisión tallos, floración escasa, frutos que no cuajan o se quedan pequeños, secos y amargos, reducción del número de plantas y de la producción, defoliación, raquitismo y enanismo (Montes-Cruz, s.f. Tomado de: <https://prezi.com/o-jcvpxuxu5t/perla-de-tierra/>; Arévalo-Maldonado *et al.* 2012; Londoño *et al.* 2010). En época de lluvias, el muestreo puede ajustarse revisando directamente en la base de la planta y verificando la presencia de ninfas y hembras móviles (Osorio, 2005). Estudios recientes realizados en la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, han permitido verificar la posibilidad de utilizar patrones espectrales de hojas y suelo rizosférico para clasificar plantas con presencia o ausencia del insecto Meneses *et al.* 2015. Esta última técnica puede facilitar mucho el muestreo poblacional.



No se cuenta con umbrales de acción para esta plaga. Dado que es un insecto ubicado en el suelo, se dificulta su detección y manejo. Se nota su presencia cuando los daños son evidentes. Por eso, de modo práctico, se opta por recomendar manejos preventivos que eviten la infestación. Se recomiendan las siguientes prácticas culturales: seleccionar lotes libres de perla de tierra para la siembra, realizar muestreos en nuevas áreas de siembra para verificar la ausencia en el suelo y en las malezas, propagación por estacas ó semilla en vez de acodo, control de las vías de acceso a lotes cultivados para evitar contaminación a través del calzado. Así mismo, desinfección de calzado y herramientas, protectores plásticos desechables para calzado, evitar asociar la mora con cultivos hospederos o su rotación (lulo, tomate de árbol, papa criolla, manzano, brevo), hacer control estricto de las malezas hospederas, construcción de zanjas para el agua de escorrentía. Si se detecta Perla en un lote cultivado, se recomienda aplicar el hongo *Paecilomyces lilacinus* en dosis de 1-2 Kg/ha, dirigido a la base de las plantas, para que alcance en el cuello de la misma; con este hongo se han alcanzado mortalidades del 94 % en quistes a los 28 días de aplicado el tratamiento. En infestaciones altas, se ha recomendado utilizar el insecticida Thiametoxan-granular, aplicado directamente al suelo dosis de 7 gr/planta ó Imidacloprid 14 gr/planta, en drench con un mínimo de 1-Lt mezcla/planta (Díaz-Montilla y Londoño-Zuluaga, 2011). Se recomienda el uso de coadyuvantes a base de aceite, para facilitar la penetración, ya que la capa de cera de la perla de tierra presenta dos cadenas de ácidos grasos insaturados, que facilitan la compatibilidad con el aceite (Quiñones *et al.* 2008).

Extractos vegetales con base en ajo-ají han causado deterioro en el integumento en el 50 % de los quistes de perla de tierra tratados, el integumento pierde la rigidez y la dureza propia del quiste, se vuelve gelatinoso, cambia del color blanco-cremoso normal a amarillo, café o negro y el insecto muere. Se notó que entre más concentrado sea el extracto de ajo-ají, más potente es este efecto sobre el integumento del quiste. Los aceites vegetales como el aceite de cono causan mortalidad *per se*, sobre ninfas neonatas de perla de tierra, lo que los hace interesantes en combinación con estrategias de manejo como hongos entomopatógenos o como coadyuvantes en aplicaciones de insecticidas. El coadyuvante Nu-film, derivado de una resina de pino, y la Citroemulsión, a base de aceites minerales, son un coadyuvante y un insecticida, respectivamente, que causan mortalidad en perla de tierra cercana al 30 % en un mes. Por su naturaleza aceitosa impregna bien la cutícula de esta plaga y facilita la acción del producto acompañante: biológico ó químico (Meneses *et al.* 2012).

Se considera que el manejo de los nidos de la hormiga *Linepithema* sp. suma al manejo de la perla de tierra, ya que se le quitaría el apoyo que la hormiga le da a la plaga en la localización de hospederos (Díaz-Montilla y Londoño-Zuluaga, 2011).

Según Meneses-Ospina (2015), “la falta de validación de algunas de las tácticas de control para especies de perlas de tierra antes mencionadas en condiciones de campo, han dejado al productor sin más opción que continuar con la aplicación de insecticidas altamente tóxicos al suelo (fosforados, clorofosforados y carbamatos), táctica que no ha tenido resultados satisfactorios (debido a características propias del insecto y a su hábito subterráneo), pero sí ha representado riesgos para la salud humana, incrementos del 15 % en los costos de producción, así como residualidad en la fruta cosechada y en los componentes ambientales (Castrillón *et al.* 2000a; Soria & Gallotti, 1986). Este último efecto colateral, es posiblemente uno de los principales responsables de que los procesos de regulación biótica se interrumpan, quedando muchos nichos y microhábitat desocupados, favoreciendo así fenómenos de resurgencia cíclica de plagas resistentes a insecticidas o la posible aparición de nuevas plagas consideradas hasta ahora como de menor importancia o secundarias (Pérez, 2004)”.

Igual que en el primer ejemplo (moscas de la fruta), para la perla de tierra existen varias estrategias de manejo concebidas desde el área experimental y el área técnica de manejo de campo. Sin embargo, falta coordinación ente las mismas e integralidad. No se cuenta con un programa MIP como tal, con la participación decidida del sector productivo.

Tal y como están enfocados los conceptos de los Programas MIP, Colombia ha dedicado sus esfuerzos a las estrategias de manejo, más que a generar Programas de Manejo Integrado de Plagas. Por ello, es importante que al interior de cada cadena productiva se haga conciencia de la realidad y se empiece a concebir verdaderos Programas MIP con enfoque de cadena en la función productiva, en nichos específicos, que luego se podrán ir ampliando a otros nichos, de acuerdo con disponibilidad presupuestal y de recursos humanos con capacidad técnica adecuada para ello.

## Referencias

- Apple, J. L.; Horsfall, J. G.; Cowling, E. B. (Eds.). 1977. The theory of disease management. Plant disease: An advanced treatise. Vol. I. How Disease in Managed. Academic Press, New York. p. 79-101.
- ARÉVALO P. E.; Z.P. FLÓREZ. 2011. Plan de Manejo de Moscas de la Fruta. ICA, Dirección Técnica de Epidemiología y Vigilancia Fitosanitaria. Presentación en Powerpoint disponible en: <http://www.ica.gov.co/getattachment/eb152406-4b6d-4d4f-b363-08c7acda6697/Plan-de-Manejo-de-Moscas-de-La-Fruta.aspx>. Fecha acceso 19 junio 2017.
- ARÉVALO-MALDONADO H.; M.E. LONDOÑO, W.A. TOBÓN. 2012. Tabla de vida de *Eurhizococcus colombianus* Jakubski (Hemiptera: Margarodidae) en cuatro estructuras vegetales. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 15(1): 125-133.
- BENNETT, GARY W.; OWENS, JOHN M.; CORRIGAN, ROBERT M. 2005. Truman's. Scientific Guide to Pest Management Operations. Purdue University, Questex. 6th Edition. P 10-12.
- CASTRILLÓN A.C.; URREA J.; GUEVARA M.N.; PINEDA, H. 2000. Algunos aspectos biomorfológicos y bioecológicos de la perla de tierra. En: Memorias del 3° Seminario de frutales de clima frío moderado. Centro de Desarrollo Tecnológico de Frutales: Manizales (Colombia). P 86.
- CASTRO, L. E.; FLORES, D. A.; NAVARRO, R.; & GAVIRIA, B. M. 2008. Moras silvestres (*Rubus* spp.) como patrones para mora de castilla (*R. glaucus*) y su reacción a perla de tierra (*Eurhizococcus colombianus*). Revista Universidad Católica de Oriente(26), 29-36.
- CISNEROS, F. H. 2010. El manejo integrado de plagas. Control de plagas agrícolas. Fascículo 13. 35 p. [http://www.avocadosource.com/books/CisnerosFausto1995/CPA\\_13.pdf](http://www.avocadosource.com/books/CisnerosFausto1995/CPA_13.pdf). Fecha acceso: 17 junio 2017.
- Colaboradores de Wikipedia. Manejo Integrado de Plagas. Ed Wikipedia, la enciclopedia libre. Última revisión: 8 de febrero del 2017, 20:21 UTC. Fecha acceso: 13 junio 2017. URL permanente: [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title= Manejo integrado de plagas&oldid=96777261](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Manejo integrado de plagas&oldid=96777261). Código de versión de la página: 96777261. <https://es.wikipedia.org/wiki/Manejo integrado de plagas#Historia>.
- DÍAZ-MONTILLA. A.E.; M.E. LONDOÑO-ZULUAGA. 2011. Reconocimiento y manejo integrado de artrópodos plaga en mora. Seminario de actualización en el cultivo de la mora. Corpoica, junio del 2011. Centro de Investigación La Selva. 81 p.
- EHLER LE & BOTTRELL DG. 2000. The illusion of integrated pest management. Issues in Science & Technology16, 61-64.

- FAJARDO O.; A.; N. A. CANAL. 2011. Selección de Cepas de hongos entomopatógenos para el manejo de *Anastrepha obliqua* (Macquart, 1835) (Diptera: Tephritidae) en Colombia. Revista Facultad Nacional de Agronomía, Vol. 64, Núm. 2.
- GEIER P.W. 1966. Management of insect pest. Annual Review of Entomology. Volumen 11: 471-490.
- JAHN, GC, JA LITSINGER, Y CHEN AND A BARRION. 2007. Integrated Pest Management of Rice: Ecological Concepts. In Ecologically Based Integrated Pest Management (eds. O. Koul and G.W. Cuperus). CAB International Pp.315–366.
- KOGAN, M. 1998. Integrated Pest Management: Historical Perspectives and Contemporary Developments, Annual Review of Entomology Vol. 43: 243-270 (Volume publication date January 1998) Integrated pest management 5 (doi:10.1146/annurev.ento.43.1.243).
- KONDO, T. & GÓMEZ, C.E. 2008. La perla de tierra, *Eurhizococcus colombianus* Jakubski, una nueva plaga de la vid, *Vitis labrusca* L. en el Valle del Cauca, Colombia. Novedades Técnicas, Revista Regional, Corpoica, Centro de Investigación Palmira. Año 9/No. 10/Septiembre/2008.Pp. 34-40. ISSN 0123-0697.
- LONDOÑO, M.E. 2015. MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS EN AGUACATE. MEMORIAS XLII CONGRESO DE LA SOCIEDAD COLOMBIANA DE ENTOMOLOGÍA, SOCOLEN. MEDELLÍN. P. 47-80.
- LONDOÑO, M. 2015. ([HTTP://AGENCIADENOTICIAS.UNAL.EDU.CO/DETALLE/ARTICLE/MANEJO-INTEGRADO-DE-PLAGAS-ESENCIAL-PARA-EL-EXITO-DE-MODELOS-PRODUCTIVOS.HTML](http://AGENCIADENOTICIAS.UNAL.EDU.CO/DETALLE/ARTICLE/MANEJO-INTEGRADO-DE-PLAGAS-ESENCIAL-PARA-EL-EXITO-DE-MODELOS-PRODUCTIVOS.HTML). CON ACCESO 18-JUN/2017); 1:18 PM.)
- LONDOÑO, M.E.; ARÉVALO, H.A.; TOBÓN, W.A. 2010. Aspectos biológicos de perla de tierra *Eurhizococcus colombianus* (Jakubski, 1965) (Hemiptera:Margarodidae). En: VII Seminario Internacional de Frutas Tropicales. Medellin, Colombia. pp. 75.
- LOPERA, L.G. 2001. Evaluación de la patogenicidad de aislamientos de *Metharhizium anisoplae* Mestch sobre *Eurhizococcus colombianus* Jakubski (Homoptera: Margarodidae) en Mora. Tesis Ing. Agrónomo. Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 61p.
- MADR. 2010. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia. Secretaria Cadena de la mora. [http://www.minagricultura.gov.co/08cifras/08\\_Misi\\_Cadenas.aspx](http://www.minagricultura.gov.co/08cifras/08_Misi_Cadenas.aspx).
- MATHEUS, G. H. 2005. Las moscas de la fruta. Instituto Colombiano Agropecuario, ICA, Fondo Nacional de Fomento Hortifructícola, Asohofrucol. Boletín se Sanidad Vegetal N°44. Produmedios y Lineas Digitales, Bogotá. 67 p.
- MENESES O. E.; G. ARANGO, G. CORREA, O. RUIZ, L. G. VARGAS, J. C. PÉREZ. 2015. Detección de *Eurhizococcus colombianus* (Hemiptera: Margarodidae) en mora por espectroscopia del infrarrojo cercano. Acta Agron.; Volumen 64, Número 3, p. 280 – 288. ISSN electrónico 2323-0118. ISSN impreso 0120-2812.
- MENESES-OSPINA E. 2015. Bases para el manejo agroecológico de *Eurhizococcuscolombianus* Jakubski (Hemiptera: Margarodidae) en cultivos de mora del Oriente Antioqueño. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias Agrarias Medellín, Colombia. Tesis para optar el título de PhD en Agroecología. 115 p.
- MENESES, E.; ARISTIZABAL, M. I.; JARAMILLO, C.; & GUARÍN, J. H. 2012. Estrategia de manejo de *Eurhizococcus colombianus* (Hemiptera:Margarodidae) con enfoque de producción limpia. Memorias XXXIX Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología, p. 92. Ibagué, Colombia.
- METCALF, R.L.; LUCKMANN, W. H. 1994. Introduction to Insect Pest Management. New York: John Wiley and Sons, Inc. p.266.
- MONTES-CRUZ, I. s.f. Tomado de: <https://prezi.com/o-icvpxuxu5t/perla-de-tierra/>. Fecha acceso: 20 junio 2017.

- OLIVA R; BALLESTA F.; ORIOLA J.; CLARIA J. 2008. Genética médica. Editorial Díaz de Santos y Publicaciones i Ediciones Universidad de Barcelona. España. ISBN: 978-84-7978-887-2, ISBN:978-84-475-3317-6. 447 P.
- OSORIO, J.C. 2005. Distribución radical de perla de tierra (*Eurhizococcuscolombianus*) y relación con factores ambientales en mora. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín Agronomía. 37p.
- POSADA, L. & GARCIA, F. 1976. Lista de predadores, parásitos y patógenos de insectos en Colombia. En: Boletín Técnico, Bogotá. No. 41. 90p.
- PÉREZ, N. 2004. Manejo ecológico de plagas. La Habana, Cuba: Centro de Estudios de Desarrollo Agrario y Rural – CEDAR/ Universidad Agraria de La Habana.
- QUIÑONES, W.;VICENTE, B.;TORRES, F.; ARCHBOLD, R.; MURILLO, W.; LONDOÑO, M.; ECHEVERRI, F. 2008. Chemical composition of Ground Pearl (*Eurhizococcus colombianus*) cysts.Molecules, 13, 190-194.
- RÍOS, G.; VÁSQUEZ, L.A.; ARÉVALO, H.A.; LONDOÑO, M.E.; TORRES, M. 2010. Caracterización biofísica y socioeconómica del sistema de producción de mora en los departamentos de Antioquia y Caldas, con énfasis en el problema de perla de tierra. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, CORPOICA. La Selva, Rionegro. 33 p.
- SORIA, S. J.; & GALLOTTI, B. J. 1986. Margarodes da Videira *Eurhizococcus brasiliensis* (Homóptera: Margarodidae): Biología, ecología e controle no soul do Brasil. Circular técnica Nº 13, 22 p. Brasil: Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Uva e Vino.
- URUETA, E. 1980. Identifican plaga. Colombia. En: Notas y noticias entomológicas. Bogotá. 17p.
- YEPES R.; F.; R. VÉLEZ-ANGEL. 1989. Contribución al conocimiento de las moscas de las frutas (Tephritidae) y sus parasitoides en el Departamento de Antioquia. Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín. Vol. 42, N° 2. p. 73-98.

## Alternativas de manejo ecológico de insectos en el cultivo del arroz en Colombia

Cristo Rafael Pérez Cordero

I.A. M.Sc. Profesional. Investigación y Transferencia de Tecnología en arroz. Fedearroz, Fondo Nacional del arroz, Seccional Montería. [crisperez@fedearroz.com.co](mailto:crisperez@fedearroz.com.co)

---

### Introducción

El arroz, es un producto básico de la canasta familiar que garantiza la calidad y seguridad alimentaria. En el 2016, el sector arrocero consiguió la cifra histórica de 570.802 hectáreas sembradas en las que se produjeron 2.971.975 toneladas de arroz *paddy* verde. Colombia cuenta con 16.378 productores de arroz divididos en 210 municipios.

La alteración del equilibrio natural y otras disrupciones ecológicas como la resurgencia y resistencia en los insectos, originados por el abuso de los insecticidas en la agricultura intensiva, son factores claves para sustentar el control de insectos fitófagos en un manejo integrado y racional, donde el control etológico juega un papel fundamental, como una estrategia básica para impulsar programas de manejo ecológico en diferentes cultivos.

El Manejo integrado de insectos fitófagos es el conjunto de prácticas agronómicas, ambientales y de responsabilidad social que motivadas por el sentido común combinan diversas estrategias basadas en la planificación y el conocimiento del entorno del cultivo, para mantener en equilibrio las poblaciones de los insectos, conservando el medio ambiente en un sistema productivo sostenible (Pérez, 2016).

Cuando se quiere desarrollar un programa de manejo ecológico de insectos-fitófagos, las directrices apuntan al logro de la reconversión tecnológica de los agroecosistemas. Debido a su estado de alteración, los trabajos que se efectúen deben enfocarse a: investigación, capacitación y desarrollo empresarial. Esta reconversión se tienen como objetivos: mejorar los niveles de productividad y establecer una estabilidad de los agroecosistemas. Este enfoque conduce claramente a lo que hoy se conoce como agricultura sostenible (Vergara y Pérez, 2013).

El programa AMTEC, es un modelo de transferencia de tecnología basado en la sostenibilidad y la responsabilidad social arrocera que propende por la organización, la competitividad y la rentabilidad del productor, implementando tecnologías en forma integral para aumentar los rendimientos, reducir los costos por tonelada en el cultivo del arroz y disminuir los impactos al ambiente. En el país, Fedearroz ha empleado esfuerzos económicos y recursos humanos para masificar las diferentes alternativas de manejo. Los propósitos de este documento son el de precisar las estrategias que hoy se tienen con relación al manejo de insectos dañinos, mirados desde lo ecológico en el agroecosistema arrocero.

### Manejo integrado de insectos fitófagos

**Evaluación de poblaciones de insectos.** La inspección permanente de los cultivos, observando el estado de las plantas, es la forma más acertada para conocer si una especie insectil nociva está afectándolas. Los sistemas de evaluación reflejan los niveles de población y/o daño, que ameriten la intervención con medidas de control.

Con la implementación del programa AMTEC en las fincas arroceras, el uso del monitoreo de insectos y los umbrales de acción en la toma de decisiones, se ha disminuido la dependencia y carga de insecticidas al agroecosistema arrocero.

**Manejo etológico.** La etología es el estudio del comportamiento de los animales en relación con el medioambiente y de esta manera el control etológico de plagas se entiende como la utilización de métodos de represión que aprovechan las reacciones de comportamiento de los insectos. El comportamiento está determinado por la respuesta de los insectos a la presencia u ocurrencia de estímulos (físicos, mecánicos) que son predominantemente los de naturaleza química. Utiliza el comportamiento y la relación de los insectos con el medio ambiente para disminuir su población. Cada insecto tiene un comportamiento fijo frente a un determinado estímulo. Los más utilizados en el cultivo de arroz son:

**Las Feromonas.** Como método de control etológico las feromonas son sustancias específicas que segregan los insectos, por lo general las hembras de una especie y son percibidas por los machos. La mayoría de los insectos emplean feromonas para su comunicación; existen feromonas sexuales que sirven para atraer la pareja y otras que producen concentraciones de insectos llamadas feromonas de agregación. Son sustancias que segregan los insectos y son percibidas por los de la misma especie. Evaluaciones realizadas por Pérez, 2004, para el manejo del cogollero *Spodoptera frugiperda* en arroz, demuestran la eficiencia de las trampas de feromonas, ayudan para el monitoreo y la disminución de las poblaciones de adultos y los daños en campo.

El insecto *S. frugiperda* conocido como cogollero, se considera de importancia económica en el ecosistema arrocero ya que afecta al cultivo del arroz principalmente en todas las zonas arroceras de Colombia. La variabilidad climática ha marcado un cambio en la agresividad de sus poblaciones y por ende al aumento en el número y frecuencia de las aplicaciones químicas para su control, afectando la reducción en los costos de producción que como objetivo propende el programa AMTEC. Es una especie polífaga que se alimenta de más de 60 especies de plantas, tanto cultivadas como silvestres, siendo las gramíneas los hospederos primarios (Mitchell *et al.* 1989).

Para su manejo generalmente se recurre al control químico empleando insecticidas de amplio espectro, que tienen efecto letal en las poblaciones de los organismos benéficos asociados al cultivo, en la contaminación del ambiente, las intoxicaciones por aplicaciones y la pérdida de la inocuidad del grano producido. Una de las alternativas viables por costos y facilidad de implementación son las trampas con feromonas sexuales (Adamczyk *et al.* 2003). Las feromonas de los lepidópteros se han utilizado exitosamente para hacer seguimiento, capturas en masa y también para interrumpir el apareamiento (Wyatt, 1998). En el manejo integrado de plagas también se ha utilizado para la evaluación y control de poblaciones (Carde y Elkinton, 1984) ya que permite hacer estimaciones relativas del tamaño activo de la población objetivo para orientar la toma de decisiones (Izquierdo, 1994).



La feromona, del griego *pherein* transferir) y *hormon* (excitar) es una o mezcla de sustancias químicas que emana un organismo y que induce una respuesta a otro individuo de la misma especie. La hormona es un semioquímico o sea que afecta el comportamiento de los insectos. Sekul y Cox, (1967) encontraron que las hembras del cogollero *S. frugiperda* producen una feromona en el último segmento abdominal que excita sexualmente a los machos, pero fueron Sekul y Sparks (1967) quienes aislaron por primera vez la sustancia (Z)-9-tetradecenyl-1-ol-acetato (Z-9-TDA) como feromona de *S. frugiperda*.

Sin embargo en 1976 los mismos autores identificaron otra sustancia (Z)-9-dodecenyl-1-ol-acetato (Z-9-DDA) la cual es componente de la feromona sexual de *S. frugiperda* (Sekul y Sparks, 1976). Actualmente hay una amplia oferta de feromonas comerciales disponibles para *S. frugiperda* producidas en Europa y América. Estas feromonas tienen cuatro componentes básicos: (Z)-9-tetradecenil-1-olacetato, (Z)-9-14:Ac; (Z)-7- dodecenil-1-ol acetato, (Z)-7-12: Ac; (Z)-9-dodecenil-1-ol--acetato, (Z)-9-12:Ac y (Z)-9-11-hexadecenil-1-ol acetato, (Z)-11-16:Ac. En una relación de 81,0:0,5:0,5:18,0 (Tumlinson *et al.* 1985). La feromona *ChemTica* es una de las marcas más reportadas en Latinoamérica y ha mostrado ser eficiente en México (Malo, 2001), Costa Rica (Andrade *et al.* 2000) y Brasil (Batista *et al.* 2006), entre otros países.

Por otro lado, la feromona *Pherobank* ha sido eficiente en la captura de *S. frugiperda* en algunos países Europeos (Ostrauskas, 2003). Sin embargo, se plantea que hay variación geográfica intraespecífica en la composición de las feromonas extraídas de hembras vírgenes de *S. frugiperda* que explican la variabilidad en la respuesta y eficiencia de las diferentes marcas de feromonas, principalmente de las norteamericanas y europeas en las zonas tropicales (Batista *et al.* 2006).

En Colombia solo se han utilizado feromonas para registrar la actividad de *Tecia solanivora* (Povolny) (Lepidoptera: Gelechiidae) en papa (Bosa *et al.* 2005), el picudo negro (Germar, 1824) y el picudo rayado *Cosmopolites sordidus* y *Metamasius hemipterus sericeus* (Olivier, 1807) (Coleoptera: Dryophthoridae) en plátano (Gómez, 2001) y el picudo del algodón *Anthonomus grandis* Boheman (Coleoptera: Curculionidae) en algodón (Lobatón, 2004). El único registro previo en este tema para *S. frugiperda* se limita a un reporte técnico de Fedearroz (Pérez, 2005).

Se reportan feromonas para los insectos *S. frugiperda*, *S. eridania*, *D. saccharalis*, los gorgojos *R. dominica*, *Sitophilus oryzae* y la polilla *Sitotroga cerealella* en granos almacenados.

En la actualidad existen productos comerciales que contienen estas feromonas, como una opción para el manejo integrado de *S. frugiperda*, por lo anterior se hace necesario buscar alternativas eficientes para el manejo de este insecto que sean compatibles con el medio ambiente y enmarcados en los principios del Manejo Integrado de Insectos, para reducir el impacto ambiental por aplicaciones.

**Investigaciones en control etológico en arroz.** Se realizaron investigaciones en la localidad de Montería (Córdoba) con la feromona cis-7 dodecenyl-1-ol-acetato (Z-7-DDA) y cis-9 tetradecenyl-1-ol-acetato (Z-9-TDA), para la atracción de machos. El propósito fue determinar la distribución y el número de trampas de feromona sexual en la reducción de la población de los machos de *S. frugiperda*. Se evaluaron cuatro distribuciones de trampas de feromonas en un lote comercial de arroz riego en Montería (Córdoba), en el semestre B del 2016. Las disposiciones fueron distribución en cuadro en las orillas, en cuadro centrado, en equis y en doble V. trampas tipo galón, elaboradas a partir de galones plásticos desocupados y limpios. En cada una de ellas se introdujo la feromona específica para *S. frugiperda* y

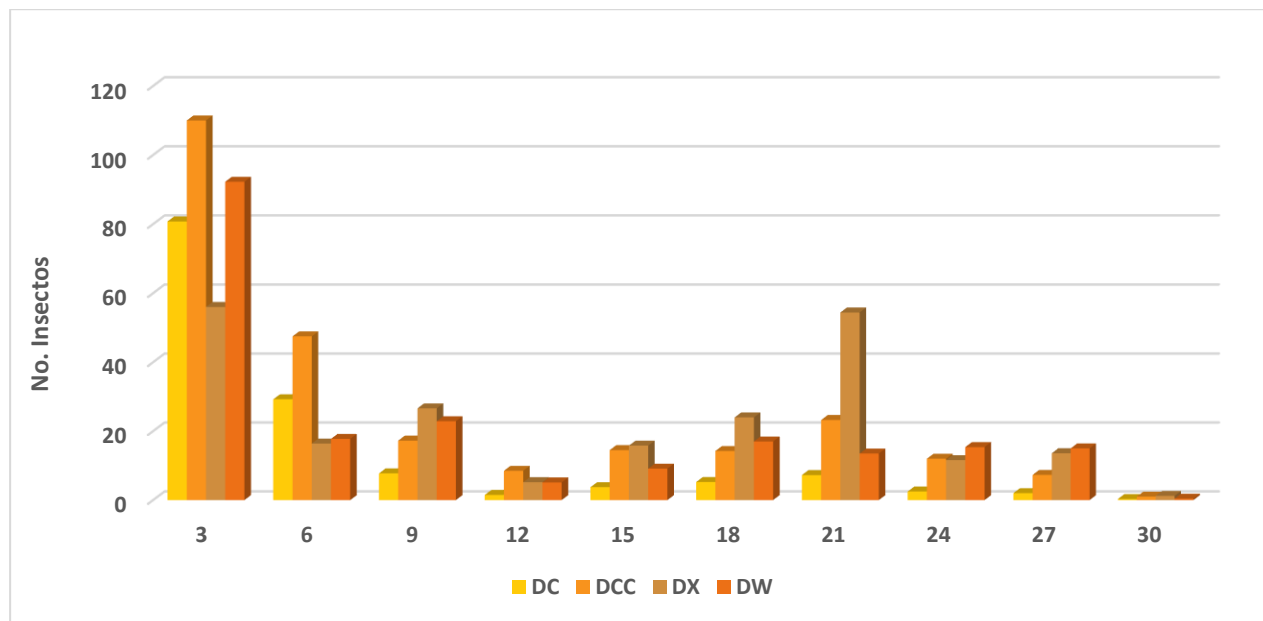


como medio de captura agua jabonosa. Las evaluaciones se realizaron cada tres días. En cada disposición de trampa se contabilizó el número total de adultos machos. La distribución y número de trampas con feromona se calcularon para el área de una hectárea y se especifica a continuación:

Los resultados indican que se registraron diferencias significativas en los días y la distribución de las trampas de feromona. A los 3 días se observó el mayor número de capturas de machos. En la disposición en W se alcanzó el mayor número de capturas de macho. En las trampas de tela el mayor número de posturas en fue de 4. Los resultados muestran las bondades del uso de la feromona para capturar, hacer seguimiento y control de las poblaciones del cogollero del arroz.

**Número de machos de *S. frugiperda* capturados en el tiempo en trampa de feromona.** Las evaluaciones realizadas muestran que el mayor número de capturas de macho del cogollero en todas las disposiciones, se concentraron a los 3 días, empezando a disminuir a partir de los 6 días de instaladas. A los 21 días se registra un nuevo pico de captura de individuos. A los 3 días el promedio fue de 81 en la disposición en DC, 110 para DCC, 56 en DX y 92 para la disposición en W (Figura 1.)

Varios autores reportan para América Latina y evidencian las bondades de esta feromona para establecer sistemas de seguimiento de *S. frugiperda* en campo. La revisión bibliográfica sugiere que es eficiente para atraer los diferentes biotipos de *S. frugiperda* reportados para Colombia; sin embargo sería conveniente ratificarlo experimentalmente

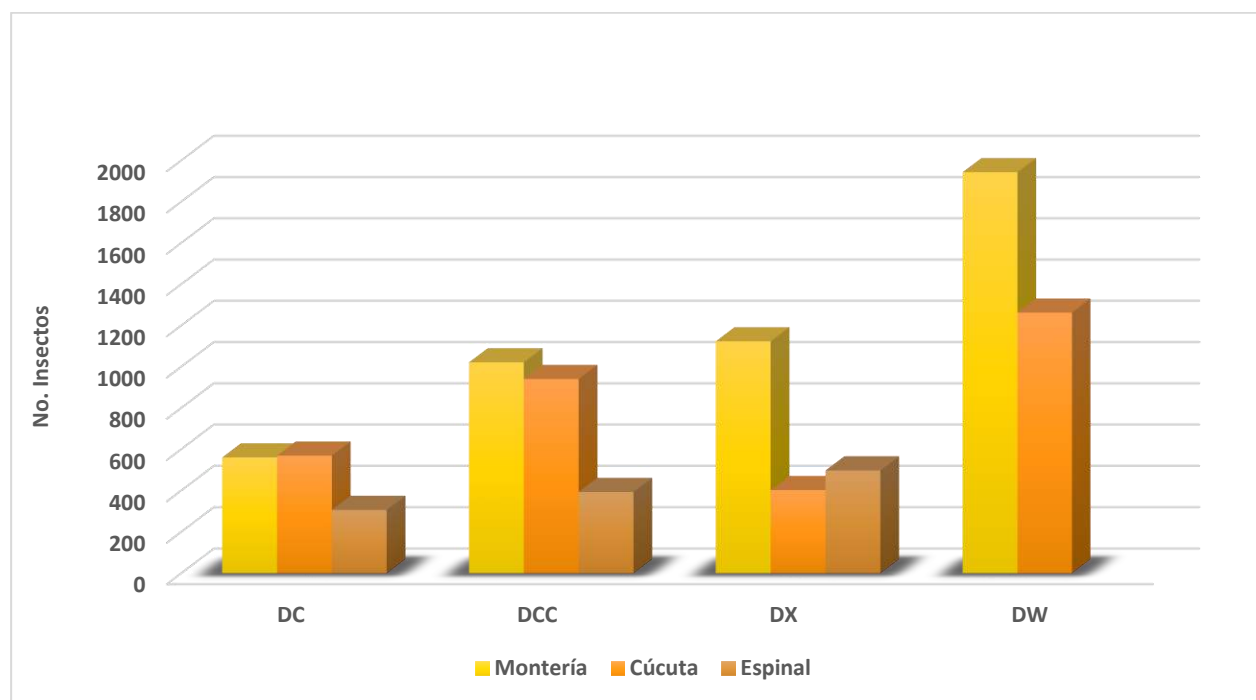


**Figura 1.** Promedio de machos de *S. frugiperda* capturado según la fecha y distribución de trampas de feromonas.

**Promedio de machos de *S. frugiperda* por distribución de trampa.** El mayor número de capturas totales, se observó en la trampa con distribución en W, con 1944 adultos, seguido por la disposición en X que presentó 1124 capturas de macho. En cuadros a la distancia de 100 metros entre trampas se presentó la menor población de machos capturados, con un valor total de 506 (Figura 2).

Esta eficiencia en las capturas con la feromona *ChemTica* coincide con los reportes de Brasil (Batista *et al.* 2006), Costa Rica (Andrade *et al.* 2000) y México (Malo, 2001). Los resultados con la marca *Pherobank* podría ser un caso de variación geográfica intraespecífica en la composición de la feromona de origen Holandés, lo cual ha sido reportada por Andrade *et al.* (2000) en centro América y por Batista *et al.* (2006) en Brasil al utilizar feromonas estadounidenses y Europeas.

Agudelo *et al.*, 2010, al evaluar 3 marcas de feromonas para el cogollero en el cultivo de maíz, reportan que el total de capturas de machos adultos de *S. frugiperda* por tratamiento fue de 1.037 individuos con la marca *ChemTica*, 49 con *Pherobank* y 11 con el testigo. El promedio de capturas con la feromona *ChemTica* se mantuvo por encima de los 40 individuos por semana durante un mes, fecha a partir de la cual se redujo. La vida media de la feromona coincide con los reportes de la casa comercial a temperatura de 25 a 35°C (*ChemTica*, 2000).

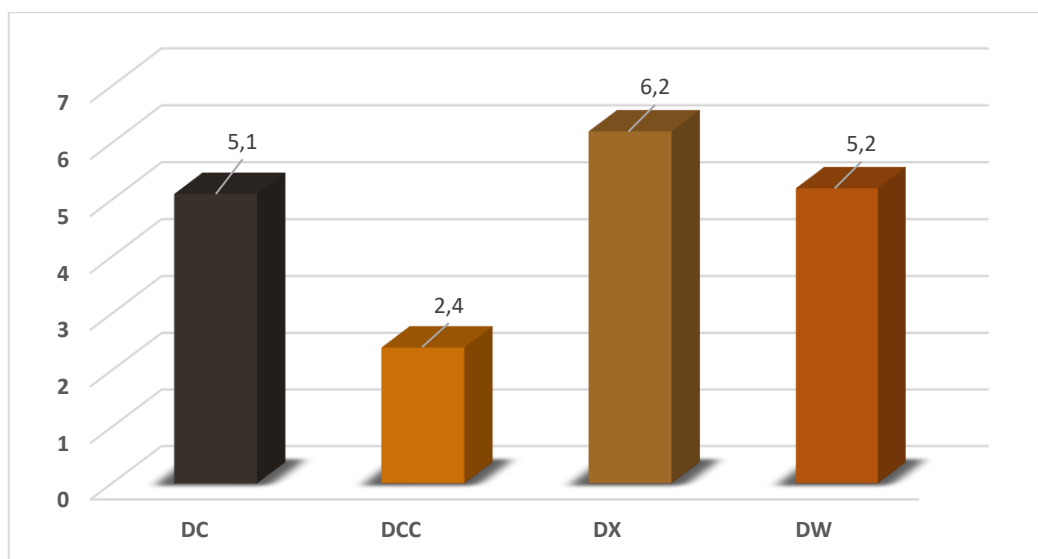


**Figura 2.** Promedio de machos de *S. frugiperda* capturado de acuerdo a la distribución de trampas de feromonas.

**Evaluación de daños de *S. frugiperda*.** El área foliar afectada (AFA) osciló de 2,4 a 6,2 %. El mayor valor promedio se registró en la distribución en X con 6,2 % y el menor valor en la disposición de cuadros centrados con un valor de 2,4 %. Los porcentajes de AFA no superaron el umbral de daño establecido para el cogollero del arroz, el cual es del 30 % (figura 3). Esto se debe que al capturar un gran número de individuos semanales se está bajando la infestación en los cultivos debido a que existe un número menor de machos en el entorno para copular con las hembras. Si no hay copula, no hay posturas y emergencia de larvas. Kuniyoshi (2002) registró menor presencia de larvas de *S. frugiperda* y *H. zea* en parcelas donde se instalaron trampas sexuales en comparación con los que no tenían.

**Trampas de tela para posturas.** Atraen a los insectos para capturarlos o destruirlos. Se utilizan también para detectar su presencia con miras a orientar otras formas de control. No dejan residuos tóxicos, operan continuamente y tienen un bajo costo. Hay trampas con atrayentes químicos de alimentación y feromona sexual. En otras se usa la luz y colores atractivos para la oviposición de los insectos o trampas pegajosas para capturar adultos.

Se evaluó mediante el uso de trampas de tela el número de posturas de *S. frugiperda* cada 3 días desde la preparación del terreno y hasta 30 días de edad del cultivo. Las trampas de postura (TP) se colocaron 15 días antes de la siembra del cultivo. La observación permite describir de las posturas la forma, color, número de huevos y ubicación en la trampa.



**Figura 3.** Área foliar afectada en plantas de arroz por *S. frugiperda* con manejo de trampas de feromonas.

**Especificaciones para la trampa de tela.** La trampa de postura se construye en tela de tipo tul con orificios pequeños, y en forma de pliegues de acordeón, el tamaño de cada pliego es de 5 cm y el color de la trampa debe ser rojo intenso -60 % de brillo, como aparece señalado por el círculo en la figura 7; las dimensiones de la trampa son de un (1) metro de largo por 0,5 m de ancho. La trampa de tela se ubicó en el campo sujeta por puntillas tipo chinchas, a dos estacas de madera y a 50 cm del suelo.

**Número de posturas en trampa de tela.** Se observó presencia de posturas del cogollero a partir de los 3 días de instaladas en el campo. Desde los 6 días se disminuyó la oviposición y a los 24 días se presentó un nuevo pico de posturas. Estas posturas son de hembras de *S. frugiperda* que ingresaron fértiles al cultivo de arroz.

**Trampas a base de luz o Mechones:** Las trampas de luz como método para la captura de insectos es una herramienta valiosa en el campo de la entomología. A pesar de que ellas no miden la cantidad total de insectos presentes en una determina zona de muestreo, muestran como la cantidad de especies varían con el tiempo, permitiendo conocer las temporadas de abundancia y escasez de algunas especies que

sirven de alimento para los insectívoros participantes en las cadenas tróficas de los ecosistemas o permiten dar una idea de la abundancia o escasez de algunos insectos plagas.

Las trampas para monitoreo de insectos en arroz son una herramienta de apoyo al trabajo de los técnicos en Colombia. No se debe desconocer que el uso de trampas de luz ha sido eficaz para reducir poblaciones de adultos que presentan fototropismo positivo, como es el caso de *Euethola* y *Phyllophaga*. Pérez (2001) recomienda instalación de trampas luz o mechones para detectar la presencia de *Euethola*, antes de la siembra.

Investigaciones realizadas en el cultivo de arroz en San Marcos (Sucre), con trampas de luz, en un lote arrocero durante un año. Durante los dos semestres consecutivos, se totalizaron 2111 ejemplares pertenecientes a la familia Melolonthidae, registrándose 16 especies ubicadas en 3 subfamilias, 10 tribus y 11 géneros. Las especies más predominantes fueron en su orden: *Euethola bidentata*, *Lyogenis quadridens*, *Dyscinetus* sp.; *Cyclocephala amazónica*, *Phyllophaga* sp1.; *Lygirus maternus*, *Plectris* sp.; *Anomala* sp1.; *Pelidnota aff strigosa*; *Strategus aleous*; *Cyclocephala melanocephala*, *C. aff carbonaria*, *Anomala* sp.; *Anomala* sp2; *Lygirus tuberculatus* y *Philerus didymus*. *E. bidentata*, fue la especie más abundante y frecuente con 60.7 % del total, seguida por *L. quadridens* y *Dyscinetus* sp.; con 17,4 y 14,1 % respectivamente. (Salcedo *et al.* 1999).

En las plantas de semilla se ha logrado disminuir la población de insectos dañinos como gorgojos y la palomilla, con el uso de trampas de color amarillo impregnadas con aceites y el empleo de trampas de luz negra (Vergara y Pérez, 2013). Es un método para monitorear y capturar los insectos que pueden presentarse en el cultivo del arroz. Atraen insectos voladores nocturnos (mariposas, escarabajos, moscas). Al capturar a los insectos adultos se interrumpe el ciclo biológico de estos y se logra la disminución de sus poblaciones.

Los Mechones, es un método para monitorear y capturar los insectos que pueden presentarse en el cultivo del arroz. Atraen insectos voladores nocturnos (mariposas, escarabajos, moscas). Al capturar a los insectos adultos se interrumpe el ciclo biológico de estos y se logra la disminución de sus poblaciones. Se recomienda al momento de la preparación del suelo, colocar cuatro (4) mechones por hectárea distribuidos cada 100 metros en cuadro por las orillas.

#### **Instrucciones para elaborar los mechones:**

1. Utilice y recicle recipientes de filtros de aceites de tractor metálicos de 200cc y un litro.
2. Rellene el filtro con aserrín o estopa hasta la parte superior del envase, luego agregue ACPM o petróleo al recipiente y ubique una mecha de tela para facilitar el encendido, la combustión y la permanencia de la llama en la noche.
3. Sujete con alambre el filtro a una estaca de madera de 1.5 m de altura. La estaca debe quedar bien enterrada y el envase debe estar bien sujetado y anclado a una base, con el fin de evitar el movimiento y derribe por el viento.
4. Como medio de captura se utilizarán recipientes plásticos de 20litros, cortados longitudinalmente. Se ubican en el suelo al lado de la estaca y se adiciona agua jabonosa a base de detergente, adicionando el volumen necesario a cinco (5) centímetros por debajo del borde del recipiente (figura 4).



**Figura 4.** Diferentes formas de mechones para el monitoreo y captura de insectos en el cultivo de arroz.

#### **Recomendaciones para el manejo etológico del cogollero**

1. Coloque 4 trampas de feromona en cuadro centrado cada 50 metros.
2. Coloque 4 trampas de tela roja cada 50 metros por los bordes del lote.
3. Coloque 4 mechones cada 100 metros distribuidos por los bordes del lote.

#### **Ventaja del empleo de Trampas de Feromonas (TF) y Trampas de Tela roja (TT).**

- a. No afectan el ambiente
- b. Las dosis son muy bajas y de bajo costo
- c. No crean resistencia en los insectos.
- d. Son de fácil empleo.
- e. Monitorear en forma anticipada adultos machos y posturas del cogollero.
- f. Permite diseñar estrategias de manejo oportuno para el Manejo Integrado del cogollero en el cultivo de arroz.

Las trampas de feromona y de tela son específicas para *Spodoptera* y se disminuye la población y evita una progenie de esas larvas que causen daño a la planta de arroz.

**Discusión.** Después de muchos años de explotación, los agroecosistemas en todo el mundo han demostrado su fragilidad. En diversos países el deterioro de estos sistemas de producción ha sido influenciado por el uso irracional de agroquímicos. En efecto los plaguicidas dificultan la obtención de alimentos limpios. Los contaminantes determinan calidad de los alimentos y productos comestibles. Es así como frutas o sus derivados, hortalizas, cereales y muchos otros vegetales están siendo rechazados en el mercado mundial, la causa contener residuos de agroquímicos (Vergara y Pérez, 2013).

Las trampas de feromonas, luz, color y la trampa de tela son para evitar altas poblaciones de insectos en el cultivo de arroz. Es un método preventivo y anticipado y permite diseñar las estrategias de manejo. La interrupción de la comunicación intraespecífica ha demostrado ser útil como método de control de algunos insectos dañinos, y se ha planteado como una alternativa para racionalizar o eliminar el uso de insecticidas de amplio espectro. Las feromonas son una alternativa eficiente para efectuar un

manejo integrado del cogollero, compatible con el ambiente y enmarcados en los principios de manejo sostenible del cultivo de arroz.

Malo *et al.* (2001), sugieren que la feromona *ChemTica* atrae eficientemente los biotipos de maíz y arroz de *S. frugiperda* registrados en México. Estos biotipos, junto con un híbrido también han sido reportados para la zona de estudio en el departamento del Tolima, Colombia (Vélez *et al.* 2008). El biotipo de maíz se colectó exclusivamente en cultivos de maíz y algodón y el de arroz en cultivos de arroz y en bajas proporciones en cultivos de maíz y algodón (Vélez *et al.* 2008). Aunque este estudio se realizó en un lote de algodón en donde teóricamente predominan el biotipo de maíz, la feromona *ChemTica* también ha mostrado ser eficiente en atraer adultos del gusano cogollero en lotes de arroz en Villanueva, Colombia (Vilaseca *et al.* 2008), cultivo en el que se asume predomina el biotipo de maíz.

**Experiencias en Manejo ecológico.** Investigaciones desarrolladas en el cultivo de arroz, muestran que con la implementación del control biológico se han logrado resultados en los proyectos de Producción más limpia y el Manejo ecológico de arroz con peces. Pérez (2005), demostró que en condiciones de secano mecanizado se puede producir arroz en una forma diferente a la convencional al disminuir la aplicación de fertilizantes inorgánicos y agroquímicos como insecticidas y fungicidas de alto impacto ambiental. La población de insectos fitófagos fue superior en el manejo convencional con relación al manejo ecológico. Este comportamiento se debe a que cuando no se realizan aplicaciones de insecticidas, se preservan y estimulan la presencia de los enemigos naturales que contribuyen a regular las poblaciones de los insectos fitófagos. La población de insectos benéficos fue superior en el manejo ecológico, donde se presentaron diferencias importantes para el caso de las arañas, odonatos y coccinellidos.

Con el objetivo de disminuir las aplicaciones de agroquímicos, entre ellos los insecticidas, se evalúan el uso de diferentes alternativas de manejo etológico para insectos, en las cuales no se usa ningún tipo de insecticida. En Córdoba, especialmente en el Centro de Investigación La Victoria de Fedearroz-F.N.A. en Montería se incursiona en el control preventivo de insectos para el cultivo del arroz con métodos alternativos.

**Manejo del agua.** El agua es uno de los recursos más eficiente para el manejo de los insectos fitófagos. Los mojes y drenajes disminuyen los daños del minador y del gorgojito de agua. El *Spodoptera*, el cucarro, la marranita y la chinche *Blissus* se pueden manejar con saturación del suelo (Tabla 1). El ácaro blanco del arroz *Steneotarsonemus spinki* se reporta desde el 2005 en diferentes zonas arroceras de Colombia. Pérez, 2016, realizó investigación con el propósito de registrar el comportamiento poblacional del ácaro en variedades de arroz con distintas condiciones de humedad del suelo y precisar el efecto del estrés hídrico en la población y daño del ácaro en el cultivo de arroz. Cinco variedades fueron sometidas a condición de saturación y déficit hídrico en la etapa reproductiva. Los resultados indican que se registraron diferencias significativas en las condiciones de humedad del suelo. En la condición de estrés hídrico se alcanzaron las máximas poblaciones del artrópodo con 53. 9 ácaros/vaina. El ácaro puede incrementar sus poblaciones hasta 4 veces cuando hay déficit de humedad en el suelo. En el genotipo Fedearroz Tana se presentaron las mayores poblaciones del artrópodo. Se registró preferencia varietal del ácaro en los genotipos evaluados. La condición de humedad del suelo, permite un buen manejo del cultivo. Esto evita stress en la planta de arroz y menor predisposición al daño por artrópodos y patógenos.



**Nutrición de las plantas.** La nutrición balanceada según el análisis de suelos permite obtener plantas vigorosas que son capaces de tolerar los daños de algunos insectos. Cuando hay desbalance nutricional, algunos insectos fitófagos atacan con más intensidad a las plantas; cuando hay algún exceso de nitrógeno por sobredosis o por mala distribución de los fertilizantes, el enrollador, el *Spodoptera* y la chinche hedionda *Tibraca limbativentris* causan más daño a las plantas (tabla 1).

**Tabla 1.** Efecto de prácticas culturales en el manejo de insectos en arroz.

LABOR	INSECTO
PREPARACION DE SUELOS	Cucarro, Marranita
MANEJO DE AGUA	Cogollero, Minador
DENSIDADES	Cogollero, Minador, Tibraca, Acaro
MANEJO DE ARVENSES	Chinche de la espiga, Sogata, Rupela, Acaro
NUTRICION	Cogollero, Enrollador, Tibraca, Acaro

**Conservación natural de insectos.** El conocimiento y comprensión de las leyes ecológicas que determinan las interacciones entre organismos del agroecosistema arrocero, es lo que se considera como la base del control ecológico de insectos. En los campos de arroz se encuentran especies de insectos predadores, parasitoides de los fitófagos, además de hongos, virus y bacterias patógenas. Estos organismos sobreviven gracias a la presencia de sus huéspedes o presas y al hecho de no tener agroecosistemas alterados (Vergara y Pérez, 2013).

Las dificultades de la actividad de los enemigos naturales en un agroecosistema arrocero, son hoy evidentes. El empleo de plaguicidas, así lo determina. Los loritos verdes, *Draecula cephal* y *Hortensia*; y *Tagosodes* se constituyen en especies fitófagas de alta dinámica poblacional bajo ciertas condiciones. Pérez (2005) encontró que cuando las poblaciones de arañas se establecen en los lotes de arroz se puede lograr un equilibrio biológico entre ellas y los insectos fitófagos, siempre y cuando no actúen los efectos deletéreos de los plaguicidas.

Los insectos fitófagos, ocasionan daños graves cuando no operan los factores de mortalidad. Los agentes bióticos pueden sufrir el impacto de los plaguicidas. Estos productos tienen efectos deletéreos sobre los enemigos naturales. Además se crea resistencia a estas sustancias por el insecto indeseable. En Colombia se han reportado brotes inusitados de algunos insectos fitófagos en arroz, que en ocasiones se atribuyen al alto uso de insecticidas y la posible destrucción de insectos benéficos aunada a la aparición de resistencia a los biocidas. En la década de los 90 se registraron brotes de *T. orizicolus* en la zona del distrito del Zulia y el Caribe Húmedo.

Estudios realizados en el cultivo de arroz en Colombia reportan la existencia de una amplia diversidad de organismos benéficos, conformados por parasitoides, predadores y entomopatógenos que cumplen un importante papel en la regulación de varios insectos dañinos. Esto explica porque a pesar del gran número de insectos fitófagos asociados al cultivo de arroz, solo el 10 % de ellos son de importancia económica.



El control biológico es una opción tecnológica ecológicamente viable para el manejo integral del cultivo de arroz. Esta alternativa es saludable para el ambiente, enriquece los recursos naturales disponibles mejoran los niveles de productividad y la estabilidad del sistema, garantizando un ambiente limpio y la permanencia de los productores.

Se están realizando medidas de control de bajo impacto ambiental en un esquema de manejo integrado de cultivo de arroz. Para el caso del barrenador del tallo, se han realizado liberaciones inundativas de controladores biológicos, en este caso particular la del parasitoide *Trichogramma exigum*, el cual ataca directamente los huevos de *Diatraea saccharalis*. La implementación de esta estrategia de manejo integrado en lotes AMTEC en Tauramena, ha permitido a los agricultores evitar aplicaciones de productos de síntesis química para el control del barrenador, ya que encontraron en la liberación de controladores biológicos una alternativa de manejo y una herramienta efectiva para mantener controlado el barrenador del tallo (Ardila, 2015).

El programa **AMTEC** ha sido pionero en este sentido, al establecer prácticas de control biológico para disminuir el impacto ambiental del cultivo debido a la reducción de la carga química del cultivo, principal estrategia de disminución de costos de producción y aumento de la competitividad del arrocero.

**Agricultura de precisión.** El manejo agronómico por ambiente, es una iniciativa para dar los primeros pasos en agricultura de precisión, logrando un cambio en el manejo tradicional de los lotes basado en promedios, a un manejo por ambientes que busca reconocer y analizar la heterogeneidad espacial y temporal que existe en un mismo lote, sin embargo no consiste solo en identificar esta variabilidad sino también en la adopción de prácticas que se realicen en función de la misma (Castilla *et al.* 2017, Castilla y Morales, 2015). Se está midiendo la población y daño de los insectos del cultivo acordes con los ambientes resultantes del NDVI. Los muestreos reflejan diferencias en las poblaciones y daños de los insectos por ambiente.

Con el uso de drones y herramientas matemáticas se realizan imágenes en tiempo real en lotes, que son utilizados para generar mapas de diagnósticos del estado fitosanitario del cultivo de arroz. Investigaciones recientes indican que el uso de sensores ópticos permiten generar información para la identificación de focos de enfermedades, malezas o plagas, y en especial para evaluar el estado nutricional de las plantas (Martínez y Ramos, 2015) y así hacer una gestión por sitio específico de los cultivos (Peng y Gitelson, 2011).

En este proceso de innovación tecnológica, Fedearroz-Fondo Nacional del Arroz adelantan investigaciones en Montería, Córdoba, con el propósito de conocer las diferencias de la respuesta espectral de plantas de arroz bajo el ataque de insectos fitófagos como *Spodoptera* y chinches para registrar las bandas espectrales que diferencien los síntomas del ataque del insecto dañino en diferentes estados de desarrollo de las plantas.

**Manejo químico de insectos fitófagos.** Se debe trabajar con medidas de control y con productos selectivos y de bajo impacto ambiental. El uso de nuevos conceptos y modos de acción de insecticidas, como las imitaciones de los principios naturales, inhibidores de síntesis de quitina (ISQ), reguladores de crecimiento, derivados de bacterias (*Bacillus thuringiensis*), plaguicidas botánicos y extractos de plantas,

transgénicos con tecnología para el cogollero *Spodoptera* y el barrenador *Diatraea*, feromonas de atracción y control que contribuyen con menor cantidad de productos al medio ambiente.

Se ha disminuido el uso de insecticidas Fosforados y piretroides. En los últimos años se registra en el cultivo de arroz, el uso de ingredientes activos como Spinotoram, Emamectin benzoato, Clorantioniprol y Clorantioniprol + Tiametoxan para el control de insectos fitófagos.

### **Anotaciones finales**

En el cultivo de arroz en Colombia se reportan una amplia diversidad de artrópodos fitófagos y benéficos. Los investigadores y técnicos del agroecosistema arrocero, enfrentan un compromiso, es lograr que este cultivo sea sostenible.

En procura del agricultor como empresario, para enfrentar los tratados de libre comercio y la variabilidad climática, Fedearroz diseñó en el año 2011 el programa de Adopción Masiva de Tecnología AMTEC, buscando la sostenibilidad, competitividad y empresarización del sector arrocero. Los monitoreos de insectos y el uso de los umbrales de acción, ha disminuido la carga de insecticidas en el cultivo del arroz.

La conservación de las poblaciones naturales de parasitoides, predadores y entomopatógenos es la principal estrategia para disminuir el daño de los insectos fitófagos en el cultivo de arroz. La disminución de la aplicación irracional de insecticidas, es un factor fundamental que sumados a la resistencia genética de variedades como Fedearroz 2000 para el complejo sogata - Virus de Hoja Blanca y la implementación de prácticas culturales, han disminuido las poblaciones de insectos dañinos, favoreciendo la acción de los enemigos naturales.

El uso de feromonas constituye un avance significativo en el control de insectos. Con la estrategia de la trampa de feromona, se captura una cantidad de machos de *Spodoptera* y se evita que este copule con la hembra, al no haber copula no hay posturas y si no hay posturas no hay descendencia de las larvas del cogollero que son las que nos hacen el daño en el cultivo del arroz.

El manejo biológico es una alternativa ecológica, permanente y económica para el manejo racional de insectos fitófagos. Se trata de mantener su población dentro de ciertos límites por la acción de factores abióticos y bióticos.

### **Referencias**

- AGUDELO J.; AMAYA, O.; AGUILERA, E.; CÁRDENAS, J. 2010. Evaluación de dos marcas comerciales de la feromona sexual de *Spodoptera frugiperda* Smith (Lepidoptera: Noctuidade) en el Tolima, (Colombia). En: Revista Corpoica - Ciencia y Tecnología Agropecuaria 11(2): 137-143.
- CASTILLA, A.; TIRADO, C.; CAMILO; CUELLAR, J. 2017. Manejo agronómico por ambiente, el primer paso en la agricultura de precisión. En: Arroz. Vol. 65. No. 527. Bogotá. Pág. 14-20.
- CASTILLA, A.; MORALES, H. 2015. Variabilidad espacial del suelo y el comportamiento de la planta de arroz. En: Arroz. Vol. 63. No. 515. Bogotá. Pág. 28-32.
- CUEVAS, A.; PÉREZ, C. R. 2013. Manejo integrado de insectos fitófagos en el cultivo de arroz. Fedearroz-Fondo Nacional del arroz. Produmedios. Bogotá. 52 p.

- CUEVAS A.; CASTILLA, A.; PÉREZ, C.; HIGUERA, O. 2016. Alternativas de Manejo Natural y Biológico en la Finca Amtec. Fedearroz-Fondo Nacional del Arroz- Minagricultura. Convenio de asociación No. 20160596. Monica Vera. Bogotá 63 p.
- LIZÁRRAGA, A.; IANNACONE, J. 1996. Manejo de feromonas en el control de plagas agrícolas. Edit. Red de Acción de Alternativas al uso de Agroquímicos (RAAA)/ Sociedad Entomológica del Perú (SEP). 194 p.
- PÉREZ, C. 2016. Monitoreo de artrópodos en el cultivo de arroz. Toma de decisión en Amtec. En Memoria Seminario Interno del cultivo de arroz. Fedearroz-Fondo Nacional del Arroz. Neiva. 6p.
- PÉREZ, C. 2015. Manejo integrado de artrópodos fitófagos en el cultivo de arroz. Amtec experiencia exitosa. En Memorias 43 congreso Socolen, Medellín. Pp. 175-187.
- VERGARA, R.; PÉREZ, C. 2013. Manejo ecológico de insectos fitófagos en el agroecosistema arrocero. Documento sin publicar.11p.

## **Simposio 9.**

# **Biología y comportamiento de insectos vectores de enfermedades infecciosas**

---

**Coordinación: Catalina Alfonso-Parra y Frank W. Avila**

Instituto Colombiano de Medicina tropical (ICMT)

Sociedad Max Planck Universidad de Antioquia

### **Participantes:**

Sebastián Gómez, Hoover Pantoja, Viviana Vélez, Freddy Ruiz  
PECET – Universidad de Antioquia

Francisco Vargas  
<sup>2</sup>SISTEMIC- Universidad de Antioquia

Catalina Alfonso-Parra  
Instituto Colombiano de Medicina Tropical (ICMT)

Priscila Bascuñán  
Escuela de Microbiología, Universidad de Antioquia

Laura Bibiana Ospina, Melanie Ramírez Casallas, Mario Iván Ortiz, Jorge Molina  
Idalba Mildred Serrato Pomar, Paola Andrea Caicedo Burbano, Yenifer Orobio, Carl Lowenberger and  
Clara Beatriz Ocampo Durán

## SIMPOSIO

### Biología y comportamiento de insectos vectores de enfermedades infecciosas

Coordinadores: Catalina Alfonso-Parra<sup>1,2</sup> y Frank W. Avila<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Colombiano de Medicina tropical (ICMT). <sup>2</sup>Max Planck- UdeA – Mosquito reproductive biology group.  
*catalfonso@gmail.com.*

#### Introducción

Algunos insectos son capaces de transmitir virus, bacterias o parásitos, causantes de diferentes enfermedades en humanos y animales. Muchos de estos vectores de enfermedades son insectos que se alimentan de sangre, obteniendo los agentes infectantes cuando se alimenta de un huésped infectado (humano o animal) y que posteriormente lo inyectan en un nuevo huésped durante su subsecuentes tomas de sangre. Entre los insectos vectores se encuentran los mosquitos, las pulgas, las garrapatas y los triatominos entre otros. Las enfermedades transmitidas por vectores cuentan por el 17 % de todas las enfermedades infecciosas a nivel mundial. Cada año 1 billón de casos y más de 1 millón de muertes en el mundo son causadas por agentes infecciosos transmitidos por vectores, como son la malaria, el dengue, esquistosomiasis, tripanosomiasis, leishmaniasis, enfermedad de Chagas, y oncocercosis.

La distribución de las enfermedades transmitidas por vectores depende de factores sociales, ambientales y biológicos del vector. Así pues, la globalización, la urbanización desmedida y el crecimiento de la población, como factores sociales y la variación en temperaturas y lluvias, en general el cambio climático, y otros factores ambientales, son todos importantes para el esparcimiento de las enfermedades.

En la actualidad las estrategias de control de las enfermedades transmitidas por insectos, en su mayoría, son dirigidas al control del vector que transmite el agente infeccioso. Sin embargo, el control de los vectores se ha dificultado por causas que incluyen, la resistencia a insecticidas y el cambio en el comportamiento y la biología de los insectos. De hecho, la resistencia a insecticidas de diferentes poblaciones de *Anopheles*, vector de la malaria, representa una de las amenazas más importantes a los programas de control de enfermedades a nivel mundial. Por tanto, el entendimiento de la biología y la genética de los vectores se hace indispensable para el desarrollo de herramientas innovadoras de control o el mejoramiento de los métodos actuales.

En este simposio se presentaran estudios realizados en mosquitos vectores, *Aedes aegypti*, *Anopheles gambiae* y *Anopheles albimanus*, en las área de reproducción, competencia vectorial y respuesta inmune. Adicionalmente se presentaran resultados de estudios realizados en ecología sensorial del vector *Rhodnius prolixus*.

## Biología y comportamiento de vectores

### Caracterización del proceso de apareamiento de uno de los principales vectores de malaria en Colombia, *Anopheles albimanus*

Sebastián Gómez<sup>1,2</sup>, Hoover Pantoja<sup>1,2</sup>, Viviana Vélez<sup>1</sup>, Freddy Ruiz<sup>1</sup>, Francisco Vargas<sup>2</sup> y Catalina Alfonso-Parra<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup> PECET – Universidad de Antioquia. <sup>2</sup>SISTEMIC- Universidad de Antioquia. <sup>3</sup> Instituto Colombiano de Medicina Tropical (ICMT). <sup>4</sup>Max Planck- UdeA – Mosquito reproductive biology group, [catalfonso@gmail.com](mailto:catalfonso@gmail.com).

---

**Resumen.** Malaria is one of the most important mosquito-borne diseases worldwide. In 2015, malaria affected an estimated 214 million people and caused ~438,000 deaths. Control of *Anopheles albimanus*, a primary vector of malaria in Colombia, is currently focused on the use of insecticides and bed nets. However, an approach that exploits *An. albimanus* biological traits would allow for more specific targeting of this vector. We aim to better understand mating biology and behavior of *An. albimanus* in order to develop and/or improve tools implemented in vector control and surveillance. To gain insight into *An. albimanus* mating behavior, we are characterizing the mating behavior, while at the same time dissecting the acoustics of mating in this species to determine how they find and attract a mate and how they copulate. In this study, under laboratory conditions, we are observing *An. albimanus* couple to better describe the copulatory behavior, while characterizing acoustic signals produced by individuals during flight and recording their responses when exposed to individuals of the opposite sex. We found that males and females copulate find each other during flight, but then copulate while standing in the ground in a tail to tail position, activity that last between 8 – 10 seconds, as observed in *An. gambiae*. We also found that for the acoustics, the fundamental frequency of *An. albimanus* is between 376 Hz and 547 Hz. As has been observed in other species, *An. albimanus* individuals modulate their frequency when brought into close proximity to an individual of the opposite sex, resulting in frequencies converging. We find that this modulation happens in some couples at the female's third harmonic and male's second. The time of convergence is between 1.09 to 1.29s, which is almost half the time reported for *An. gambiae*. Taken together, these results contribute to our knowledge of *An. albimanus* mating behavior and will potentially aid in future vector control efforts.

**Palabras clave.** Reproduccion. Acústica. *Anopheles albimanus*.

#### Introducción

La Malaria es una enfermedad endémica en 21 países del continente Americano con un estimado de 427,000 casos por año, y donde aproximadamente 120 millones de habitantes viven en riesgo de contraer la enfermedad. Sesenta por ciento de los casos en el continente se reportaron en Brasil, seguido por Colombia (12.8 %), Venezuela (11.2 %) y Guyana (6.7 %) (Arevalo-Herrera *et al.* 2012; Herrera *et al.* 2015).

En Latinoamérica, el parásito que produce la malaria puede ser transmitido por más de 10 especies de hembras anophelinas (Arevalo-Herrera *et al.* 2012), incluyendo especies pertenecientes al subgénero *Nyssorhynchus*, el cual es específico al nuevo mundo. *An. albimanus*, miembro del subgénero

*Nyssorhynchus*, se encuentran entre los principales vectores de la malaria, siendo unas de las especies más abundantes y con mayor distribución en América latina (Zimmerman 1992; Sinka *et al.* 2010; Martínez-Barnetche *et al.* 2012; Lol *et al.* 2013; Manguin *et al.* 1999).

La erradicación de la malaria se ha basado en la eliminación del mosquito adulto por medio del uso de toldillos tratados con insecticidas, fumigación residual intradomiciliaria y fumigación espacial. Sin embargo, el control de vectores ha fallado debido a factores ambientales, cambios en el comportamiento de los vectores y la aparición de poblaciones de mosquitos resistentes a insecticidas (Beier *et al.* 2008; Diabate and Tripet 2015; T. L. Russell *et al.* 2013). De hecho, la resistencia a insecticidas de diferentes poblaciones de *Anopheles*, representa una de las amenazas más importantes a los programas de control de malaria a nivel mundial. En consecuencia, se hace necesario desarrollar nuevas estrategias de control (Kamareddine 2012).

Un blanco importante para el control de vectores es el proceso de la reproducción, siendo el principal factor para el establecimiento y aumento de la población, y por ende, de la propagación de las enfermedades que ellos transmiten. Incluso, nuevas herramientas para el control de mosquitos que toman ventaja de algún paso de este proceso, como insectos estériles e individuos genéticamente modificados, están siendo desarrolladas (Gentile, Rund; Madey 2015; Ageep *et al.* 2014; Gabrieli, Smidler; Catteruccia 2014; Nolan *et al.* 2011).

En la actualidad, la mayoría de estudios realizados para caracterizar la reproducción en anophelinos se han enfocado en la especie africana *An. gambiae*, mientras que es poca la información que se tiene sobre reproducción en anophelinos del nuevo mundo. Sin embargo, los pocos estudios de reproducción usando especies como *An. albimanus*, muestran diferencias de este proceso entre los anophelinos del nuevo y del viejo mundo, haciendo especialmente importante la caracterización de más especies (Lounibos, L. P.; Lima; Lourenco-de-Oliveira 1998; Wilton and Fetzer 1972; Mitchell *et al.* 2015). Así pues, el objetivo principal de nuestro estudio es caracterizar el comportamiento copulatorio de *An. albimanus*, la localización, atracción y selección de individuos del sexo opuesto, incluyendo las señales acústicas, necesarios para que se de el apareamiento en estas especies, estudios que no se han realizado previamente.

**Comportamiento de apareamiento.** En general, la mayoría del conocimiento en el campo de la biología del género *Anopheles* se deriva de estudios realizados en la especie africana *An.gambiae*, mientras varios aspectos básicos de la biología de *An. albimanus*, *An. darlingi* y de otras especies encontradas en Latinoamérica, no son totalmente entendidos.

Machos de las especies de *An. gambiae* (Charlwood *et al.* 2002; Manoukis *et al.* 2014), *An. funestus*(Charlwood, Thompson; Madsen 2003)y *An. culicifacies*(Reisen and Aslamkhan 1976), se organizan en grandes enjambres para copular. Normalmente, la formación de estos enjambres depende de la luz, clima, de un marcador y/o del ciclo circadiano de los individuos. Así por ejemplo, los enjambres de *An. funestus* y *An. gambiae* son similares y ocurren en la tarde, a una altura de entre 2 -4 metros, en áreas relativamente abiertas y el número estimado de individuos en la organización es constante (Charlwood, Thompson; Madsen 2003)(Charlwood *et al.* 2002). Estos estudios contrastan con el poco conocimiento que se tiene sobre los enjambres de *anophelinoslatinoamericanos*. En el único estudio sobre copulación realizado con la especie latinoamericano *An. darlingi*, sugieren que el apareamiento sucede, después de la liberación de hembras marcadas con polvo fluorescente, en espacios



peridomesticos y sin la formación de un enjambre (Lounibos, L. P.; Lima; Lourenco-de-Oliveira 1998), sin mencionar las características que se tuvieron en cuenta para definir la formación de este, como por ejemplo, el número de individuos. Por otra parte, estudios con individuos obtenidos de colonias de laboratorio de la especie *An. albimanus*, describen un incremento en la actividad sexual cuando los mosquitos son expuestos a aliento humano (Wilton and Fetzer 1972). Aunque los enjambres en *Angambiae* están caracterizados, no se ha descrito aun si las especies anophelinas del nuevo continente forman o no enjambres. Sin embargo, lo que sabemos basados en nuestras observaciones es que las hembras ya han copulado antes de buscar un huésped para su alimentación.

**Acústica y convergencia armónica.** En algunas especies de mosquitos *Anopheles* y *Aedes*, una vez las hembras entran al enjambre para copular, son reconocidas por el macho, principalmente, por la frecuencia del sonido que producen sus alas durante el vuelo. La respuesta de los machos a las frecuencias del sonido producido por las hembras se ha estudiado desde 1901, cuando Sir Hiram Maxim notó que un gran número de mosquitos machos eran atraídos por el sonido de las escobillas del generador de un nuevo dínamo (Curtis 1986). En 1946, Khan *et al.* exploraron las señales sonoras de varios insectos vectores, entre ellos *Ae. aegypti*, *Ae. albopictus*, *An. quadrimaculatus*, *An. albimanus* y *Culex pipiens*. Este trabajo se enfocó en realizar grabaciones de dichas especies y observar el comportamiento, tanto de machos como de hembras, al entrar en contacto entre ellos o con señales artificiales. Los resultados evidenciaron que las frecuencias naturales de los aleteos de estos vectores estaban en un rango de 250 a 1500 Hz, con un tono particular para cada especie. Además, observaron que los machos modulan sus propias frecuencias una vez entran en contacto con hembras de la misma especie (Kahn, Celestin; Offenhauser 1945). Sin embargo, no existió mucho interés en el sonido como método de atracción, hasta que Ikeshoji demuestra que el sonido es capaz de funcionar como atrayente para una gran variedad de especies, y que es posible desarrollar trampas acústicas para el control de mosquitos vectores (Ikeshoji, n.d.; Ikeshoji 1986; Ikeshoji and Owaga 1988). Después de estos estudios, otros experimentos se llevaron a cabo con el fin de caracterizar la atracción acústica en mosquitos, principalmente en mosquitos de los géneros *Aedes* y *Culex*. En el 2009, la Dra. Lauren Cator, describe un proceso de convergencia de las frecuencias del aleteo de machos y hembras de la especie *Ae. aegypti* al momento del cortejo. Esta convergencia armónica no se da en las frecuencias naturales del aleteo, sino en armónicos superiores (Cator *et al.* 2009). En *Ae. aegypti* la convergencia se da en el segundo armónico de la frecuencia natural del macho (600 Hz) y el tercero de la hembra (400 Hz). De la misma manera, se ha descrito el proceso de convergencia armónica en otras especies de importancia médica como *Cx. quinquefasciatus* y *An. gambiae* (Pennetier *et al.* n.d.; Warren, Gibson; Russell 2009; Cator *et al.* 2010).

Adicionalmente, se han relacionado las señales acústicas con el mecanismo usado por la hembra para valorar los diferentes machos de un enjambre. Estudios realizados en *An. gambiae* demostraron que las señales acústicas varían de acuerdo al tamaño del cuerpo, donde individuos grandes producen altas frecuencias en su tono de vuelo, provocando una respuesta más rápida en individuos del sexo opuesto, comparado con los mosquitos pequeños (Cator *et al.* 2010). Más aún, la relación entre tamaño del cuerpo grande y una alta capacidad reproductiva ha sido previamente demostrada en mosquitos. En *Ae. aegypti*, existe relación entre el tamaño del individuo, la edad y su alto potencial reproductivo (Ponlawat and Harrington 2007; Helinski and Harrington 2011). Finalmente, estudios en *An. freeborni* y en *An. gambiae*, relacionan el tamaño del macho con su potencial reproductivo, donde los machos grandes copulan con más hembras comparados con machos pequeños en el mismo enjambre (Yuval, Wekesa; Washino 1993; Ng'Habi *et al.* 2005). En nuestros estudios de acústica de *An. albimanus* en laboratorio hemos encontrado que la frecuencia fundamental para esta especie esta entre 320 y 640 Hz. Sin

embargo, en nuestro caso ni la frecuencia fundamental producida por los individuos ni la intensidad del sonido esta relacionada con su tamaño, a diferencia de lo que se ha descrito para mosquitos de las especies *Ae. aegypti* y *An. gambiae*. Durante el proceso de convergencia, las parejas de *Analbimanus* modulan sus frecuencias en el tercer armónico de la hembra y el segundo del macho.

La caracterización de el proceso de reproducción en diferentes especies de mosquitos es importante para desarrollar nuevas herramientas para la vigilancia y el control del vector. Aunque los resultados que hemos obtenido son pasos importantes en el estudio de la reproducción, es necesario seguir caracterizandolos principales factores que estimulan el comportamiento sexual de *An. albimanus* cuanto a la atracción, el cortejo, y la copulación no solo con individuos de laboratorio pero también con mosquitos silvestres.

## Referencias

- AGEEP, TELLAL B, DAVID DAMIENS, BASHIR ALSHARIF, AYMAN AHMED, ELWALEED H O SALIH, FAYEZ T AAHMED, ABDOULAYEDIABATE, ROSEMARY S LEES, JEREMIE R L GILLES; BADRIA B EL SAYEd. 2014. Participation of Irradiated *Anopheles arabiensis* Males in Swarms Following Field Release in Sudan. *Malaria Journal* 13: 484. doi:10.1186/1475-2875-13-484.
- AREVALO-HERRERA, MYRIAM, MARTHA LUCIA QUIÑONES, CARLOS GUERRA, NORA CÉSPEDES, SANDRA GIRON, MARTHA AHUMADA, JUAN GABRIEL PIÑEROS, *Et al.* 2012. Malaria in Selected Non-Amazonian Countries of Latin America. *Acta Tropica* 121 (3). NIH Public Access: 303–14. doi:10.1016/j.actatropica.2011.06.008.
- BEIER, JOHN C, JOSEPH KEATING, JOHN I GITHURE, MICHAEL B MACDONALD, DANIEL E IMPOINVIL; ROBERT J NOVAK. 2008. Integrated Vector Management for Malaria Control. *Malaria Journal* 7 Suppl 1: S4. doi:10.1186/1475-2875-7-S1-S4.
- CATOR, LAUREN J, BEN J ARTHUR, LAURA C HARRINGTON; RONALD R HOY. 2009. Harmonic Convergence in the Love Songs of the Dengue Vector Mosquito. *Science (New York, N.Y.)* 323 (5917): 1077–79. doi:10.1126/science.1166541.
- CATOR, LAUREN J, KIJA R NG'HABI, RONALD R HOY; LAURA C HARRINGTON. 2010. Sizing Up a Mate: Variation in Production and Response to Acoustic Signals in *Anopheles Gambiae*. *Behavioral Ecology* 21 (5). Oxford University Press: 1033–39. doi:10.1093/beheco/araq087.
- CHARLWOOD, J D, J PINTO, C A SOUSA, H MADSEN, C FERREIRA; V E DO ROSARIO. 2002. The Swarming and Mating Behaviour of *Anopheles gambiae* S.S. (Diptera: Culicidae) From Sao Tome Island. *Journal of the Society for Vector Ecology* 27 (2): 178–83.
- CHARLWOOD, J D, R THOMPSON; H MADSEN. 2003. Observations on the Swarming and Mating Behaviour of *Anopheles funestus* From Southern Mozambique. *Malaria Journal* 2 (February): 2.
- CURTIS, C F. 1986. Fact and Fiction in Mosquito Attraction and Repulsion. *Parasitology Today* 2 (11): 316–18. doi:10.1016/0169-4758(86)90129-8.
- DIABATE, ABDOULAYE; FREDERIC TRIPET. 2015. Targeting Male Mosquito Mating Behaviour for Malaria Control. *Parasites & Vectors* 8. London: BioMed Central: 347.
- GABRIELI, PAOLO; REA SMIDLER; FLAMINIA CATTERUCCIA. 2014. Engineering the Control of Mosquito-Borne Infectious Diseases. *Genome Biology* 15 (11): 535. doi:10.1186/s13059-0140535-7.
- GENTILE, JAMES E, SAMUEL S C RUND; GREGORY R MADEY. 2015. Modelling Sterile Insect Technique to Control the Population of *Anopheles gambiae*. *Malaria Journal* 14: 92. doi:10.1186/s12936-015-0587-5.

- HELINSKI, MICHELLE E H; LAURA C HARRINGTON. 2011. Male Mating History and Body Size Influence Female Fecundity and Longevity of the Dengue Vector *Aedes aegypti*. *Journal of Medical Entomology* 48 (2): 202–11.
- HERRERA, SOCRATES, SERGIO ANDRES OCHOA-OROZCO, IVETH J GONZALEZ, LUCRECIA PEINADO, MARTHA L QUIÑONES; MYRIAM AREVALO-HERRERA. 2015. Prospects for Malaria Elimination in Mesoamerica and Hispaniola. *PLoS Neglected Tropical Diseases* 9 (5): e0003700.
- IKESHOJI, T. 1986. Distribution of the Mosquitoes, *Culex tritaeniorhynchus*, in Relation to Disposition of Sound Traps in a Paddy Field. *Medical Entomology and Zoology* 37 (2): 153-159.
- IKESHOJI, T. n.d. Attractive Sounds for Autochemosterilization of the Male Mosquitos. *Japanes Journal of Sanitary Zoology* 33 (1).
- IKESHOJI, T; K OWAGA. 1988. Field Catching of Mosquitoes with Various Types of Sound Traps. *Japanese Journal of Sanitary Zoology* 39: 119–24.
- KAHN, M C, W CELESTIN; W OFFENHAUSER. 1945. Recording of Sounds Produced by Certain Disease-Carrying Mosquitoes. *Science (New York, N.Y.)* 101 (2622): 335–36.
- KAMAREDDINE, LAYLA. 2012. The Biological Control of the Malaria Vector. *Toxins* 4 (9). MDPI: 748–67.
- LOL, JUAN C, MARIA E CASTELLANOS, KELLY A LIEBMAN, AUDREY LENHART, PAMELA M PENNINGTON; NORMA R PADILLA. 2013. Molecular Evidence for Historical Presence of Knock-Down Resistance in *Anopheles albimanus*, a Key Malaria Vector in Latin America. *Parasites & Vectors* 6: 268.
- LOUNIBOS, L. P.; D C LIMA; R LOURENCO-DE-OLIVEIRA. 1998. Prompt Mating of Released *Anopheles darlingi* in Western Amazonian Brazil. *Journal of the American Mosquito Control Association* 14 (2): 210–13.
- MANGUIN, S, R C WILKERSON, J E CONN, Y RUBIO-PALIS, J A DANOFF-BURG; D R ROBERTS. 1999. Population Structure of the Primary Malaria Vector in South America, *Anopheles darlingi*, Using Isozyme, Random Amplified Polymorphic DNA, Internal Transcribed Spacer 2; Morphologic Markers. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 60 (3): 364–76.
- MANOUKIS, NICHOLAS C, SACHITBUTAIL, MOUSSA DIALLO, JOSE M C RIBEIRO; DEREK A PALEY. 2014. Stereoscopic Video Analysis of *Anopheles gambiae* Behavior in the Field: Challenges and Opportunities. *Acta Tropica* 132 Suppl (April): S80–S85. doi:10.1016/j.actatropica.2013.06.021.
- MARTÍNEZ-BARNETCHE, JESÚS, ROSA E GÓMEZ-BARRETO, MARBELLA OVILLA-MUÑOZ, JUAN TÉLLEZ-SOSA, DAVID E GARCÍA LÓPEZ, RHOEL R DINGLASAN, CEEREE NAUBAIDA MOHIEN, *et al.* 2012. Transcriptome of the Adult Female Malaria Mosquito Vector *Anopheles albimanus*. *BMC Genomics* 13. BioMed Central: 207–7.
- MITCHELL, SARA N, EVDXOIA G KAKANI, ADAM SOUTH, PAUL I HOWELL, ROBERT M WATERHOUSE; FLAMINIACATTERUCCIA. 2015. Mosquito Biology. Evolution of Sexual Traits Influencing Vectorial Capacity in Anopheline Mosquitoes. *Science (New York, N.Y.)* 347 (6225): 985–88.
- NG'HABI, KIJA R, BERNADETTE JOHN, GAMBANKWENGULILA, BART G J KNOLS, GERRY F KILLEEN; HEATHER M FERGUSON. 2005. Effect of Larval Crowding on Mating Competitiveness of *Anopheles gambiae* Mosquitoes. *Malaria Journal* 4: 49.
- NOLAN, TONY, PHILIPPOS PAPATHANOS, NIKOLAI WINDBICHLER, KALLE MAGNUSSON, JASON BENTON, FLAMINIACATTERUCCIA; ANDREA CRISANTI. 2011. Developing Transgenic *Anopheles* Mosquitoes for the Sterile Insect Technique. *Genetica* 139 (1): 33–39. doi:10.1007/s10709-010-9482-8.
- PENNETIER, CÉDRIC, BEN WARREN, K ROCHDABIRÉ, IAN J RUSSELL; GABRIELLA GIBSON. N.D. 2010. 'Singing on the Wing' as a Mechanism for Species Recognition in the Malarial Mosquito *Anopheles gambiae*. *Current Biology* 20 (2): 131–36.

- PONLAWAT, ALONGKOT; LAURA C HARRINGTON. 2007. Age and Body Size Influence Male Sperm Capacity of the Dengue Vector *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *Journal of Medical Entomology* 44 (3): 422–26.
- REISEN, W K; M ASLAMKHAN. 1976. Observations on the Swarming and Mating Behavior of *Anopheles* Culicifacies Giles in Nature. *Bulletin of the World Health Organization* 54 (2): 155-158.
- RUSSELL, TANYA L, NIGEL W BEEBE, ROBERT D COOPER, NEIL F LOBO; THOMAS R BURKOT. 2013. Successful Malaria Elimination Strategies Require Interventions That Target Changing Vector Behaviours. *Malaria Journal* 12: 56. doi:10.1186/1475-2875-12-56.
- SINKA, MARIANNE E, YASMIN RUBIO-PALIS, SYLVIE MANGUIN, ANAND PPATIL, WILL H TEMPERLEY, PETER W GETHING, THOMAS VAN BOECKEL, CAROLINE W KABARIA, RALPH E HARBACH; SIMON I HAY. 2010. The Dominant *Anopheles* Vectors of Human Malaria in the Americas: Occurrence Data, Distribution Maps and Bionomic Precis. *Parasites & Vectors* 3: 72. doi:10.1186/1756-3305-372.
- WARREN, BEN, GABRIELLA GIBSON; IAN J RUSSELL. 2009. Sex Recognition Through Midflight Mating Duets in *Culex* Mosquitoes Is Mediated by Acoustic Distortion. *Current Biology* 19 (6): 485–91. doi:10.1016/j.cub.2009.01.059.
- WILTON, D P; L E FETZER. 1972. Pairing of *Anopheles albimanus* in Response to Human Breath. *Mosquito News* 32: 0. Yuval, B, J W Wekesa; R K Washino. 1993. Effect of Body Size on Swarming Behavior and Mating Success of male *Anopheles freeborni* (Diptera: Culicidae). *Journal of Insect Behavior* 6 (3). Kluwer Academic Publishers-Plenum Publishers: 333–42. doi:10.1007/BF01048114.
- ZIMMERMAN, R H. 1992. Ecology of Malaria Vectors in the Americas and Future Direction. *Memorias Do Instituto Oswaldo Cruz* 87 Suppl 3: 371–383.

## Elucidating the molecular basis of the reproduction of the main African malaria vector

Priscila Bascuñán<sup>1,2,3</sup>

Dipartimento di Medicina Sperimentale e Scienze Biochimiche, Università degli Studi di Perugia, Perugia, Italy  
<sup>2</sup>Department of Immunology and Infectious Diseases, Harvard School of Public Health, Boston, MA, U.S.A. <sup>3</sup>Current address: Escuela de Microbiología, Universidad de Antioquia, Calle 70 No. 52-21, Bloque 5-430. Medellín, Colombia.  
*pricebas@gmail.com*

---

**Abstract.** Malaria is caused by parasites of the genus *Plasmodium* and mosquitoes of the genus *Anopheles*. It is a disease that infects around 200 million people annually and causes approximately 600,000 deaths, mostly children under five years of age. Among the several factors that determine the ability of the *Anopheles* mosquitoes to be successful malaria vectors the capacity to reproduce at high rates is an essential one. Unfortunately, little is known about the reproduction of *Anopheles* mosquitoes. The importance of increasing the knowledge of the reproductive biology of *Anopheles* mosquitoes is a promising way to control or eradicate its populations in the field. Here I describe the molecular basis of the reproduction of the main malaria vector, *Anopheles gambiae* (Diptera: Culicidae), making reference of other study models such as *Drosophila melanogaster* (Diptera: Drosophilidae).

**Key words.** *Anopheles gambiae*. Mosquito. Reproduction. Mating. Post-mating behaviours.

### Introduction

Malaria is a disease that infects around 200 million people annually and causes approximately 600,000 deaths, mostly children under five years of age (WHO 2016). Although the estimated incidence of malaria globally has reduced, some demographic studies have shown that the numbers reported by the World Health Organization are underestimated (Snow *et al.* 2005). Malaria is endemic in 106 nations, mainly (91 %) in the sub-Saharan Africa although being also in Asian and Latino American countries. This reflects the magnitude of the malaria burden and the importance of finding a solution to this disease.

Malaria is caused by a parasite of the genus *Plasmodium*. There are 5 main species that cause the disease in humans: *P.vivax*, *P.ovale*, *P. malariae*, *P. falciparum* and recently identified in humans *P. knowlesi*. The malaria parasite exhibits a complex life cycle that involves an insect vector (commonly *Anopheles* mosquitoes) in which the sexual stages occur; a vertebrate host, in which the asexual development takes place.

In brief, the infection is initiated when sporozoites contained in the saliva of a *Plasmodium*-infected mosquito are introduced into the vertebrate host during the mosquito blood meal. Sporozoites are carried by the circulatory system to the liver and invade the hepatocytes. A proportion of the liver-stage of *P. vivax* parasites go through a dormant period instead of immediately undergoing to the blood-stage replicative cycle. These hypnozoites will reactivate anytime after the primary infection and are responsible for relapses of the disease. The other portion differentiates into gametocytes (micro and macro), which are ingested by a female *Anopheles* mosquito where fertilization occurs. The resulting zygote develops into a motile ookinete, which penetrates the gut epithelial cells, reaches the mosquito hemolymph and develops into an oocyst. The oocyst undergoes multiple internal divisions that result in

the production of haploid sporozoites. Rupture of the mature oocyst releases the sporozoites into the hemocoel of the mosquito. Finally, the sporozoites migrate to and invade the salivary glands, where remain until the next blood feeding (Mènard 2005).

Nowadays, the WHO Global Malaria Programme (WHO 2012) provides technical assistance to countries affected by malaria on topics such as: diagnosis and treatment, surveillance and monitoring of malaria endemic areas; on research for improving the tools to combat malaria through the control of its vector. The ability of the *Anopheles* mosquitoes to be a successful malaria vector depends on several factors like the strong preference to human blood, its long lifespan, a high susceptibility to *Plasmodium* parasite and a high reproductive rate.

### Biological aspects of *Anopheles* mosquitoes

***Anopheles* mosquito life cycle.** *Anopheles* mosquitoes are holometabolous insects, which means they go through a complete metamorphosis. The life cycle starts when a female *Anopheles* mosquito deposits her eggs in the water where they float until the larva hatches. After hatching, the larva immediately swims to the surface, exposing the spiracles to the air and allowing them to breathe. Larvae have a well-developed head with mouth brushes used for feeding, a large thorax with no legs and a segmented abdomen. The larvae spend most of their time feeding on algae, bacteria; other microorganisms in the surface microlayer. Larvae develop through four instars, of a similar morphology but of increasing sizes, after which they metamorphose into pupae. The pupa is a comma-shaped stage. The head and thorax are merged into a cephalothorax with the abdomen circling around underneath. As with the larvae, pupae must come to the surface frequently to breathe, which they do through a pair of respiratory trumpets on the cephalothorax. However, pupae do not feed during this stage. After a few days, the pupa rises to the water surface; the dorsal surface of the cephalothorax splits and the adult mosquito emerges. The variation of the body size in adult mosquitoes depends on the density of the larval population and food supply within the breeding water (Clements 1992).

**Reproductive biology.** In all living organisms, survival and successful reproduction are important components of the fitness of an individual. In *Anopheles* mosquitoes, the capacity to oviposit and leave progeny depends on two main conditions: egg development and mating. Although virgin females can produce mature eggs after a blood meal, they do not lay eggs until a successful copulation has occurred.

***Male and female reproductive systems.*** The male reproductive system of *Anopheles* mosquitoes consists of the male accessory glands (MAGs) and the testes. MAGs of many insect species produce and secrete proteins that are collectively named accessory gland proteins or Acps. In *Anopheles* mosquitoes, the seminal fluid proteins are transferred to females during copulation in a form of a mating plug, which is  $\approx 0.5$ mm long (Gillies 1956) and is digested in  $\approx 24$ -48 h post-mating.

The female reproductive system consists of two ovaries and the low reproductive tract (LRT). The ovaries are situated dorsolaterally in the posterior region of the abdomen, each composed of functional units called ovarioles. The LRT includes the atrium, where male seminal fluid is received in form of mating plug; the spermatheca, where sperm is stored; and the female accessory gland or parovarium, which function is still unknown (Clements 1992).

***Mating and post-mating behaviours.*** Reproduction in insects is often accompanied by specific behaviours. *Anopheles* adult mosquitoes are ready to flight after 15-20 minutes of emerging; a few days



after are ready to mate. In this species, the males form large swarms, usually around dusk, where the females fly, enter and mate (Clements 1992).

After mating, females from several taxa undergo a series of physiological and behavioral changes that include a temporal or permanent decrease in receptivity to re-mating (refractoriness), changes in sperm storage parameters, an increase in egg production/egg laying, changes in female feeding and flight behaviors and, in some organisms, the induction of the expression of antimicrobial peptides (reviewed in Ravi and Wolfner 2007; Avila *et al.* 2011). In *Anopheles* mosquitoes, in particular, these changes include shifts in the phase of the flight activity rhythm from crepuscular to nocturnal, induction of lifetime refractoriness to further copulation, with multiple matings occurring only in a small percentage of individuals; in the case of blood fed females, onset of ovulation and oviposition (Tripet *et al.* 2003).

In many animals, the seminal fluid proteins transferred to the female during copulation modulate the post-mating behaviours. Among these, several protein classes including proteases/proteases inhibitors, lectins, prohormones, peptides and antioxidants, are present in organisms from arthropods to mammals, playing roles in functions related to sperm binding, proteolysis, lipases and immunity (Avila *et al.* 2011).

In particular, in *Drosophila melanogaster* a few Acps are the triggers of important short and long-term responses after mating. For instance, in the first 24 h after copulation there is a reduction in receptivity and elevated egg production. Acp26Aa, also called *ovulin*, is the main factor responsible for the short-term ovulation (Herndon and Wolfner 1995), while the maintenance of the post-mating physiological and behavioral changes depend on the presence of stored sperm in the females; also known as “sperm effect”. One Acp, the Sex-peptide (SP; Acp70A), is known to be critical for the long-term response. In fact, Chapman *et al.* (2003) used the RNA-interference (RNAi) approach to knockdown this Acp, demonstrating that SP is necessary for reducing the female receptivity and increasing significantly the long-term ovulation rates.

In contrast to *D. melanogaster*, Thailayil *et al.* (2011) demonstrated that *A. gambiae* females mated to spermless males exhibited normal post-copulatory responses, such as laying large numbers of eggs upon blood feeding and becoming refractory to subsequent insemination. Interestingly, some recent studies demonstrated that silencing three distinct isoforms of the transcriptional factor *Hsf* in *A. gambiae* male mosquitoes, resulted in a significant down-regulation of 50 % of the Acps gene expression and, as a consequence, females mated with *Hsf*-silenced males showed a 58 % reduction in the progeny (Dottorini *et al.* 2012). This study supports the hypothesis that Acps and not sperm may be the main triggers for the postmating behavioral changes in females.

Besides that, it has been shown that the mating plug is formed by a cross-linking of seminal proteins mediated by a MAG-specific transglutaminase (*TGase*) and that interfering with the *TGase* production prevents plug formation and proper sperm storage in *A. gambiae* females, thereby impacting their fertility (Rogers *et al.* 2009). In addition, a mass spectrometric analysis of MAGs showed that apart from *TGase*, 15 more MAG-expressed proteins are transferred to females as part of the mating plug, such as the glutamine-rich *TGase* substrate Plugin (AGAP009368), which is an important substrate for the *TGase* during the coagulation of the seminal secretions (Rogers *et al.* 2009).

To date, most studies have been focused mainly on the role of the Acps transferred from the male



to the female and its effect on the female. However, the post-mating behaviours might not rely only on the Acps/proteins transferred during mating, but on the interaction between male and female factors once inside the female.

A genome-wide analysis demonstrated that *A. gambiae* female mosquitoes undergo important molecular and morphological changes and prominent transcriptional changes after mating (Rogers *et al.* 2008). In this study, the authors identified several mating regulated genes that are switched on/off or profoundly altered after copulation. For example some female proteases may be acting as digestive enzymes in the female reproductive tract, by interacting directly or indirectly with the seminal fluid proteins, for instance *PlugIn*, for the correct processing and delivery of the mating plug components inside de female.

### Final considerations

Although malaria is a highly preventable and treatable disease, it remains one of the world's deadliest diseases mainly due to the lack of drug availability and preventive measures implantation. Moreover, in many parts of the world, the parasites have developed resistance to a number of antimalarial drugs. Therefore, the spread of drug-resistant *Plasmodium* parasites together with the insecticide-resistance in vector populations makes urgent to look at novel strategies to control this disease. One promising alternative is to control the malaria vector mosquito populations by controlling its reproductive biology. Unfortunately, little is known about the reproduction of *Anopheles* mosquitoes as it is, for instance, known for *Drosophila melanogaster*. The importance of increasing the knowledge of the reproductive biology of *Anopheles* mosquitoes is a promising way to control or eradicate its populations in the field.

### References

- AVILA FW, SIROT LK, LAFLAMME BA, RUBINSTEIN CD AND WOLFNER MF. 2011. Insect Seminal Fluid Proteins: Identification and Function. *Annu. Rev. Entomol.* 2011. 56: 21–40
- CHAPMAN T, BANGHAM J, VINTI G, SEIFRIED B, LUNG O, WOLFNER MF, SMITH H AND PARTRIDGE P. 2003. The sex peptide of *Drosophila melanogaster*: Female post-mating responses analysed by using RNA interference. *PNAs* 100(17): 9923-9928.
- CLEMENTS AN. 1992. The biology of mosquitoes. Vol 1. Development, nutrition and reproduction. London: Chapman & Hall. 510 pp.
- DOTTORINI T, PERSAMPIERI T, PALLADINO P, BAKER DA, SPACCAPELO R, SENIN N AND CRISANTI A. 2012. Regulation of *Anopheles gambiae* male accesoy gland genes influences postmaing response in female. *FASEB J*: 22997226
- GILLIES, MT. 1956. A new character for the recognition of nulliparous females of *Anopheles*.
- HERNDON LA AND WOLFNER MF. 1995. A *Drosophila* seminal fluid protein, Acp26Aa, stimulates egg laying in females for 1 day after mating. *Proc Natl Acad Sci* 92:10114-10118.
- MÉNARD, R. 2005. Medicin: Knockout malaria vaccine? *Nature* 433: 113-114.
- RAVI RAM K AND WOLFNER MF. 2007. Seminal influences: *Drosophila* Acps and the molecular interplay between males and females during reproduction. *Integr Comp Biol* 47: 427–445
- ROGERS DW, BALDINI F, BATTAGLIA F, PANICO M, DELL A, MORRIS HR, CATTERUCCIA F. 2009. Transglutaminase-Mediated Semen Coagulation Controls Sperm Storage in the Malaria Mosquito, *PLOS BIOL* 7: 1544-9173

- SNOW RW, GUERRA CA, NOOR AM, MYINT HY; HAY SI. 2005. The global distribution of clinical episodes of *Plasmodium falciparum* malaria. *Nature* 434: 214-217.
- THAILAYIL, J.; MAGNUSSON, K.; GODFRAY, H. C.; CRISANTI, A. & CATTERUCCIA, F. 2011. Spermless males elicit large-scale female responses to mating in the malaria mosquito *Anopheles gambiae*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 108, 13677-13681.
- TRIPET F, TOURE YT, DOLO G, LANZARO GC. 2003. Frequency of multiple inseminations in field-collected *Anopheles gambiae* females revealed by DNA analysis of transferred sperm. *Am J Trop Med Hyg* 68: 1-5.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. Handbook for Integrated Vector Management. Geneva: WHO Press; (2012):68. ISBN 978 92 4 1502801.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. World Malaria Report 2016. Access date: April 30 2017. Available at: <http://www.who.int/malaria/publications/world-malaria-report-2016/report/en/>

## El papel de las antenas como receptores para iniciar comportamientos en *Rhodnius prolixus* (Hemiptera: Reduviidae)

Laura Bibiana Ospina<sup>1\*</sup>, Melanie Ramírez Casallas<sup>1</sup>, Mario Iván Ortiz<sup>1</sup>, Jorge Molina<sup>1\*\*</sup>

<sup>1</sup>CIMPAT-Universidad de los Andes \*[lb.ospina1345@uniandes.edu.co](mailto:lb.ospina1345@uniandes.edu.co) \*\*[jmolina@uniandes.edu.co](mailto:jmolina@uniandes.edu.co)

---

**Resumen.** Una corta introducción se presenta sobre el papel de las antenas en *Rhodnius prolixus* como órgano sensorial importante para entender varios de los comportamientos relacionados con la búsqueda de huésped vertebrado, con la interacción con el medio y con la posible comunicación acústica entre individuos. Técnicas electrofisiológicas, anatómicas, de microscopía y experimentos comportamentales nos han permitido profundizar en la ecología sensorial de *Rhodnius prolixus*.

**Palabras clave.** Antenas. *Rhodnius prolixus*. Órgano de Johnston. Sistema sensorial.

**Abstract.** A short introduction is presented about the role of the antennae in *Rhodnius prolixus* as an important sensorial organ to understand behaviors related with search of the vertebrate host, interaction with the environment and the possible acoustic communication between individuals. Electrophysiological, anatomical and microscopical techniques allowed us to go deeper in the sensory ecology of *Rhodnius prolixus*.

**Key words.** Antennae. *Rhodnius prolixus*. Johnston's organ. Sensory systems.

**Las antenas y su estructura en los insectos.** Los insectos son el grupo de animales más exitosos en el planeta. Su abundancia, diversidad y distribución en la mayor parte de los ecosistemas de la tierra son prueba de su éxito. Con la descripción hace unos años del orden Mantophasmatodea (Klass *et al.* 2002) el número de órdenes de insectos llegó a 33.

Una revisión del cuerpo de los insectos permite de manera rápida identificar aquellos caracteres que desde el punto de vista anatómico los definen como grupo: Tres regiones corporales, seis patas, presencia de alas y de un par de antenas. Los apéndices cuticulares conocidos como antenas serán el eje central de esta presentación tomando como ejemplo nuestro modelo de estudio (*Rhodnius prolixus*) y cubriendo aspectos de su anatomía, desarrollo postembrionario y fisiología.

*Rhodnius prolixus* (Reduviidae: Triatominae) es reconocido actualmente por ser uno de los principales insectos vectores de la enfermedad de Chagas en el norte de Suramérica (Molina *et al.* 2010). Sin embargo, *R. prolixus* ha sido reconocido como uno de los modelos en insectos con un amplio potencial para realizar diversos estudios fisiológicos desde los tiempos de Vincent Wigglesworth, quien es reconocido como el fundador de la disciplina conocida como la fisiología en insectos (Edwards 1998).

Las antenas son un par de apéndices cuticulares segmentados que se localizan en la cabeza de los insectos y que cumplen importantes funciones sensoriales (Loudon 2009). En general las antenas de los insectos son alargadas y cilíndricas (forma ancestral de las antenas en los insectos); aunque formas plumosas, lameladas y pectinadas han aparecido varias veces en los diferentes linajes de los insectos

(Loudon 2009). Tres partes componen las antenas de los insectos: el escapo, el pedicelo y el flagelo, y sirviendo de enlace entre estos segmentos se encuentra una cutícula delgada (Loudon 2009).

Para el caso de *R. prolixus*, la publicación clásica de Lent y Wygodzinsky (1979) presenta sus antenas como dos apéndices compuestos de 4 segmentos; los tres terminales de gran longitud y conocidos en su orden proximal-distal como pedicelo, flagelómero 1 (basiflagelo) y flagelómero 2 (distiflagelo), mientras que el primero es muy corto y se le conoce como escapo. Además se menciona que separando estos cuatro segmentos se encuentran unos pequeños nódulos. Como veremos mas adelante en este documento, el desarrollo postembrional de las antenas en *R. prolixus* afecta la formación de algunos de estos nódulos (Ospina-Rozo *et al.* 2017).

La movilidad de las antenas es controlada en parte por pares de músculos al interior de la cabeza y que se anclan con el escapo y el pedicelo (Loudon 2009). El movimiento coordinado de estos músculos permiten el desplazamiento de la antena en casi cualquier dirección (Loudon 2009). El flagelo que es la parte mas variable morfológicamente entre los insectos no cuenta con músculos, con excepción de los Collembola y Diplura (Loudon 2009). Esta organización con segmentos antenales anclados y sin anclar a músculos van a ser muy importantes como veremos mas adelante para poder entender el funcionamiento como mecanorreceptor de las antenas de *R. prolixus*.

**Crecimiento y desarrollo de las antenas en insectos.** El crecimiento y desarrollo de las antenas es muy variable entre insectos hemimetábolos (como *R. prolixus*) y holometábolos (la mayoría de los insectos). En el caso concreto de los hemimetábolos como *R. prolixus*, las ninfas o estadios inmaduros son muy similares en forma a los adultos y sus antenas son simplemente versiones acortadas que con el paso de las mudas se van alargando en sus extremos proximales, distales o a lo largo del flagelo (Loudon 2009).

Trabajos realizados en nuestro grupo han demostrado que para el caso de *R. prolixus* su crecimiento en colonias de laboratorio al interior de frascos con gran número de individuos lleva luego de varias generaciones a una reducción en la longitud total de la antena. Este cambio en la longitud total de la antena se ve reflejado principalmente por una reducción en la longitud del pedicelo y no de los segmentos flagelares en la medida que la colonia pase mas tiempo bajo condiciones de crecimiento en colonias numerosas de laboratorio (Ortiz *et al.* 2011).

De igual manera, cuando se mira mas en detalle el crecimiento postembrionario de los individuos de *R. prolixus* en la medida que pasan por los diferentes estadios ninfales hasta el de adulto, se observa que de los dos nódulos presentes entre el pedicelo y el basiflagelo, y entre el basiflagelo y el distiflagelo solo el segundo de ellos está presente a lo largo de todo el desarrollo postembrionario, mientras que el nódulo entre el pedicelo y basiflagelo solo aparece a partir de los últimos estadios ninfales como producto del desprendimiento de la parte basal del basiflagelo y además con cada muda va adquiriendo su forma final característica del adulto (Ospina-Rozo *et al.* 2017).

**Funciones de las antenas.** Generalmente cuando se piensa en las antenas de los insectos inmediatamente viene a la cabeza su función como receptores de estímulos químicos. Sin embargo, una revisión de las funciones sensoriales de las antenas de *Rhodnius prolixus* permite inmediatamente identificar varias funciones adicionales que desde el punto de vista sensorial no deben olvidarse. Por ejemplo, las antenas en *R. prolixus* funcionan como receptores químicos, térmicos y de diferentes

estímulos mecánicos (Ortiz y Molina 2010; Ortiz *et al.* 2011; Wigglesworth y Gillett 1934; Rodríguez 2013; Ospina-Rozo 2016).

Desde el punto de vista térmico, a partir de los experimentos comportamentales realizados por Wigglesworth y Gillett (1934) se ha podido confirmar que en los triatominos el receptor encargado de detectar los estímulos térmicos se encuentra en una depresión localizada en la parte distal del pedicelo (Lazzari y Wicklein 1994). De igual manera, los experimentos electrofisiológicos realizados para evaluar su respuesta a estímulos térmicos confirmó que los receptores neuronales respondían a cambios de temperatura y en ningún caso ante estímulos químicos de diferentes concentraciones (Lazzari y Wicklein 1994).

Recientemente, experimentos electrofisiológicos realizados con las antenas de *R. prolixus* han demostrado la presencia de dos receptores térmicos adicionales y que responden a pulsos de aire con variaciones de temperatura (calor por convección) y a la radiación infrarroja (Zopf *et al.* 2014a, 2014b).

Para estudiar los otros estímulos sensoriales que estimulan las antenas en *R. prolixus* en nuestro grupo de investigación hemos venido trabajando en diferentes estrategias metodológicas que han sido desarrolladas para permitir profundizar en el papel sensorial de las antenas de *R. prolixus*. Para dar algunos ejemplos: hemos implementado técnicas de grabación extracelular para registrar la respuesta electrofisiológica de las antenas ante estímulos químicos (EAG o electroantenogramas por sus siglas en inglés) (Reisenman 2014); hemos establecido experimentos para determinar el efecto sobre el comportamiento de la fuerza de la gravedad (Rodríguez 2013); hemos diseñado plataformas móviles para evaluar el efecto directo sobre la antena de la fuerza de la gravedad (Ospina-Rozo 2016), hemos realizado modelos de análisis de elementos finitos para evaluar a nivel estructural sobre las partes de la antena del efecto de la gravedad (Ospina-Rozo 2016) y hemos realizado experimentos de vibrometría láser para aproximarnos al potencial papel de la antena en la detección de estímulos acústicos en campo cercano.

Desde el punto de vista de la quimiorrecepción el soporte práctico para la realización de los EAG provienen del interés creciente por entender cuáles son las moléculas involucradas en la detección del huésped vertebrado por parte de *R. prolixus* (Ortiz y Molina 2010) y en encontrar las posibles sustancias que nos permitan impedir dicha interacción para disminuir el contacto insecto-vertebrado y por lo tanto la transmisión de la enfermedad de Chagas (Guerenstein y Lazzari 2009).

Por su parte los estímulos mecanosensoriales desde el punto de vista de detección de la fuerza de la gravedad y la detección de mensajes sonoros en campo cercano por parte de la antena han llamado nuestra atención cuando hemos comenzado a profundizar en la anatomía detallada de las antenas de *R. prolixus*. En estos casos llama especialmente la atención la localización del órgano de Johnston en la parte distal del pedicelo de *Rhodnius* (Wigglesworth y Gillett 1934; Barth 1953; Ospina-Rozo 2016) y la forma como la articulación pedicelo-nódulo-basiflagelo se organiza (Ospina-Rozo *et al.* 2017). Los resultados obtenidos hasta el momento sugieren que las antenas en *Rhodnius prolixus* cumplen un importante papel en la detección de la fuerza de la gravedad (Rodríguez 2013; Ospina-Rozo 2016) y no juegan ningún papel en la comunicación acústica de estos insectos en el campo cercano.

Finalmente es importante recordar que muchos nuevos e interesantes preguntas biológicas con una fuerte aplicación a nivel práctico están a la espera de la realización de futuros experimentos con los órganos sensoriales de los triatominos y que incluyen técnicas bioinformáticas, electrofisiológicas, comportamentales y anatómicas (Barrozo *et al.* 2017).

## Referencias

- BARROZO, R.B.; REISENMAN, C.E.; GUERENSTIN, P.; LAZZARI, C.R.; Lorenzo, M.G. 2017. An inside look at the sensory biology of triatomines. *Journal of Insect Physiology*. 97:3-19.
- BARTH, R. 1953. Estudos anatômicos e histológicos sobre a subfamília Triatominae (Heteroptera, Reduviidae). III parte: Pesquisas sobre o mecanismo da picada dos Triatominae. *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz*. 51:11-74.
- EDWARDS, J.S. 1998. Sir Vincent Wigglesworth and the coming of age of insect development. *International Journal of Developmental Biology*. 42:471-473.
- GUERENSTEIN, P.G.; LAZZARI, C.R. 2009. Host-seeking: How triatomines acquire and make use of information to find blood. *Acta Tropica*. 110:148-158.
- KLASS, K.D.; ZOMPRO, O.; KRISTENSEN, N.P.; ADIS, J. 2002. Mantophasmatodea: A new insect order with extant members in the afrotropics. *Science*. 296:1456-1459.
- LAZZARI, C.R.; WICKLEIN, M. 1994. The cave-like sense organ in the antennae of Triatominae bugs. *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz*. 89:643-648.
- LENT, H.; WYGODZINSKY, P. 1979. Revision of the Triatominae (Hemiptera, Reduviidae); their significance as vectors of Chagas' disease. *Bulletin of the American Museum of Natural History*. 163:123-520.
- LOUDON, C. 2009. Antennae. Chapter 6. pp: 21-23. *Encyclopedia of insects*. Edited by: Vincent H. Resh y Ring T Cardé. Second Edition. Academic Press. Cambridge.
- MOLINA, J.A.; GUALDRÓN, L.E.; BROCHERO, H.L.; OLANO, V.A.; BARRIOS, D.; GUHL, F. 2000. Distribución actual e importancia epidemiológica de las especies de triatominos (Reduviidae: Triatominae) en Colombia. *Biomédica*. 20:344-360.
- ORTIZ, M.I.; MOLINA, J. 2010. Preliminary evidence of *Rhodnius prolixus* (Hemiptera: Triatominae) attraction to human skin odour extracts. *Acta Tropica*. 113:174-179.
- ORTIZ, M.I.; SUÁREZ-RIVILLAS, A.; MOLINA, J. 2011. Behavioral responses to human skin extracts and antennal phenotypes of sylvatic first filial generation and long rearing laboratory colony *Rhodnius prolixus*. *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz*. 106:461-466.
- OSPINA-ROZO, L. 2016. Johnston's organ as a mechanosensory element for spatial orientation in *Rhodnius prolixus*. Tesis MSc. Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia.
- OSPINA-ROZO, L.; FORERO, M.; MOLINA, J. 2017. Structure and postembryonic development of the intersegmental nodules in the non-muscular joints of the antennae in *Rhodnius prolixus*. *Arthropod Structure & Development*. 46:287-296.
- REISENMAN, C.E. 2014. Hunger is the best spice: Effects of starvation in the antennal responses of the blood-sucking bug *Rhodnius prolixus*. *Journal of Insect Physiology*. 71:8-13.
- RODRÍGUEZ, N. 2013. Determinación mediante experimentos comportamentales del papel de la antena de *Rhodnius prolixus* como potencial detector de la gravedad terrestre. Tesis de Pregrado. Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia.
- WIGGLESWORTH V.B.; GILLET, J. D. 1934. The function of the antennae in *Rhodnius prolixus* (Hemiptera) and the mechanism of orientation to the host. *Journal of Experimental Biology*. 11:120-139.

- ZOPF, L.M.; LAZZARI, C.R.; TICHY, H. 2014a. Differential effects of ambient temperature on warm cell responses to infrared radiation in the bloodsucking bug *Rhodnius prolixus*. Journal of Neurophysiology. 111:1341-1349.
- ZOPF, L.M.; LAZZARI, C.R.; TICHY, H. 2014b. Infrared detection without specialized infrared receptors in the bloodsucking bug *Rhodnius prolixus*. Journal of Neurophysiology. 112:1606-1615.



## Vector competence and immune responses to dengue virus in *Stegomyia aegypti* (Diptera, Culicidae)

Idalba Mildred Serrato Pomar<sup>1</sup>, Paola Andrea Caicedo Burbano<sup>1</sup>, Yenifer Orobio<sup>1</sup>, Carl Lowenberger<sup>2</sup> and Clara Beatriz Ocampo Durán<sup>1</sup>

<sup>1</sup> [idalbamildred@gmail.com](mailto:idalbamildred@gmail.com) - Centro Internacional de Entrenamiento e Investigaciones Médicas – CIDEIM. Carrera 125, 19-225 Cali, Colombia. Tel.: 2 555 2164. <sup>2</sup> Simon Fraser University.

**Resumen.** El control de la transmisión del virus del dengue (DenV), basado principalmente en la reducción de las poblaciones del vector principal *Stegomyia aegypti* (*Aedes aegypti*), es una estrategia difícil de sostener con el tiempo. Otras alternativas apuntan a manipular características como la competencia vectorial (VC), capacidad innata del vector para transmitir el virus. Estudios previos han identificado factores genéticos, incluyendo la expresión diferencial de genes relacionados con la apoptosis, asociados con los fenotipos refractarios y susceptibles en cepas seleccionadas de *S. aegypti* de Cali, Colombia. El presente estudio fue diseñado para evaluar la variabilidad de la VC en cepas seleccionadas contra diferentes serotipos de DenV y para determinar si los mosquitos colectados en campo responden de manera similar a las cepas de laboratorio seleccionadas, en términos de aumento o reducción de la expresión de genes relacionados con la apoptosis. La competencia vectorial difirió entre las cepas, pero no difirió en respuesta a diferentes serotipos de DenV. Se observaron diferencias en la CV entre los mosquitos de diferentes localidades de Cali. La sobreexpresión de los genes pro-apoptosis, Caspasa 16 y Aedronc, se conservó en los mosquitos refractarios colectados en campo y en la cepa refractaria seleccionada en el laboratorio. Los resultados sugieren que la respuesta de apoptosis se conserva entre los mosquitos refractarios para inhibir el desarrollo de todos los serotipos de DenV.

**Palabras clave.** Apoptosis. Caspasas. Virus dengue. Inmunidad innata. Competencia vectorial.

**Abstract.** Control of dengue virus (DenV) transmission, primarily based on strategies to reduce populations of the principle vector *Stegomyia aegypti* (*Aedes aegypti*), is difficult to sustain over time. Other potential strategies aim to manipulate characteristics such as vector competence (VC), the innate capacity of the vector to transmit the virus. Previous studies have identified genetic factors, including differential expression of apoptosis-related genes, associated with the refractory and susceptible phenotypes in selected strains of *S. aegypti* from Cali, Colombia. The present study was designed to evaluate the variability of VC in selected strains against different DenV serotypes and to determine whether field-collected mosquitoes respond similarly to selected laboratory strains in terms of enhanced or reduced expression of apoptosis-related genes. Vector competence differed between strains, but did not differ in response to different DenV serotypes. Differences in VC were observed among mosquitoes collected from different localities in Cali. The overexpression of the pro-apoptosis genes, Caspase 16 and Aedronc, was conserved in field-collected refractory mosquitoes and the selected laboratory refractory strain. The results suggest that the apoptosis response is conserved among all refractory mosquitoes to inhibit the development of all DenV serotypes.

**Key words.** Apoptosis. Caspases. Dengue virus. Innate immunity. Vector competence.

## Introducción

El dengue es una enfermedad viral, infecciosa, transmitida por los mosquitos *Stegomyia aegypti* (*Aedes aegypti*) y *Stegomyia albopicta* (*Aedes albopictus*), principalmente. Se manifiesta en los humanos como una fiebre para la que no hay tratamiento específico y aunque ha habido avances importantes en el desarrollo de vacunas, hasta ahora ninguna ha sido 100 % protectora. Es endémica en más de 100 países subtropicales y genera alrededor de 390 millones de infecciones al año (Bhatt *et al.* 2013). La incidencia de la enfermedad ha aumentado 30 veces en los últimos 50 años (WHO, 2012).

El control del dengue se ha centrado tradicionalmente en disminuir la densidad de los vectores mediante la aplicación de insecticidas y la eliminación de los criaderos. Sin embargo, la eficacia del control químico ha sido limitada por el desarrollo de resistencia a los insecticidas y los altos costos generados al mantener los programas de control vectorial (Guzman y Harris, 2015). Por lo tanto, se necesitan nuevas estrategias para reducir la transmisión, como pueden ser: la manipulación genética de los mosquitos (Fu *et al.* 2010), el desarrollo de vacunas de bloqueo de la transmisión (Coutinho-Abreu y Ramalho-Ortigao, 2010) y el diseño de nuevos insecticidas. Algunos de estos esfuerzos tratan de modificar la capacidad intrínseca de un vector para transmitir un patógeno, característica llamada competencia vectorial (VC) (Fu *et al.* 2010). Sin embargo, la manipulación de la VC de los mosquitos requiere el entendimiento de las interacciones vector-patógeno.

La competencia vectorial (VC) depende de las características genéticas que influyen en la relación virus-vector (Fu *et al.* 2010, Schneider *et al.* 2011, Wise de Valdez *et al.* 2011). Debido a que los patógenos entrantes deben evitar ser eliminados por la respuesta inmune innata del vector. Existen Receptores de reconocimiento de patrones (PRR) en el insecto que reconocen los patrones moleculares asociados a patógenos (PAMPs) y activan múltiples vías relacionadas con la respuesta inmune, que finalmente desencadenan fagocitosis, melanización y la expresión de especies reactivas de oxígeno (ROI) y péptidos antimicrobianos (AMP) (Paradkar *et al.* 2012). Las principales vías de respuesta inmune incluyen Toll (Fu *et al.* 2010), Imd (Xi *et al.* 2008; Behura *et al.* 2011), ARN de interferencia (ARNi) (Sánchez-Vargas *et al.* 2009), JAK-STAT (Kleino *et al.* 2005; Souza-Neto *et al.* 2009), autofagia y apoptosis (Behura *et al.* 2011). Se consideraba que las vías de respuesta inmune se activan en respuesta a patógenos específicos, pero al contrario, pensamos que pueden compartir moléculas entre sí y la activación causada por un solo patógeno puede provocar la activación de múltiples vías. La interacción molecular entre el vector y el virus puede aumentar o disminuir la respuesta inmunitaria y determinar el éxito o fracaso del DenV para replicarse y ser transmitido por el mosquito.

Localmente, se ha demostrado la alta variabilidad en la CV de los mosquitos *S. aegypti* recolectados en Cali, Colombia (Ocampo y Wesson, 2004), se han seleccionados cepas con diferentes VC para DenV-2, una susceptible (Cali - S) y una refractaria (Cali - MIB) (Caicedo *et al.* 2013) y con la finalidad de entender los mecanismos moleculares asociados con la variación en la VC de las dos cepas se ha estudiado la expresión de genes de respuesta inmune relacionados con apoptosis (Baron *et al.* 2010, Ocampo *et al.* 2013), se ha demostrado la contribución de estos genes en la definición de los fenotipos y se ha confirmado mediante silenciamiento genético (Ocampo *et al.* 2013).

En el presente estudio se evaluó si la VC era serotipo-específica o era una respuesta generalizada y si la respuesta previa probablemente relacionada con apoptosis en la cepa Cali-MIB fue producto del

proceso de selección en el laboratorio o si son mecanismos de respuesta provenientes de los mosquitos silvestres.

## **Materiales y métodos**

**Cepas de mosquitos.** Las cepas seleccionadas de *S. aegypti*, Cali-S y Cali-MIB, fueron colectadas desde larvas y establecidas en el insectario de CIDEIM, en diferentes sitios de Cali, Colombia. Los fenotipos fueron establecidos y seleccionados post-exposición a DenV-2 (New Guinea C) (Caicedo *et al.* 2013).

Por otro lado, se colectaron larvas de *S. aegyptien* seis localidades de Cali (Mariano Ramos, Valle Grande, Navarro la Y, Siloé, Antonio Nariño and Paso del Comercio). Las larvas fueron colectadas en contenedores en lugares públicos y mantenidas en el insectario bajo condiciones estandarizadas y un nivel de bioseguridad 2+ (BSL-2+).

**Propagación viral, infecciones experimentales y determinación de la CV.** Se expusieron hembras de las cepas Cali-S and Cali-MIB a cuatro diferentes serotipos de DenV: DenV-1 Hawaii; DenV-2 New Guinea C (NGC), DenV-3H-87 (Philippines 56), DenV-4H-241 (Philippines 56). Cada virus se mezcló en relación 1:1 con sangre desfibrinada de conejo. La concentración viral fue titulada para medir y estimar la cantidad de virus a la que fueron expuestas (Bennett *et al.* 2005).

En cada infección se emplearon 50 hembras de cada cepa, aproximadamente (edad 5–7 días). Se hicieron cuatro réplicas biológicas con cada serotipo. Transcurrido el periodo de incubación extrínseca, se evaluó mediante inmunofluorescencia indirecta (IFI), la presencia de virus en abdomen y cabezas, como lo describió Schoepp y Beaty (1984). Los anticuerpos usados fueron donados por el Centers for Disease Control and Prevention (CDC), Puerto Rico.

Los mosquitos con cabezas positivas fueron denominados susceptibles. Los mosquitos con cabezas negativas fueron diseccionados y se revisó la presencia de virus en el intestino medio. Los mosquitos que no tenían virus en cabeza e intestino se clasificaron como refractarios con fenotipo barrera de infección en el intestino medio (MIB) y los que tuvieron cabeza negativa pero intestino positivo fueron clasificados con el fenotipo de barrera de escape en el intestino medio (MEB).

Las diferencias entre las cepas Cali-S y Cali-MIB para cada serotipo de DenV fueron medidas usando un modelo de regresión binomial para estimar el número de mosquitos con los fenotipos susceptible y MIB. Se compararon las frecuencias observadas y esperadas de los mosquitos en relación a los fenotipos susceptible y MIB para determinar diferencias en la CV de las cepas colectadas en campo.

**Análisis de la expresión de genes.** Se midió el nivel de expresión de los genes seleccionados en el intestino medio de los mosquitos de las F2 y F3 de las cepas colectadas en campo. Para ello, los intestinos de las hembras alimentadas fueron diseccionados en agua tratada-DEPC (Life Technologies, Inc.; Carlsbad, CA, U.S.A.) a las 0 h, 24 h, 36 h y 48 h post-alimentación, se conservaron en RNAlater a  $-70^{\circ}\text{C}$ . Se extrajo el ARN usando RNeasy® Mini Kit (Qiagen, Inc.; Valencia, CA, U.S.A.), se cuantificó y se usó 100 ng para la síntesis de cDNA, utilizando Superscript II Reverse Transcriptase (Life Technologies Corp.; Grand Island, NY, U.S.A.). Para medir la expresión de genes se empleó 1  $\mu\text{L}$  del producto de cDNA, 1  $\mu\text{L}$  de cada cebador (10  $\mu\text{M}$ ) y 6.25  $\mu\text{L}$  de SYBR Green ERTM Express (Life Technologies Corp.). Se realizaron dos réplicas biológicas de las cepas colectadas en cada localidad (tres en Antonio Nariño). El nivel de

expresión fue normalizado usando un control interno  $\beta$ -actina (AAELO01928) y se generaron los valores  $\Delta Ct$ .

Se comparó la expresión de genes entre cepas (refractaria vs. susceptibles) después de la exposición a sangre o sangre+DenV-2 usando la fórmula: cepa refractaria  $2^{-\Delta Ct}/2^{-\Delta Ct}$  cepa susceptible como los sugieren Schmittgen & Livak, 2008. Los resultados se graficaron usando la media  $\pm$  la desviación estándar.

El nivel bilateral de significancia estadística usado fue 0,05. Todos los análisis estadísticos fueron realizados en R versión 3.1.1 (R Core Team, 2014) y stata/SE versión 12.0 (StataCorp LP, College Station, TX, U.S.A.).

**Consideraciones éticas.** Los protocolos de alimentación de mosquitos fueron aprobados por el Comité de ética para Investigación animal de CIDEIM.

Por restricciones de la revista en la cual fue publicado el artículo, algunos detalles y gráficas fueron omitidos en este resumen. Es posible buscar el documento completo como: SERRATO I.M.; CAICEDO P.A.; OROBIO Y.; LOWENBERGER C.; OCAMPO C.B. 2017. Vector competence and innate immune responses to dengue virus infection in selected laboratory and field-collected *Stegomyia aegypti* (= *Aedes aegypti*). Medical and Veterinary Entomology Abril 13 2017, doi: 10.1111/mve.12237

## Resultados

**Competencia vectorial a diferentes serotipos de DenV cepas seleccionadas.** Los estudios de competencia vectorial partieron de cepas seleccionadas Cali-S (F31) y Cali-MIB (F30), las cuales tuvieron una susceptibilidad del 94 and 42 % a DenV-2, respectivamente.

Los resultados de los mosquitos de las cepas Cali-S y Cali-MIB infectados con diferentes serotipos de DenV evidenciaron que la cepa Cali-S mantuvo una alta susceptibilidad a todos los serotipos de DenV, mientras que la cepa de referencia Cali-MIB mantuvo una baja susceptibilidad a todos los serotipos. Hubo diferencias estadísticamente significativas cepas: razón de odds (OR) 0.11,  $Z = 7.6, P < 0.001$  entre cepas. Pero no entre los mosquitos expuestos a cada serotipo en entre la misma cepa (DenV-1: OR 1.21,  $Z = 0.63, P = 0.53$ ; DenV-4: OR 1.39,  $Z = 1.07, P = 0.29$ ).

**Competencia vectorial y análisis de respuesta inmune en mosquitos colectados en diferentes localidades.** La competencia vectorial a DenV-2 fue diferente en cada una de las cepas de mosquitos colectadas en las diferentes localidades de Cali. La competencia vectorial varió del 34 al 68 % en el fenotipo susceptible y de 11 a 38 % en el fenotipo refractario MIB. Las cepas con mayor porcentaje de mosquitos del fenotipo susceptible fueron Valle Grande (68 %,  $n=62$ ), Paso del Comercio (55 %,  $n=44$ ) y Siloe (52 %,  $n=58$ ). Mientras que la cepa con el mayor porcentaje de mosquitos refractarios MIB fue Antonio Nariño (38 %,  $n=47$ ). Se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas en cuanto a la VC ( $\chi^2 = 15.65, P = 0.007$ ) y comparaciones pareadas permitieron hallar diferencias altamente significativas entre: Paso del Comercio y Navarro la Y ( $\chi^2 = 6.63, P = 0.036$ ), Antonio Nariño y Navarro la Y ( $\chi^2 = 6.59, P = 0.037$ ), y Antonio Nariño y Valle Grande ( $\chi^2 = 14.71, P = 0.0006$ ).

**Análisis de expresión temporal de genes.** Se midió la expresión temporal de genes entre Antonio Nariño (cepa más refractaria), paso del comercio y Siloé (más susceptibles). Los niveles de expresión de genes en respuesta a la alimentación con sangre y sangre + DenV no mostraron diferencias estadísticamente significativas.

Cuando los mosquitos fueron expuestos a DenV, se observaron altos niveles de expresión de caspasa 16, catepsina-B y Aedronc fueron observados, los cuales fueron 20-veces más altos a las 24 horas en los mosquitos colectados en Antonio Nariño que en los mosquitos de Paso del comercio y entre cuatro y seis veces más altos que en los mosquitos de Siloé. En Niemann-pick tipo C-2, no se observaron diferencias entre Antonio Nariño y Paso del comercio, pero sí entre Antonio Nariño (seis veces más alta) y Siloé.

### Conclusiones

Las cepas seleccionadas de *S. aegypti*, Cali-S y Cali-MIB, mostraron porcentajes de susceptibilidad similares a los cuatro serotipos de referencia de DenV. Sugiriendo que el fenotipo refractario MIB es serotipo independiente. Esto se atribuye a que estas cepas se han mantenido en el laboratorio por más de 30 generaciones.

La sobreexpresión de genes relacionados con apoptosis observada en la cepa de campo con mayor porcentaje de mosquitos de fenotipo refractario MIB, sugiere que dicho mecanismo proviene de los mosquitos colectados en campo y se conservó al seleccionar la cepa en el laboratorio, además contribuye a la refractariedad de la cepa a los cuatro serotipos del DenV. La evaluación de la VC a otros arbovirus permitiría definir si es una respuesta antiviral generalizada o si es específica para DenV. Este estudio valida el uso de las cepas Cali-S y Cali-MIB como un modelo apropiado para estudiar las interacciones DenV-vector y corrobora que la apoptosis puede ser un mecanismo de eliminación viral.

### Referencias

- BARON, O.L.; URSIC-BEDOYA, R.J.; LOWENBERGER, C.A. & OCAMPO, C.B. (2010) Differential gene expression from midguts of refractory and susceptible lines of the mosquito, *Aedes aegypti*, infected with Dengue-2 virus. *Journal of Insect Science*, 10, 1–23.
- BEHURA, S.K.; GOMEZ-MACHORRO, C.; HARKER, B.W. et. Al.;(2011) Global cross-talk of genes of the mosquito *Aedes aegypti* in response to dengue virus infection. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 5, e1385.
- BENNETT, K.E.; BEATY, B.J. & BLACK, W.C. IV (2005) Selection of D2S3, an *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) strain with high oral susceptibility to Dengue 2 virus and D2MEB, a strain with a midgut barrier to Dengue 2 escape. *Journal of Medical Entomology*, 42, 110–119.
- BHATT, S.; GETHING, P.W.; BRADY, O.J. ET AL. (2013) The global distribution and burden of dengue. *Nature*, 496, 504–507.
- CAICEDO, P.A.; BARON, O.L.; PÉREZ, M.; ALEXANDER, N.; LOWENBERGER, C. & OCAMPO, C.B. (2013) Selection of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) strains that are susceptible or refractory to Dengue-2 virus. *The Canadian Entomologist*, 145, 273–282.
- COUTINHO-ABREU, I.V. & RAMALHO-ORTIGAO, M. (2010) Transmission blocking vaccines to control insect-borne diseases: a review. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, 105, 1–12.

- FU, G.; LEES, R.S.; NIMMO, D. ET AL. (2010) Female-specific flightless phenotype for mosquito control. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107, 4550–4554.
- GUZMAN, M.G. & HARRIS, E. (2015) Dengue. *Lancet*, 385, 453–465.
- KLEINO, A.; VALANNE, S.; ULVILA, J. ET AL. (2005) Inhibitor of apoptosis 2 and TAK1-binding protein are components of the *Drosophila* Imd pathway. *EMBO Journal*, 24, 3423–3434.
- OCAMPO, C.B. & WESSON, D.M. (2004) Population dynamics of *Aedes aegypti* from a dengue hyperendemic urban setting in Colombia. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 71, 506–513.
- OCAMPO, C.B.; CAICEDO, P.A.; JARAMILLO, G. ET AL. (2013) Differential expression of apoptosis-related genes in selected strains of *Aedes aegypti* with different susceptibilities to dengue virus. *PLoS ONE*, 8, e61187.
- PARADKAR, P.N.; TRINIDAD, L.; VOYSEY, R.; DUCHEMIN, J.B. & WALKER, P.J. (2012) Secreted Vago restricts West Nile virus infection in *Culex* mosquito cells by activating the Jak-STAT pathway. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109, 18915–18920.
- R CORE TEAM (2014) *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna.
- SÁNCHEZ-VARGAS, I.; SCOTT, J.C.; POOLE-SMITH, B.K. ET AL. (2009) Dengue virus type 2 infections of *Aedes aegypti* are modulated by the mosquito's RNA interference pathway. *PLoS Pathogens*, 5, e1000299.
- SCHNEIDER, J.R.; CHADEE, D.; MORI, A. & ROMERO-SEVERSON, J. (2011) Heritability and adaptive phenotypic plasticity of adult body size in the mosquito *Aedes aegypti* with implications for dengue vector competence. *Infection, Genetics and Evolution*, 11, 11–16.
- SCHMITTGEN, T.D. & LIVAK, K.J. (2008) Analyzing real-time PCR data by the comparative CT method. *Nature Protocols*, 3, 1101–1108.
- SCHOEPP, R. & BEATY, B. (1984) Titration of dengue viruses by immunofluorescence in microtiter plates. *Journal of Clinical Microbiology*, 20, 1017–1019.
- SOUZA-NETO, J.; SIM, S. & DIMOPOULOS, G. (2009) An evolutionary conserved function of the JAK-STAT pathway in anti-dengue defense. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106, 17841–17846.
- WISE DE VALDEZ, M.R.; NIMMO, D.; BETZ, J. ET AL. (2011) Genetic elimination of dengue vector mosquitoes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108, 4772–4775.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (2012) *Global Strategy for Dengue Prevention and Control. 2012–2020*. WHO, Geneva.
- XI, Z.; RAMIREZ, J.L. & DIMOPOULOS, G. (2008) The *Aedes aegypti* toll pathway controls dengue virus infection. *PLoS Pathogens*, 4, e1000098.

## **Simposio 10.**

# **Estudios contemporáneos en odonatos de Colombia**

---

### **Coordinación:**

**Fredy Palacino-Rodríguez y Mariano Altamiranda-Saavedra**

Grupo de Investigación en Odonatos y otros artrópodos de Colombia (GINOCO); Grupo de Investigación en Biología (GRIB), Departamento de Biología, Universidad El Bosque

### **Participantes:**

Mariano Altamiranda-Saavedra, Fredy Palacino-Rodríguez, Laura Pulido Ríos,  
Alejandro Córdoba-Aguilar y Diego Medina Gaitán  
Grupo de Investigación en Odonatos y otros artrópodos de Colombia (GINOCO), Grupo de  
Investigación en Biología (GRIB), Departamento de Biología, Universidad El Bosque

Leonardo Rache-Rodríguez  
Universidad Nacional de Colombia. Grupo de Investigación en Odonatos y otros artrópodos de  
Colombia (GINOCO),

Alex Córdoba-Aguilar  
Centro de Investigación en Acarología

Roberto Munguia-Steyer  
Universidad Nacional Autónoma de México



## SIMPOSIO

### Estudios contemporáneos en odonatos de Colombia

**Coordinadores: Fredy Palacino-Rodríguez y Mariano Altamiranda-Saavedra**

<sup>2</sup>Grupo de Investigación en Odonatos y otros artrópodos de Colombia (GINOCO), Grupo de Investigación en Biología (GRIB), Departamento de Biología, Universidad El Bosque. <sup>3</sup>Centro de Investigación en Acarología.

---

#### Introducción

La investigación en odonatos de Colombia se ha venido incrementado en los últimos diez años gracias al aumento de investigadores y la capacidad de trabajo de especialistas nacionales con los que cuenta el grupo actualmente. Esto se ha dado gracias a que la creación del Grupo Colombiano de Odonatología (GCO) y del Grupo de Investigación en Odonatos y otros artrópodos de Colombia (GINOCO) ha facilitado la comunicación entre investigadores locales y convenios con investigadores extranjeros. Aunque muchos temas y varias localidades del país aún carecen de conocimiento básico para establecer con precisión cómo está la odonofauna en términos de conservación, los avances hasta hoy han sido importantes, y se ha generado información de calidad e inventarios locales para varias zonas. Así mismo, se viene actualizando el inventario para el país, haciendo que la tasa de registro de nuevas especies y nuevos reportes muestre un aumento significativo en la última década. Pese a las múltiples dificultades para investigar en el país, los odonatos se han convertido en un grupo insignia para trabajar y por lo menos medio centenar de investigaciones de alto impacto son desarrolladas actualmente. Como resultado, se espera que la “prole” formada recientemente, ayude a que nuevos y diversos proyectos sean desarrollados en el corto y mediano plazo.

Una muestra de este vertiginoso avance, es que solo en el último quinquenio se actualizó el checklist para las especies reportadas en el país, generando una guía de campo para un buen número de ellas, y se realizó la primera evaluación en términos de conservación para varias especies endémicas de Colombia. Así, una innegable y perceptible atracción por el estudio de estos organismos viene creciendo en diferentes perspectivas, desde los aspectos que involucran la ecología evolutiva y la fuerte relación de la selección sexual con los odonatos, pasando por la evolución de una variada serie de caracteres y comportamientos, hasta el simple gusto por observar sus hábitos, fotografiar sus hermosos colores y registrar información para contar a los demás dónde y cómo viven las libélulas. Por ejemplo, un reciente ejercicio que ofreció excelentes resultados, convocó a muchas personas que aportaron datos y fotografías de odonatos y sus hábitats en ecosistemas de la capital colombiana, información que ayudó a generar la primera guía de odonatos en ecosistemas urbanos del país.

Hacer que las personas sepan que estos carismáticos organismos existen, generar conocimiento para su conservación, y convertir a los odonatos en centro de atracción y protección para el público en general, puede ayudar a conservar y proteger un gran número de especies y ecosistemas hasta hoy fuertemente amenazados. La palabra matapijo entonces, no deberá ser más un sinónimo de desconfianza para las personas, sino la representación de un enigmático mundo que aún requiere ser auscultado en los ecosistemas de nuestra biodiversidad colombiana. El presente documento muestra inicialmente, los posibles cambios en la distribución de especies del género *Erythemis* Hagen, 1861 bajo

diferentes escenarios de cambio climático. Luego se descifra el ambiente de dos especies de *Perithemis* Hagen, 1861 haciendo uso de aspectos ecológicos, y finalmente, se aborda el papel de la pigmentación corporal en la termorregulación y el efecto de la contaminación sobre la salud de *Mesamphiagrion laterale* (Selys, 1876).

---

## La distribución del género Neotropical *Erythemis* (Odonata: Libellulidae) en América: Escenarios de cambio actual y futuro

Mariano Altamiranda-Saavedra<sup>1,2</sup>, Fredy Palacino-Rodríguez<sup>2,3</sup> y Alejandro Córdoba-Aguilar<sup>2,4</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Microbiología Molecular, Escuela de Microbiología, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia, Calle 70 No. 52 – 21, [maltamiranda2@gmail.com](mailto:maltamiranda2@gmail.com). <sup>2</sup>Grupo de Investigación en Odonatos y otros artrópodos de Colombia (GINOCO), Grupo de Investigación en Biología (GRIB), Departamento de Biología, Universidad El Bosque Av. Cra. 9 No. 131A-02. <sup>3</sup>Centro de Investigación en Acarología, Calle 152B # 55-45, Bogotá, Colombia, [odonata17@hotmail.com](mailto:odonata17@hotmail.com). <sup>4</sup>Departamento de Ecología Evolutiva, Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, Coyoacán, Distrito Federal, Mexico, [acordoba@iecologia.unam.mx](mailto:acordoba@iecologia.unam.mx).

---

### Introducción

El incremento en la temperatura global ha generado cambios en la fenología (Hassall *et al.* 2007), rango de distribución (Parmesan, 2006, Domisch *et al.* 2012) y estructura de las comunidades biológicas (Comte *et al.* 2012). El estudio de este incremento bajo diferentes escenarios climáticos futuros, ha mostrado alteraciones dramáticas en la distribución de especies (Beaumont *et al.* 2005), generando hipótesis que prevén devastadores impactos sobre las comunidades acuáticas, en las que considerablemente se afectará su composición y diversidad genética (Woodward *et al.* 2010). Los odonatos (Odonata) son insectos cuyo desarrollo incluye larvas acuáticas o semiacuáticas y adultos terrestres asociados a los cuerpos de agua. Debido a esto, son organismos con un ciclo de vida considerablemente vulnerable a cambios de su hábitat (Clausnitzer *et al.* 2009), en especial, aquellos relacionados con la variación presente y futura de las condiciones climáticas (Sánchez-Guillén *et al.* 2013, 2014).

Las investigaciones en conservación de odonatos basadas en el criterio B de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN 2012) y en Modelos de Distribución de Especies (MDE, Elith y Leathwick 2009), de los que derivan los Modelos de Nicho Ecológico (MNE, Peterson y Soberón, 2012), bajo diferentes escenarios de cambio climático, apenas comienzan a surgir (Cuevas-Yáñez *et al.* 2015), mostrando que su aplicación puede generar importantes cambios en la categorización IUCN actual. Algunas especies en Odonata han sido recategorizadas (por ejemplo *Paraphebia quinta* y *P. zoe*, Cuevas-Yáñez *et al.* 2015), a fin de reevaluar las medidas de conservación propuestas inicialmente. El género *Erythemis* Hagen, 1861 está conformado por diez especies con amplia distribución en pozos temporales, ciénagas y pantanos de la región Neotropical (Palacino-Rodríguez *et al.* 2015). En este estudio se modeló el rango geográfico y el área de extensión para nueve especies de *Erythemis* usando MDE. Basados en los resultados de MDE y el criterio B1, se proyectaron las tendencias en los rangos de distribución con base en escenarios climáticos a futuro.

### Materiales y métodos

*Datos de presencia.* Estos datos fueron obtenidos de Odonata Central (Abbott 2007), la base de datos de insectos del Museo de Zoología de la Universidad de Michigan, y de etiquetas de los especímenes de diferentes colecciones entomológicas colombianas y extranjeras revisadas entre 2009 y 2012. Las coordenadas geográficas fueron georreferenciadas a partir de gaceteros digitales como Fallingrain global gazeteer <<http://www.fallingrain.com/world/>> y Google maps <<http://maps.google.com/>>. Aunque los

registros de 1900 ejemplares fueron obtenidos, únicamente 868 fueron usados y los restantes 1032 fueron excluidos porque no fue posible georreferenciar correctamente las localidades de recolecta, eran datos duplicados, o datos georreferenciados que no correspondían con la información de etiquetas.

**Capas ambientales.** Las variables bioclimáticas de Worldclim (<http://www.worldclim.org/bioclim>) usadas en el presente estudio, representan tendencias anuales de temperatura, precipitación, estacionalidad y factores medioambientales extremos o limitantes (Hijmans *et al.* 2005). La resolución espacial de las capas fue de 5-minutos (esto es cerca de 9 kilómetros en el Ecuador). Para evaluar la distribución potencial futura de las especies, se obtuvo un conjunto de capas ambientales análogas de modelos circulares generalizados (GCMs), proyectados al año 2050 y 2070 desde el Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5; Taylor *et al.* 2012). El modelo MIROC5 fue seleccionado para incluir la variación e incertidumbre entre las simulaciones matemáticas (Yáñez-Arenas *et al.* 2015). Adicionalmente, se utilizaron dos escenarios de concentración representativa (RCP 26, 85 RCP) para el GCM; estos escenarios representan las hipótesis de concentración de gas invernadero relativamente conservador y liberal respectivamente. Las capas fueron cortadas usando como máscara una región hipotetizada o área M (Barve *et al.* 2011) como accesible para el movimiento y colonización potencial a largo plazo de cada especie. Para el diseño de esta área accesible creamos polígonos basándonos en las ecorregiones terrestres propuestas por World Wildlife Fund. Con la finalidad de reducir la colinealidad entre las diferentes capas ambientales se realizó un análisis de correlación de Pearson, usando la herramienta “SDMtoolsbox” en ArcGis 10.3 (<https://www.arcgis.com/>). Las variables con valor de correlación <0.8 fueron eliminadas. Las variables utilizadas para construir el modelo se muestran en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Códigos y variables bioclimáticas usadas en la construcción de los modelos de nicho. T°: temperatura, C: Código, DS: Desviación Estandar, CV: Coeficiente de variación.

C	Variable Bioclimática	C	Variable Bioclimática
Bio1	T°media anual	Bio10	T°media del trimestre más cálido
Bio3	Isotermalidad (Bio2/Bio7) (*100)	Bio11	T°media del trimestre más frío
Bio4	Estacionalidad de la T° (DS *100)	Bio12	Precipitación anual
Bio5	T°máxima del mes más caliente	Bio14	Precipitación del mes más seco
Bio6	T°mínima del mes más frío	Bio15	Estacionalidad de la precipitación (CV)
Bio7	Amplitud térmica anual (Bio5-Bio6)		

*Distribución potencial actual y futura.* Los modelos de distribución fueron generados con el algoritmo de máxima entropía del software MaxEnt (Phillips *et al.* 2006). En todos los casos, los datos de presencia de cada especie se dividieron en entrenamiento (50 %) y validación (50 %). Para evaluar el rendimiento del modelo se utilizó un parcial ROC (Peterson *et al.* 2008). Posteriormente, para cada especie, diez réplicas de los modelos fueron ejecutadas con la herramienta bootstrapping. Las medianas a través de las repeticiones fueron usadas como una estimación final de nicho. Todos los modelos se convirtieron a binarios basándonos en el umbral de least training presence, con una tasa de error de E = 5 %. La expansión o contracción de la distribución de los intervalos de tiempo se estimó como el porcentaje de Km<sup>2</sup> previsto para ocupación de cada especie en cada tiempo, dividido por el número de Km<sup>2</sup> que cada especie ocupa en la distribución actual binaria pronosticada (Sánchez-Guillen *et al.* 2013).

## Resultados y discusión

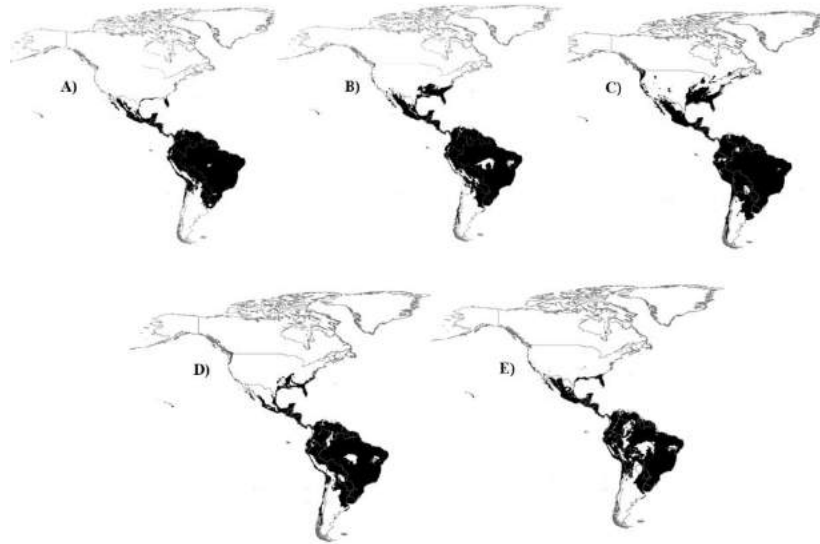
Un total 882 registros distribuidos entre las especies *Erythemis simplicicollis* (306), *E. collocata* (33), *E. vesiculosa* (212), *E. plebeja* (87), *E. peruviana* (95), *E. attala* (62), *E. mithroides* (29). *E. haematogastra* (34) y *E. credula* (24) fue obtenido. La evaluación estadística de los modelos de distribución potencial mostró un buen desempeño, en el que la relación más baja del ROC parcial fue de 1.255 y la más alta 1.572 ( $p > 0.001$ ). Los resultados indicaron que todas las especies tienen un área potencial de distribución extensa ( $> 1$  millón de  $\text{km}^2$ ) que abarca áreas tropicales y subtropicales de América. La especie con menor área idónea para su distribución fue *E. attala*, que ocupó en todos los modelos menos del 40 % del área disponible (Tabla 2, Figura 1).

**Tabla 2.** Porcentaje de área ocupada bajo diferentes modelos A: Actual, MI5: MIROC5-2050-rcp26, MR5: MIROC5-2050-rcp-85, MC5: MIROC5-2070-rcp26, MRC5: MIROC5-2070-rcp8).

Especies	A	MI5	MR5	MC5	MRC5
<i>Erythemis attala</i> (Selys in Sagra, 1857)	25.48	26.81	32.63	17.62	38.62
<i>Erythemis collocata</i> (Hagen, 1861)	32.08	53.46	76.13	37.18	69.29
<i>Erythemis credula</i> (Hagen, 1861)	69.4	80.02	76.15	93.21	38.06
<i>Erythemis haematogastra</i> (Burmeister, 1839)	40.2	38.81	34.75	32.49	50.58
<i>Erythemis mithroides</i> (Brauer, 1900)	33.96	72.96	21.17	79.23	23.90
<i>Erythemis peruviana</i> (Rambur, 1842)	65.97	72.57	41.62	70.88	82.67
<i>Erythemis plebeja</i> (Burmeister, 1839)	87.06	67.29	39.88	74.63	75.59
<i>Erythemis simplicicollis</i> (Say, 1840)	65.13	29.06	29.62	27.57	32.99
<i>Erythemis vesiculosa</i> (Fabricius, 1775)	88.77	27.93	36.24	24.88	30.89

En general, los modelos de distribución potencial futura para la mayoría de las especies en los cuatro escenarios de cambio climático fueron inconsistentes, mostrando para algunos escenarios disminución y en otros, aumento del área idónea de ocupación. Sin embargo, para *E. simplicicollis* y *E. vesiculosa* todos los modelos de cambio climático mostraron disminución del área adecuada para su establecimiento. Es aspecto se hizo más evidente para el escenario menos pesimista de emisión de gases de efecto invernadero RCP26 en la proyección temporal 2070, donde la disminución fue de 27.57 % y 24.88 % respectivamente para el área idónea de ocupación. Por otro lado, los rangos de distribución potencial en el escenario actual y de cambio climático para las nueve especies mostró solapamiento, como por ejemplo, la simpatria entre las especies *E. credula* y *E. mithroides* para las que se encontró 75.81 % de solapamiento de área potencial para el escenario RCP26 con proyección temporal 2070. Para *E. attala*, con la menor distribución potencial, el área de solapamiento para todos los escenarios, comparándola con las demás especies no supera el 35 %.

Como se ha demostrado en otras especies de odonatos (Bush *et al.* 2014) la especie clasificada como poco común antes del modelado (*E. attala*) fue más vulnerable a los efectos del cambio climático debido a su mayor exposición. Esto parece razonable dada las fluctuaciones estocásticas de las perturbaciones climáticas que pueden representar un riesgo mayor para especies con poblaciones pequeñas (William *et al.* 2008).



**Figura 1.** Modelo de nicho ecológico para *Erythemis attala*, A) Actual, B) CCM4-2050-rcp26, C) CCM4-2050-rcp85, D) CCM4-2070-rcp26, E) CCM4-2070-rcp85.

## Referencias

- ABBOTT, J. 2007. OdonataCentral: An online resource for the distribution and identification of Odonata. Texas Natural Science Center, The University of Texas at Austin. <http://www.odonatacentral.org>.
- BARVE, N.; BARVE, V.; JIMÉNEZ-VALVERDE, A.; LIRA, A.; MAHER, S.P.; PETERSON, A.T.; SOBERÓN, J.; VILLALOBOS, F. 2011. The crucial role of the accessible area in ecological niche modeling and species distribution modeling. *Ecological Modelling* 222: 1810-1819.
- BEAUMONT, L.J.; HUGHE, L.; POULSEN, M. 2005. Predicting species distributions: use of climatic parameters in BIOCLIM and its impact on predictions of species' current and future distributions. *Ecological Modelling* 186: 250-269.
- BUSH, A.; NIPPERESS, D.; DUURSMA, D.; THEISCHINGER, G.; TURAK, E.; HUGHES, L. 2014. Continental-scale assessment of risk to the Australian Odonata from climate change. *PloS one* e88958.
- CLAUSNITZER, V.; DIJKSTRA, K.D.; KIPPING, J. 2011. Globally threatened dragonflies (Odonata) in Eastern Africa and implications for conservation. *Journal of East African Natural History* 100: 89-111.
- COMTE, L.; BUISSON, L.; DAUFRESNE, M.; GRENOUILLET, G. 2012. Climate-induced changes in the distribution of freshwater fish: observed and predicted trends. *Freshwater Biology* 58: 625-639.
- CUEVAS-YÁÑEZ, K.; RIVAS, M.; MUÑOZ, J.; CÓRDOBA-AGUILAR, A. 2015. Conservation status assessment of *Paraphlebia* damselflies in Mexico. *Insect Conserv Divers.* doi:10.1111/icad.12132.
- DOMISCH, S.; ARAÚJO, M.; BONADA, N.; PAULS S.; JÄHNIG, S. 2012. Modelling distribution in European stream macroinvertebrates under future climates. *Global Change Biology* 19: 752-762.
- ELITH, J.Y.; LEATHWICK, J.R. 2009. Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. *Annual Reviews of Ecology, Evolution and Systematics* 40: 677-697.
- HASSALL, C.; THOMPSON D.J.; FRENCH, G.C.; HARVEY, I.F. 2007. Historical changes in the phenology of British Odonata are related to climate. *Global Change Biology* 13: 933-941.
- 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.

- INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE IUCN. 2012. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2012-1. <<http://www.iucnredlist.org>>. Fecha acceso: 10 May 2012.
- OLSON, D.M.; DINERSTEIN, E.; WIKRAMANAYAKE, E.D.; BURGESS, N.D.; POWELL, G.V. N.; UNDERWOOD, E.C.; D'AMICO, J.A.; ITOUA, I.; STRAND, H.E.; MORRISON, J.C.; LOUCKS, C.J.; ALLNUTT, T.F.; RICKETTS, T.H.; KURA, Y.; LAMOREUX, J.F.; WETTENGEL, W.W.; HEDAO, P.; KASSEM, K.R. 2001. Terrestrial ecoregions of the world: a new map of life on Earth. *Bioscience* 51 (11): 933-938.
- PALACINO-RODRÍGUEZ, F.; SARMIENTO, C.E.; GONZÁLEZ-SORIANO, E. 2015. Morphological variability and evaluation of taxonomic characters in the genus *Erythemis* Hagen, 1861 (Odonata: Libellulidae: Sympetrinae). *Insecta Mundi* 28: 1-68.
- PARMESAN, C. 2006. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review Ecology Evolution and Systematics* 37: 637-669.
- PETERSON, A.; PAPES, M.; SOBERÓN, J. 2008. Rethinking receiver operating characteristic analysis applications in ecological niche modeling. *Ecological Modelling* 213:63-72.
- PETERSON A.T.; SOBERÓN, J. 2012. Species distribution modeling and ecological niche modeling: getting the concepts right. *Brazilian Journal of Nature Conservation* 10:1-6.
- PHILLIPS, S. J.; ANDERSON, R.P.; SCHAPIRE, R.E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190: 231-259.
- SÁNCHEZ-GUILLÉN, R.A.; MUÑOZ, J.; RODRÍGUEZ-TAPIA, G.; FERIA, T.P.; CÓRDOBA-AGUILAR, A. 2013. Climate-induced rangeshifts and possible hybridisation consequences in insects. *PLoS ONE* 8: e80531.
- SÁNCHEZ-GUILLÉN, R.A.; MUÑOZ, J.; HAFERNIK, J.; TIERNEY, M.; RODRIGUEZ-TAPIA, G.; CÓRDOBA-AGUILAR, A. 2014. Hybridization rate and climate change: are endangered species at risk? *Journal of Insect Conservation* 18: 295-305.
- TAYLOR, K. E.; STOUFFER R. J.; MEEHL, G.A. 2012. A summary of the CMIP5 Experiment Design. *Bulletin of the American Meteorological Society* 93: 485-498.
- TORRES-CAMBAS, Y.; CABANA-OTERO, M.; LORENZO-CARBALLA, M.; CORDERO-RIVERA, A. 2016. Conservation status and protection of three Antillean endemic damselflies. *Journal of Insect Conservation* 20: 277-284.
- WILLIAMS, S.E.; SHOO, L.P.; ISAAC, J.L.; HOFFMANN, A.A.; LANGHAM, G. 2008. Towards an integrated framework for assessing the vulnerability of species to climate change. *PLoS Biology* 6: 2621-2626.
- WOODWARD, G.; PERKINS, D.; BROWN, L.E. 2010. Climate change and freshwater ecosystems: Impacts across multiple levels of organization. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 365: 2093-2106.
- YAÑEZ-ARENAS, C; PETERSON, A.T; RODRÍGUEZ-MEDINA, K.; BARVE, N. 2015. Mapping current and future potential snakebite risk in the New World. *Climatic Change*. DOI:10.1007/s1 0584-015-1544-6.



## Descifrando el hábitat en odonatos: estudio de caso con dos especies de libelúlidos (Odonata: Libellulidae)

Leonardo Rache-Rodríguez<sup>1,2</sup>

1Universidad Nacional de Colombia. Carrera 30 # 45-05. 2Grupo de Investigación en Odonatos y otros artrópodos de Colombia (GINOCO), [leonardorache@hotmail.com](mailto:leonardorache@hotmail.com).

---

### Introducción

Los odonatos son insectos dependientes de los cuerpos de agua, en donde desarrollan todo o gran parte de su ciclo de vida y de los que forman una pieza importante, debido a su papel como depredadores (Corbet 2004). Además, la sensibilidad de algunas especies al cambio de las características físicas y químicas de los cuerpos acuáticos (por ej. contenido iónico, niveles de oxígeno, temperatura) ha permitido que los odonatos sean usados como bioindicadores (Corbet 2004; Mabry y Dettman 2010; Balzan 2012).

Sin embargo, los estudios ecológicos y taxonómicos para la mayoría de los odonatos tropicales son limitados; prueba de ello es el gran número de especies de las cuales se desconocen sus estadios larvales y ciclos de vida (Garrison *et al.* 2006). Además, se sabe poco sobre los factores que limitan la distribución de las especies (McPeck 2008), lo que dificulta las investigaciones acerca de dinámicas poblacionales, especialmente en estadios larvales. Así mismo, la mayoría de estimaciones del hábitat de los odonatos han sido cualitativas y las aproximaciones con métodos estadísticos robustos son escasas (Schindler *et al.* 2003; Fulan 2008; Balsan 2012), lo que dificulta establecer claramente las variables ambientales más importantes a la hora de explicar la distribución de las especies a escala local y regional.

Considerando que las especies de agua dulce sufren una creciente amenaza a nivel mundial por la degradación acelerada de estos sistemas (Butler y Maynadier 2008), se hace necesario conocer los requerimientos ecológicos de los odonatos de forma precisa, con el fin de determinar el riesgo de extinción de las especies y los factores ambientales en los que deberían enfocarse las estrategias para su conservación, de modo que éstas sean más efectivas. Con el fin de determinar de manera precisa cuales variables del hábitat determinan la distribución altitudinal en odonatos, se estudió el efecto de dichas variables sobre la distribución de dos libelúlidos: *Perithemis mooma* (Kirby, 1889) y *Perithemis lais* (Perty, 1834). Éstas especies fueron seleccionadas como objeto de estudio, debido a que sus rangos de distribución altitudinal son disímiles (amplio en *P. mooma* y restringido en *P. lais*), además pueden ser reconocidas fácilmente en campo y son relativamente abundantes en muchas localidades.

### Materiales y métodos

Quince variables ambientales (Tabla 1) relacionadas con la distribución de odonatos y otros macroinvertebrados fueron seleccionadas (Arangúren *et al.* 2002; Butler y Maynadier 2008; Nessimian *et al.* 2008; Solimini *et al.* 2008; Borisov 2009; Silva *et al.* 2010; Moreno y Guillot 2012). Estas variables fueron medidas en 30 cuerpos de agua ubicados en las dos vertientes de la Cordillera Oriental colombiana, en un gradiente altitudinal entre los 182 y los 1790 m.s.n.m. Con el fin de comparar los valores para determinar su influencia sobre la presencia de las especies, cuerpos de agua naturales y artificiales fueron muestreados, entre los que se incluyeron 18 ambientes habitados por las especies y 12

en los que éstas no estaban presentes. En todos los casos se muestrearon ambientes lóticos y lénticos por igual número.

**Tabla 1.** Variables medidas en los cuerpos de agua

Conductividad	Saturación de oxígeno	Temperatura del agua
Turbidez	Sólidos disueltos totales	Transparencia del agua
pH	Nitritos	Uso del suelo
Área total del cuerpo de agua	Área de espejo de agua	Sombra sobre espejo de agua
Espejo de agua ocupado por macrófitas	Continuidad del cinturón de macrófitas	Ancho del cinturón de macrófitas

Una vez obtenidos los valores de las variables, se realizaron gráficos boxplot para comparar el comportamiento de las variables en los sitios de presencia y ausencia de las especies, desarrollando además, análisis de componentes principales en busca de patrones. Finalmente, se usaron regresiones logísticas binomiales, con el fin de determinar cuáles variables condicionaron la presencia y distribución de las especies. Debido a que este método no había sido probado con especies de distribución Neotropical, el presente estudio constituye una línea base para ampliar en futuras investigaciones.

### Resultados y discusión

*Perithemis lais*. Esta especie fue encontrada en un rango altitudinal entre los 182 y 383 m.s.n.m.; en cuerpos de agua lóticos de corriente suave y grandes sistemas lénticos, con fondos arcillosos y con gran cantidad de hojarasca, además de gran cantidad de macrófitas (predominando las flotantes). En la mayoría de sitios los valores de saturación de oxígeno en el agua, conductividad, pH, turbidez y sólidos disueltos fueron inferiores en los cuerpos de agua donde *P. lais* fue encontrada. Por otra parte, la continuidad de vegetación macrófita y los nitritos fueron más altos en los cuerpos de agua habitados por la especie, y la sombra siempre tuvo valores superiores al 15 % en estos. La transparencia del agua, ancho del cinturón de macrófitas y uso del suelo no mostraron tendencias claras, mientras que el espejo de agua ocupado por macrófitas siempre fueron superiores al 10 % en los sitios donde *P. lais* estaba presente. La regresión logística seleccionó las variables temperatura del agua, sombra, continuidad de macrófitas y conductividad como las variables que permiten discriminar correctamente los cuerpos de agua en los que habita *P. lais* de aquellos en los que no lo hace (100 % de efectividad en los dos casos). De acuerdo con los resultados, de las variables que determinan la presencia de la especie, las primeras tres afectan positivamente su presencia, mientras que la última lo hace de manera negativa.

*Perithemis mooma*. Esta especie fue encontrada entre los 316 y 1324 m.s.n.m.; en cuerpos de agua lénticos permanentes. Las larvas habitan fondos suaves compuestos por arcilla, fango, hojarasca y en ocasiones rocas. En la mayoría de los casos (65 %), los cuerpos de agua presentaron vegetación macrófita, mientras que en pocos casos (35 %), esta no fue encontrada. Cuando los ambientes con presencia y sin presencia de *P. mooma* fueron comparados, se encontró que la temperatura del agua fue generalmente mayor, y con un rango de variación menor en aquellos ambientes donde la especie habita. Así mismo, los valores de transparencia del agua, sombra y espejo de agua ocupado por macrófitas fueron generalmente inferiores en los sitios habitados por la especie. Por otra parte, la conductividad, turbidez y sólidos disueltos mostraron valores ampliamente superiores en los sitios donde *P. mooma* fue encontrada. La saturación de oxígeno mostró el mismo patrón pero con valores menos extremos. Los

valores de pH fluctuaron ampliamente, aunque la mayoría estuvo por encima de 6.8 en los sitios donde la especie fue encontrada. La variación del espejo de agua libre fue menor ( $\geq 39$  %) en las localidades donde la especie está presente. La regresión logística seleccionó el pH, temperatura del agua, espejo de agua libre, sombra, saturación de oxígeno, conductividad como las variables que afectan positivamente la presencia de la especie, mientras que el ancho y la continuidad del cinturón de macrófitas lo hacen de manera negativa. En este caso el uso de estas variables predicen acertadamente y en un elevado porcentaje, la presencia (82.97 %) o ausencia (91.04 %) de la especie.

Teniendo en cuenta los resultados de los análisis estadísticos se propone que las siguientes variables condicionan la presencia de las especies a nivel local y regional:

**Temperatura ambiental.** Es una variable de gran importancia para la distribución de las especies debido a su relación directa con aspectos de la historia de vida como duración de los estadios larvales, fenología de vuelo, tasa de crecimiento, entre otros (Corbet 2004; Dingemanse y Kalkman 2008). La temperatura ambiental también afecta la habilidad de vuelo de las especies, en este caso, se observó que *P. mooma* y *P. lais* arriban al espejo de agua cuando la temperatura alcanza los 28°C, consistente con lo observado para otras especies del género como *P. tenera* (Lutz y Pittman 1970). Estos resultados son afines con Borisov (2009), quien reportó que la temperatura del ambiente es uno de los principales condicionantes de la distribución de las especies.

**Saturación de Oxígeno.** Esta variable fue reportada para *P. mooma* por la regresión logística debido a que más de la mitad de las localidades mostraron valores por encima del 100 % de saturación, situación usual en cuerpos de agua dedicados a la acuicultura, donde esta especie es común. El oxígeno tiene gran importancia para los odonatos, ya que afecta el metabolismo, comportamiento y supervivencia de las larvas (Corbet 2004) y condiciona la distribución y riqueza de las especies en un cuerpo de agua (McPeck 2008; Monteiro *et al.* 2014).

**pH.** Esta variable condiciona la presencia de *P. mooma* pero no la de *P. lais*. Sin embargo, las dos especies pueden ser categorizadas como euritolerantes teniendo en cuenta la fluctuación de valores de esta variable en los cuerpos de agua. De hecho, estas dos especies son las más tolerantes (conocidas por el autor) a la variación de este factor.

**Conductividad.** Es afectada por la salinidad del agua e influye en la distribución de los odonatos por su relación directa con la osmorregulación (Corbet 2004). *Perithemis lais* está asociada a valores por debajo de 100  $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ , mientras que *P. mooma* se encuentra en aquellos ambientes por encima de 180  $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ . En cuerpos de agua donde las dos especies habitan en simpatria, los valores de saturación de Oxígeno llegan a estar en 100  $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ .

**Sombra.** En el presente estudio se observó que afecta a *P. lais* cuyos individuos siempre fueron observados en lugares sombreados, mientras que los de *P. mooma* se encontraron en zonas con mayor cantidad de luz, expuestas a la radiación solar: Así mismo, se sabe que debido a comportamientos reproductivos y de depredación, esta variable es importante porque condiciona la estructura de las comunidades de odonatos (Samways y Steytler 1996; Schindler *et al.* 2003; Corbet 2004; Hofmann y Mason 2005).

**Vegetación macrófita y espejo de agua.** La vegetación macrófita es usada por *P. lais* como percha y sustrato de oviposición, similar a *P. mooma*, aunque ésta requiere espejos de agua más despejados, los cuales son reconocidos por los machos como potenciales territorios (Jacobs 1955; Eason y Switzer 2006). Por esta razón, *P. mooma* no fue encontrada en cuerpos de agua completamente cubiertos de macrófitas.

**Regresión Logística Binomial: Ventajas y desventajas.** La regresión logística es bastante flexible, lo que permite utilizar datos biológicos junto con las siguientes ventajas:

- No obliga a normalidad ni homocedasticidad de los datos.
- Tiene menos supuestos que el análisis discriminante (que opera de forma similar).
- Otorga un valor de significancia a cada una de las variables seleccionadas.
- Informa si las variables afectan de manera positiva o negativa a la variable dependiente.
- Las variables independientes pueden ser continuas o categóricas

Tal vez la desventaja más importante sea la misma de los demás modelos multivariados, la cual está relacionada con la multi-colinealidad, que puede sesgar las estimaciones e inflar los errores estándar. En cuanto a su uso como herramienta para encontrar los requerimientos más importantes para los odonatos, la desventaja más evidente es el número de sitios de muestreo requeridos para conseguir una buena estimación del hábitat. Por otra parte, a partir del presente estudio de caso se concluye que especies con distribución restringida como *P. lais* son buenas candidatas para utilizar este modelo, ya que la regresión predijo con el 100 % de éxito los sitios de presencia y ausencia de la especie, detectando las variables que restringen su distribución y en las que deben ser enfocados los esfuerzos para preservarlas. Por último, se insta a utilizar la regresión logística en otros taxa con el fin establecer su utilidad a la hora de tratar de proteger especies amenazadas.

## Referencias

- ARANGÚREN, N.; BOLIVAR, A.; CANOSA, A.; GALVIS, G.; MOJICA, J.; DONATO, J.; RUEDA G.; RUÍZ, E.; SCHMIDT-MUMM, U. 2002. Manual de métodos en Limnología. Asociación Colombiana de Limnología. Bogotá, Colombia.
- BALZAN, M. V. 2012. Associations of dragonflies (Odonata) to habitat variables within the Maltese Islands: A spatio-temporal approach. *Journal of Insect Science* 12 (87): 1-18.
- BORISOV, S. 2009. Distribution patterns of dragonflies (Odonata) in central Asia. *Entomological Review* 89 (1): 26-33.
- BUTLER, R.; MAYNADIER, P. 2008. The significance of litoral and shoreline habitat integrity to the conservation of lacustrine damselflies (Odonata) *Journal of insect Conservation* 12: 23-36.
- CORBET, P. 2004. Dragonflies. Behavior and Ecology of Odonata. Cornell University Press.
- EASON, P.; SWITZER, P. 2006. Spatial learning in Dragonflies. *International journal of Comparative Psychology* 19: 268-281.
- DINGEMANSE, N.; KALKMAN, V. 2008. Changing temperature regimes have advanced the phenology of Odonata in the Netherlands. *Ecological Entomology* 33 (3): 394-402.
- FULAN, J.; RAIMUNDO, R.; FIGUEIREDO, D. 2008. Habitat characteristics and dragonflies (Odonata) diversity and abundance in the Guadiana River, eastern of the Alentejo, Portugal. *Boletín de la asociación española de entomología* 32: 327-340.

- GARRISON, R.; VON ELLENRIEDER, N.; LOUTON, J. 2006. Dragonfly Genera of the New World. Johns Hopkins University press. Baltimore.
- HOFMANN, T.; MASON, C. 2005. Habitat characteristics and the distribution of Odonata in a lowland river catchment in eastern England. *Hydrobiologia* 539: 137-147.
- JACOBS, M. 1955. Studies on territorialism and sexual selection in dragonflies. *Ecology* 36: 566-586.
- LUTZ, P.; PITTMAN, A. 1970. Some Ecological Factors Influencing a Community of Adult Odonata. *Ecological Society of America* 51 (2): 279-284.
- MABRY, C.; DETTMAN, C. 2010. Odonata richness and abundance in relation to vegetation structure in restored and native wetlands of the Prairie Pothole region, USA. *Ecological Restoration* 28: 475-484
- MCPEEK, M. 2008. Ecological factors limiting the distributions and abundances of Odonata en: Córdoba-Aguilar, A. 2008. Dragonflies and damselflies Model organisms for ecological and evolutionary research. Oxford University Press.
- MONTEIRO-JÚNIOR, C.; JUEN, L.; HAMADA, N. 2014. Landscape and Urban Planning Effects of urbanization on stream habitats and associated adult dragonfly and damselfly communities in central Brazilian Amazonia. *Landscape and Urban Planning* 127 (1): 28-40.
- MORENO, M.; GUILLOT, G. 2012. Distribución espacial y temporal de náyades de odonatos en los humedales La vaca y Santa María del Lago, Bogotá, Colombia. *Acta biológica Colombiana* 17 (2): 281-294.
- NESSIMIAN, J.; VENTICINQUE, E.; ZUANON, J.; DE MARCO, P.; GORDO, M.; FIDELIS, L.; BATISTA, J.; JUEN, L. 2008. Land use, habitat integrity; aquatic insect assemblages in Central Amazonian streams. *Hydrobiologia* 614: 117-131.
- SAMWAYS, M.; STEYTLER, N. 1996. Dragonfly (Odonata) distribution patterns in urban and forest landscapes; recommendations for riparian management. *Biological Conservation* 78: 279-288.
- SCHINDLER, M.; FESL, C.; CHOVANEC, A. 2003. Dragonfly associations (Insecta:Odonata) in relation to habitat variables : a multivariate approach. *Hydrobiologia* 497: 169-180.
- SOLIMINI, A.; BAZZANTI, M.; RUGGIERO, A.; CARCHINI, G. 2008. Developing a multimetric index of ecological integrity based on macroinvertebrates of mountain ponds in central Italy. *Hydrobiologia* 597: 109-123.

---

## Pigmentación corporal y su papel en la regulación de la temperatura corporal en el zigóptero *Mesamphiagrion laterale* (Odonata: Coenagrionidae)

Laura Pulido Ríos<sup>1</sup>, Fredy Palacino-Rodríguez<sup>1,2</sup> y Alex Córdoba-Aguilar<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación en Odonatos y otros artrópodos de Colombia (GINOCO), Grupo de Investigación en Biología (GRIB), Departamento de Biología, Universidad El Bosque Av. Cra. 9 No. 131A-02, [pulidoriosl@gmail.com](mailto:pulidoriosl@gmail.com).

<sup>2</sup>Centro de Investigación en Acarología, Calle 152B # 55-45, Bogotá, Colombia, [odonata17@hotmail.com](mailto:odonata17@hotmail.com).

<sup>3</sup>Departamento de Ecología Evolutiva, Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, Coyoacán, Distrito Federal, Mexico, [acordoba@ieciologia.unam.mx](mailto:acordoba@ieciologia.unam.mx).

---

### Introducción

La conspicua naturaleza de los patrones de pigmentación alar en insectos es frecuentemente entendida como una consecuencia de la selección sexual (Rivas *et al.* 2016). En odonatos por ejemplo, la coloración de las alas ha sido estudiada particularmente en Calopterygidae y Polythoridae, debido a que especies en estas familias muestran marcados patrones de coloración que varían en ubicación, tamaño e intensidad. En estas especies, las manchas alares proveen a los machos con información acerca de la posesión y lucha por un territorio (González-Santoyo *et al.* 2014); resistencia a patógenos (Rantala *et al.* 2000), capacidad para vigilar las hembras durante el apareamiento (Siva-Jothy 2000) y selección sexual (Altamiranda *et al.* 2014). Sin embargo, la evolución de la variación intra e interespecífica, podría ser también explicada por selección natural a través de la Hipótesis de Melanismo Térmico (TMH), la cual plantea que los individuos con coloración oscura, incrementan su temperatura corporal más rápido, porque estas coloraciones muestran una reflectancia mucho menor que las coloraciones claras (Matthews *et al.* 2016). La reflectancia es una condición que permite al organismo absorber o rechazar cantidades de radiación solar que interactúan con la pigmentación de su exoesqueleto, por lo que la termorregulación se convierte en un agente selectivo primario, particularmente entre estos organismos que son ectotermos (Matthews *et al.* 2016) o endotermos facultativos (May 1976). Esta capacidad de calentarse o enfriarse, y su relación con la coloración, permite que organismos con pigmentación alar más extensa e intensa, puedan alcanzar más rápido temperaturas óptimas para realizar actividades importantes como el apareamiento, la depredación y la evasión de depredadores (Rivas *et al.* 2016).

*Mesamphiagrion laterale* (Selys, 1876) y otras especies que habitan en simpatria en altitudes arriba de los 2600 metros, no muestran coloración alar o esta es reducida a pequeñas regiones en la base o los ápices alares. Lo que si puede ser observado en estas especies es que presentan coloración llamativa en tórax y abdomen que se hace más intensa con el incremento de la temperatura en el ambiente. En el caso particular de *M. laterale*, esta coloración cambia de azul claro intenso en días calurosos (18-25°C) o en momentos del día donde la temperatura es más elevada (mediodía), hasta azul oscuro o incluso verde oscuro en días o momentos del día que son más fríos (<6°C). De acuerdo con esta información, *M. laterale* es un adecuado modelo con el que podemos comparar la capacidad de termorregular en individuos que carecen de manchas alares, vs varias opciones artificiales de coloración sobre las alas. Adicionalmente, sirve para poner a prueba la hipótesis acerca de si la TMH en este tipo de hábitats es proveído por pigmentación de manchas torácicas y abdominales, reemplazando la función que realizan las manchas alares en especies de otros ambientes más cálidos, y si la manipulación de las manchas en estas regiones, muestra un incremento o no en la capacidad de termorregular de los individuos.

## Materiales y métodos

**Área, especie de estudio y espectrofotometría.** Un total de 480 individuos de *M. laterale* fue obtenido de los siguientes puntos: 04°40'42.16" N, 73°55'39.91" W; 04°49'28.06" N, 73°56'07.14" W y 04°43'35.4" N, 74°07'22.7" W. *Mesamphiagrion laterale* se distribuye en la cordillera oriental de los Andes en Colombia y la cordillera de Mérida en Venezuela (Bota-Sierra y Wolff, 2013). La especie se encuentra entre 750 y 2850 m.s.n.m.; en cuerpos de agua como embalses, pequeños lagos y pantanos, con hierbas y arbustos que utilizan como refugio. Machos y hembras sexualmente maduros presentan coloración azul principalmente en el tórax y los últimos cuatro segmentos abdominales (machos), o en el séptimo y la región basal del octavo segmento abdominal únicamente (hembras), ninguno de los sexos presenta algún patrón de coloración sobre las alas (Bota-Sierra y Wolff, 2013). La absorbancia de las tintas fue medida, exponiendo 1 ml de tinta de cada color (naranja, rojo, azul y negro) a 560 nm, con alcohol 70 % como control. La prueba fue realizada tres veces por tinta en un espectrofotómetro Termo Spectronic Genesys™ 20.

Efecto de la manipulación del tamaño y coloración de las manchas sobre la termorregulación. Individuos adultos de *M. laterale* se capturaron con red entomológica, luego se sexaron y entonces fueron azarosamente atribuidos a uno de los siguientes 30 grupos experimentales: ala sin coloración o hialina (why), 1/3 (35 %) del ala cubierto por color rojo (wtr), azul (wta), o negro (wtn); 2/3 (70 %) del ala cubiertos por color rojo (wtr2), azul (wta2), o negro (wtn2); ala completa (100 %) cubierta por color rojo (wtr), azul (wfa) o negro (wfn); tórax coloración natural (tnc), 1/3 (35 %) del tórax cubierto por color rojo (ttr), naranja (tto), o negro (ttn); 2/3 (70 %) del tórax cubiertos por color rojo (ttr2), naranja (tto2), o negro (ttn2); tórax completo (100 %) cubierto por color rojo (tfr), naranja (tfo) o negro (tfn); abdomen color natural (anc), 1/3 (35 %) del abdomen cubierto por color rojo (atr), naranja (ato), o negro (atn); 2/3 (70 %) del abdomen cubiertos por color rojo (atr2), naranja (ato2) o negro (atn2); abdomen completo (100 %) cubierto por color rojo (afr), naranja (afo) o negro (afn). Las marcas fueron hechas con marcadores Sharpie® ([www.sharpen.com](http://www.sharpen.com)) de tinta indeleble sobre la región dorsal de alas y abdomen, así como sobre las regiones dorsal y lateral del tórax. El color azul fue reemplazado por naranja en abdomen y tórax, dado que los patrones de coloración natural en estas regiones son de color azul. El tamaño de muestra para cada grupo experimental (n=16) y cada región corporal (n=160) fue el mismo.

Cada individuo fue depositado en un frasco plástico de 6 onzas, marcado con un código único de tres dígitos y dotado con una percha y orificios para permitir la aireación. Los frascos con los individuos se depositaron a 12°C (10 horas), llevando control de la temperatura con un termómetro ambiental. Finalizado este tiempo, la temperatura corporal de cada insecto se midió colocando un termómetro infrarrojo RIVERSONG® IR DT-380 a una distancia  $\leq 1$  cm de la región lateral del tórax. Los individuos fueron sujetados con pinzas para evitar paso de calor del investigador hacia el insecto. Las medidas fueron expresadas como el promedio de dos mediciones realizadas en un tiempo  $\leq 15$  segundos para reducir el error de medición. Inmediatamente después de medir su temperatura corporal, cada individuo, fue sometido a 25°C (5 minutos), usando una luz de bombillo infrarrojo Nippon® de 250W, que pese a no ser comparable con la exposición real a la luz solar (Rivas *et al.* 2016), sirvió en este caso para su objetivo, que fue exponer al individuo a una longitud de onda de luz e incrementar la temperatura de su ambiente. Posterior a los 5 minutos, la temperatura de cada insecto se midió nuevamente con el termómetro infrarrojo.



**Efecto del tamaño y coloración de las manchas sobre la temperatura inicial de vuelo.** Los individuos fueron separados en los mismos grupos experimentales de efecto del tamaño aspecto de la mancha sobre la termorregulación, pero en este caso fueron sometidos a 5°C por 30 minutos en un refrigerador Whirlpool®. Después de este tiempo, la temperatura de cada individuo fue registrada con el termómetro infrarrojo. Posteriormente, cada animal fue liberado en un espacio encerrado que se adecuó en el laboratorio para tener una temperatura controlada de 25°C, la cual fue generada por una lámpara de calor. Una vez allí, el tiempo que demoró cada individuo en iniciar el vuelo fue registrado, y después de ~5 segundos de vuelo, se midió nuevamente su temperatura corporal.

**Análisis estadístico.** Una prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov fue realizada, la cual mostró que las variables no siguieron una distribución normal, por lo que se aplicó una prueba de varianza de Kruskal-Wallis, con la cual se analizó si la ganancia de temperatura era explicada por el tamaño de la mancha (35 %, 70 % 100 % y control) y/o el color de la mancha (azul, rojo, naranja, negro y control). Para analizar el efecto del tamaño de la mancha sobre la temperatura necesaria para alcanzar el vuelo y el tiempo para el inicio de vuelo, se utilizó un análisis de regresión, en el que se introdujo el tamaño de la mancha como variable predictora y la temperatura necesaria para alcanzar el vuelo y tiempo en el que se inició el vuelo como variables de respuesta. Los datos se analizaron utilizando SPSS 12.0.1 (www.ibm.com).

### Resultados y discusión

La tinta con menor absorbancia fue la azul, seguida de la naranja, la roja y por último la tinta negra. Los resultados de la prueba ANOVA, mostraron que solo hay relación entre el tamaño y la coloración de las manchas torácicas sobre la capacidad de termorregulación ( $p = 0.003$ ). El análisis de regresión no mostró relación entre la temperatura inicial o el tiempo para inicio de vuelo y la extensión o coloración de alguna región corporal ( $p > 0.05$ ). *Mesamphiagrion laterale* es una especie perchadora, expuesta a amplias variaciones diarias de temperatura de corta duración, así como variaciones más extensas relacionadas con las épocas de lluvia y sequía (desde  $\leq 4^\circ\text{C}$  hasta más de  $20^\circ\text{C}$ ). Como especie perchadora, *M. laterale* debe estar en capacidad de hacer frente a estas variaciones para incrementar o reducir su temperatura en estos lapsos de tiempo. Los resultados obtenidos aquí, indican que el aspecto de coloración de manchas alares y abdominales no explican la posibilidad de termorregular y que el aumento del tamaño de la manchas no se relaciona con aumentos o descensos en la temperatura corporal, ni con la temperatura necesaria para volar o el tiempo de inicio de vuelo. Estos resultados pueden explicarse desde una razón muy obvia y es que *M. laterale* termorregula sin involucrar las manchas alares, es decir, que no las necesita. En la especie *Mnais costalis* Selys, 1869 por ejemplo, se ha reportado que los pigmentos alares no transfieren calor al tórax (Tsubaki *et al.* 2010), debido a que las alas no son estructuras adecuadas para almacenar calor, consecuencia de que las venas son muy estrechas para posibilitar el paso acelerado de grandes cantidades de hemolinfa (May 1976). Viéndolo desde otra perspectiva, la presencia de las manchas en una especie como *M. laterale*, podría representar en cambio, un gasto energético excesivo dentro de sus procesos fisiológicos, ya que para producir estas manchas, los artrópodos tienen precursores de los pigmentos que son secretados en la matriz extracelular, donde se convierten enzimáticamente en melanina, proceso que requiere altos costos de energéticos (Christensen *et al.* 2005).

Aunque no se revisó en este estudio, podría suponerse que las manchas abdominales y torácicas que presenta *M. laterale*, son producto de mesobiliverdina, un pigmento biliar común en insectos, que

deriva de las biliverdinas por un cambio estructural, en el que se sustituyen las cadenas de vinilo por etilo (Fernández 2015). Estos pigmentos cambian como respuesta a variaciones circadianas relacionadas con cambios en la temperatura del ambiente (Heinrich 1993). Estos cambios consisten en que los pigmentos se tornan de color más intenso cuando la temperatura ambiental se incrementa, debido a que se acumula una mayor cantidad de los estos. Por otro lado, la coloración se torna menos intensa y más oscura, cuando la temperatura es baja, debido a la reducción en la cantidad de pigmento (Heinrich 1993). Como se mencionó en la introducción, esta situación es común en *M. laterale*, donde la coloración e intensidad de color varía dependiendo del incremento o reducción en la temperatura del ambiente.

De acuerdo con los resultados del presente estudio, la capacidad de termorregulación para *M. laterale* es facilitada por las manchas del tórax. Esta capacidad podría estar asociada al calentamiento del aire que se deposita en los sacos que rodean los músculos del tórax, lo que reduce sustancialmente la pérdida de calor (Church 1960). La ausencia de estos sacos en otras regiones, explicaría no ayudan de manera similar a termorregular. Esto hace del tórax, una estructura fundamental para sobrellevar aquellos lapsos de tiempo donde las temperaturas son más bajas. Así mismo, los odonatos emplean una variedad de métodos conductuales y fisiológicos para regular la temperatura torácica. Esto es coherente porque el tórax es la región donde residen los músculos locomotores (patas y alas) y por tanto se espera que sea el segmento del cuerpo que mantenga la temperatura muscular mínima necesaria para apoyar la actividad de vuelo (May 1995), o por lo menos para mantener una temperatura mínima que no lo lleve a la muerte durante exposiciones a extremos en las bajas de temperatura. *Mesamphiagrion laterale* habita en ecosistemas de la sabana de Bogotá donde se ha llegado a registrar temperaturas de  $-2^{\circ}\text{C}$  en las madrugadas (IDEAM 2017), observaciones previas han mostrado que los organismos de esta especie descienden por los tallos de pastos (*Pennisetum* sp.) hasta llegar casi al suelo. Estas zonas de los pastizales, regularmente están protegidas debajo de árboles (por ejemplo *Acacia* sp.) alrededor de los cuerpos de agua. Los tallos pueden alcanzar  $\sim 60$  cm y crecen muy cerca unos de otros, generando una temperatura más elevada en su base. Los individuos de *M. laterale* se encuentran allí abajo, en días lluviosos o en noches frías, donde seguramente aprovechan las condiciones más cálidas de este microclima, para ayudar a contrarrestar las bajas temperaturas del ambiente exterior.

Por otro lado, una especie como *M. laterale*, cuyos individuos están sometidos varias horas a radiación solar, debe practicar alternativas para evitar el sobrecalentamiento: i) debido a que en días o partes del día que son más calurosas ( $25^{\circ}\text{C}$ , IDEAM 2017), los individuos perchan en posición casi vertical (L. Rache, F. Palacino-Rodríguez com. pers.), lo cual podría estar sirviendo para reducir su área de exposición a la radiación solar, tal y como ha sido encontrado para otros odonatos que adoptan la posición de obelisco (May 1976); ii) en *M. laterale* los cambios de temperatura afectan la intensidad y coloración de tórax y abdomen, en los momentos más calurosos, las coloraciones se hacen más intensas (azul claro intenso), debido a que a mayor cantidad de pigmento, mayor reflectancia, mientras que retienen mayor cantidad de calor con menor cantidad de pigmento (azul oscuro-verde) cuando la temperatura desciende; iii) otro comportamiento asociado al descenso de la temperatura corporal es la inmersión del cuerpo en agua (Conrad y Pritchard 1989). Al respecto, aunque no frecuentemente, machos y hembras de la especie han sido observados con tórax y abdomen sumergidos en agua y aproximadamente 2000 individuos se les ha observado con varias regiones de su cuerpo cubiertas de barro. Sin embargo, será necesario hacer un estudio más detallado para establecer si esta estrategia se relaciona con la termorregulación, reproducción o ambas.

---

## Referencias

- ALTAMIRANDA-SAAVEDRA, M.; PALACINO-RODRÍGUEZ, F.; LOBO-HERNÁNDEZ, M. 2014. Daily abundance at the breeding site and reproductive behavior of *Polythore gigantea* (Odonata: Polythoridae). *Odonatologica* 43 (3): 169-182.
- BOTA-SIERRA, C.; WOLFF, M. 2013. Taxonomic revision of *Mesamphiagrion* Kennedy, 1920 from Colombia. *Zootaxa* 3718 (5): 401-440.
- CHRISTENSEN, B. M.; LI, J.; CHEN, C.; NAPPI, A. J. 2005. Melanization immune responses in mosquito vectors. *Trends in Parasitology* 21: 192-199.
- CHURCH, N. 1960. Heat loss and the body temperature of flying insects. II. Heat conduction within the body and its loss by radiation and convection. *Journal of Experimental Biology* 37: 186-212.
- CONRAD, K. F.; PRITCHARD, G. 1989. Female dimorphism and physiological colour change in the damselfly *Argia vivida* Hagen (Odonata: Coenagrionidae). *Canadian Journal of Zoology* 67 (2): 298-304.
- FERNÁNDEZ, L. 2015. La coloración de los insectos. Universidad de Granada. Recuperado de: <http://documents.tips/science/la-coloracion-de-los-insectos-clasificacion-de-los-colores-funciones.html#>.
- GONZÁLEZ-SANTOYO, I.; GONZÁLEZ-TOKMAN, D. M.; MUNGUÍA-STEYER, R.E.; CÓRDOBA-AGUILAR, A. 2014. A mismatch between the perceived fighting signal and fighting ability reveals survival and physiological costs for bearers. *PLoS ONE* 9: e84571.
- HEINRICH, B. 1993. *The Hot-Blooded Insects: Strategies and Mechanisms of Thermoregulation*. Cambridge, EE.UU. Harvard University.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. 2017. Variabilidad diaria de temperatura. Recuperado de: <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/variabilidad-diaria-temperatura>.
- MATTHEWS, G.; GOULET, C.; DELHEY, K.; CHAPPLE, D. 2016. The effect of skin reflectance on thermal traits in a small heliothermic ectotherm. *Journal of Thermal Biology* 60: 109-124.
- MAY, M. 1976. Thermoregulation and Adaptation to Temperature in Dragonflies (Odonata: Anisoptera). *Ecological Monographs* 46: 1-32.
- MAY, M. 1995. Dependence of Flight Behavior and Heat Production on Air Temperature in the Green Darner Dragonfly *Anax Junius* (Odonata: Aeshnidae). *The Journal of Experimental Biology* 23: 85-92.
- RANTALA, M. J.; KOSKIMÄKI, J.; TASKINEN, J.; TYNKKYNEN, K.; SUHONEN, J. 2000. Immunocompetence, developmental stability and wing spot size in the damselfly *Calopteryx splendens*. *The Royal Society of London Series B: Biological Sciences* 267: 2453-2457.
- RIVAS, M.; MARTÍNEZ-MEYER, E.; MUÑOZ, J.; CÓRDOBA-AGUILAR, A. 2016. Body temperature regulation is associated with climatic and geographical variables but not wing pigmentation in two rubyspot damselflies (Odonata: Calopterygidae). *Physiological Entomology* 41: 132-142.
- SIVA-JOTHY, M. T. 1999. Male wing pigmentation may affect reproductive success via female choice in a calopterygid damselfly (Zygoptera). *Behaviour* 136: 1365-1377.
- TSUBAKI, Y.; SAMEJIMA, Y.; SIVA-JOTHY, M. 2010. Damselfly females prefer hot males: higher courtship success in males in sunspots. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 64: 1547-1554.

## La contaminación ambiental deteriora la salud de los organismos asociados: Un estudio de caso en *Mesamphiagrion laterale* (Odonata: Coenagrionidae)

Fredy Palacino-Rodríguez<sup>1,2</sup>, Diego Medina Gaitán<sup>1,2</sup> y Roberto Munguia-Steyer<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación en Odonatos y otros artrópodos de Colombia (GINOCO), Grupo de Investigación en Biología (GRIB), Departamento de Biología, Universidad El Bosque Av. Cra. 9 No. 131A-02, [dmedinagaitan@gmail.com](mailto:dmedinagaitan@gmail.com). <sup>2</sup>Centro de Investigación en Acarología, Calle 152B # 55-45, Bogotá, Colombia, [odonata17@hotmail.com](mailto:odonata17@hotmail.com). <sup>3</sup>Unidad de Morfología y Función, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México, Tlalnepantla, Estado de México, Mexico, [rmunguia.steyer@gmail.com](mailto:rmunguia.steyer@gmail.com).

---

### Introducción

Los odonatos son organismos importantes en las cadenas tróficas, no solo por su capacidad de depredar otros organismos, sino porque son parte de la dieta de varios animales (Silsby 2001). Los odonatos están fuertemente asociados a los ecosistemas acuáticos, debido a que allí se alimentan, crían sus larvas y realizan actividades para la reproducción (Corbet 1999). Sin embargo, como en otros grupos de insectos, muchas poblaciones pueden verse afectadas por problemas de los ecosistemas como fragmentación, destrucción y contaminación (Palacino-Rodríguez *et al.* 2012). Un tema abordado con cierta frecuencia en estudios ecológicos, ha relacionado la capacidad bioindicadora de los odonatos (Sahlén y Ekestubbe 2001) con la posibilidad de conservar los ambientes (Garzón y Realpe 2009). No obstante, es más escasa la investigación en la otra dirección, en donde es necesario estudiar cómo las alteraciones en las condiciones ambientales, afectan la morfología, salud, comportamiento y dinámica de las poblaciones de odonatos que habitan en ellos. Estos trabajos han encontrado que los procesos antrópicos dentro de los ecosistemas acuáticos ayudan en la proliferación de parásitos de que afectan negativamente la morfología alar, supervivencia y reproducción en odonatos (Worthen y Hart 2016).

Los odonatos pueden ser parasitados simultáneamente por 400 ácaros o más (Worthen y Turner 2015), y un número considerable de gregarinas (Protozoa: Eugregarinidae) que afectan negativamente y en mayor medida a los machos, en términos de longevidad, fecundidad, inmunidad, capacidad de vuelo y búsqueda de pareja (Córdoba-Aguilar y Munguía 2013). La acción de estos parásitos causa daños en la salud de los individuos, expresados en degeneración tisular (Åbro 1982), reducción de la masa corporal (Smith 1988), disminución de supervivencia (Leung y Forbes 1997) y marcadas variaciones en la simetría del cuerpo (Bonn *et al.* 1996). Este último aspecto puede verse reflejado en que los individuos muestren asimetría fluctuante (AF), ocasionada por el efecto de la contaminación sobre las larvas (Jenssen *et al.* 2010). Es decir, el hecho de que los ambientes estén degradados influye de manera directa (sobre larvas) o indirecta (parásitos sobre adultos) en características de los odonatos (Jenssen *et al.* 2010). El presente trabajo exploró si el grado de contaminación se relaciona con daño intestinal, mayor parasitismo por ácaros (*Arrenurus* sp.), y si el parasitismo afecta diferencialmente la salud expresada en daños intestinales, variaciones de tamaño y forma, así como de cantidad de grasa y tejido muscular en poblaciones de *Mesamphiagrion laterale* (Selys, 1876) en ambientes con diferentes estados de contaminación.

## Materiales y métodos

**Especie y Área de estudio.** *Mesamphiagrion laterale* está asociado a hábitats entre 750 y 2850 msnm, en vegetación riparia o pastos cerca de pantanos, lagos o embalses, donde los individuos presentan coloración principalmente azul en S2-4 y los últimos segmentos abdominales (Bota-Sierra y Wolff 2013). El estudio se desarrolló con dos poblaciones de *M. laterale* de lagos ubicados en la vereda Salitre (4°49'27.76"N y 73°56'5.80"O, 2582 msnm; 4°50'9.80"N y 73°55'0.70"O, 2690 msnm) del municipio de Guasca, en un área dedicada a actividades comerciales como la pesca o el mantenimiento de ganado, así como cultivos de papa y pasto. Un total de 306 individuos fue depositado en tubos Eppendorf marcados con un código único, para hacer registro inequívoco de los datos. Para cada individuo se registró sexo, estado (juvenil o adulto) y número de ácaros o huellas de éstos cuando se desprendieron.

**Grado de contaminación.** De cada localidad, muestras de agua fueron analizadas usando la metodología usada por Ramírez *et al.* (1999), que usa Índices de Contaminación (ICO) basados en parámetros fisicoquímicos y biológicos. Los parámetros pH, Oxígeno Disuelto (OD), Conductividad, Resistividad, Sólidos Totales Disueltos (STD) y Salinidad fueron medidos *in-situ* con un multiparámetro HANNA® HI 9829. El índice de contaminación por trofia (ICOTRO) también fue obtenido. Los microbiológicos fueron analizados con la metodología usada por Carrillo y Lozano (2008).

**Categorización de daños intestinales.** El intestino fue extraído halando la cabeza de cada individuo. Los intestinos se depositaron en alcohol 90 % en tubos Eppendorf codificados. Los daños intestinales se describieron en términos de cambios porcentuales en color, textura del epitelio, reducción en túbulos de Malpighi y rupturas en el tejido.

**Cantidad de grasa y musculatura.** Las reservas de grasa fueron obtenidas a través de una modificación de la metodología de Swillen *et al.* (2009): i) Para evitar los sesgos producto de la humedad, tubos con el tórax de cada individuo fueron depositados a 60°C por 24 horas para secarlos. Posteriormente, cada tórax fue pesado en una balanza digital. Este procedimiento fue realizado dos veces más, disminuyendo la temperatura hasta 40°C y 32°C, hasta que los valores de peso no mostraron grandes variaciones, ii) cada tórax fue depositado en 1.5 ml de cloroformo por 24 horas. Este procedimiento extrajo la grasa almacenada. Cada tórax fue secado y pesado nuevamente y la grasa almacenada correspondió a la resta entre el peso producto del proceso inicial de secado y el peso posterior a la exposición del tórax al cloroformo. La obtención de la masa muscular se realizó por medio del protocolo propuesto por Marden (1989): i) El tórax de cada individuo fue pesado, ii) cada tórax fue depositado en ~1.5 ml de NaOH (0.35 M) por 24 h para descomponer el tejido muscular, iii) los tórax fueron secados por 24 horas a 30°C, iv) cada tórax fue nuevamente pesado. La diferencia del peso inicial y final, fue entendido como la cantidad de masa muscular extraída durante el proceso.

**Morfometría geométrica y asimetría fluctuante.** Las alas de cada individuo fueron cortadas y montadas en placas de acetato (6 cm x 3 cm). En cada placa, las alas fueron identificadas de acuerdo con las recomendaciones de Ramírez (2016). Las alas fueron depositadas sobre una tira de papel milimetrado con el código del individuo y luego aseguradas con cinta adhesiva transparente (Tesa®) (Ramírez 2016). Este procedimiento tuvo una submuestra de 185 individuos, debido a que los demás presentaban una o más alas rotas. Cada ala fue fotografiada a una misma distancia focal (7 cm). Archivos TPS fueron generados a partir de las fotografías con el programa tpsUtility (versión 1.70). En cada ala se ubicaron 19 «landmarks» que tuvieron como referencia, importantes zonas de la venación alar (Bookstein 1991). Las

alas fueron procesadas con el software tpsDig232 v2, para generar coordenadas cartesianas (<http://life.bio.sunysb.edu/morph>), la cuales fueron usadas para realizar una evaluación del error de medición.

**Análisis de datos.** Una vez obtenido un error de medición menor al 5 %, se realizó una regresión multivariada incluyendo la variación registrada para la conformación y la variación registrada para el tamaño de los especímenes. Esta información fue relacionada con datos de sexo y grado de contaminación de cada hábitat (Zelditch *et al.* 2004). Un Análisis Generalizado de Procrustes (AGP) fue realizado para remover el efecto de la variación de tamaño sin afectar la variación de la conformación, retirando a su vez, los efectos de la posición, orientación y escala. La alometría se detectó mediante análisis multivariados de regresión lineal simple. Por último, se realizó un análisis multivariado de covarianza (ANOVA) para ver la simetría (Klingenberg y McIntyre 1998). Los auto vectores (AV) resultantes ayudaron a identificar las coordenadas de los puntos que más influían en la variabilidad de cada componente principal. Para visualizar las áreas de mayor asimetría entre poblaciones, se usaron rejillas de deformación que ayudaron a detectar la magnitud de las diferencias en la forma de las alas (Zelditch *et al.* 2004).

## Resultados y discusión

Los puntos de muestreo reportaron negativo para coliformes totales y fecales (NMP=  $\leq 1.8/100\text{ml}$ ). El rango ICO para el lago asociado a cultivos fue más elevado que para el lago de pesca. Así mismo, el índice de contaminación indicó un nivel de eutrofización en el primero y una condición oligotrófica para el segundo. El porcentaje de individuos con mayor daño intestinal estuvo asociado al ambiente eutrofizado (Tabla 1).

**Tabla 1.** Categorización de daños intestinales ( %) en hábitat Eutrófico (E) y Oligotrófico (O). Los valores de E y O están dados en % de individuos.

%	Características	E %	O %
0	Intestino completo de color amarillo o beige.	21	35
		%	%
25	Intestino de color marrón, túbulos de Malpighi más cortos.	3 %	25
			%
35	Burbujas o espacios internos, grosor del Estomodeo se reduce.	24	10
		%	%
85	Intestino fragmentado e incoloro. Tejido débil, se rompe fácilmente. Túbulos de Malpighi no distinguibles.	5 %	18
			%
100	No se diferencian las regiones del intestino.	47	12
		%	%

Los datos para cada ala indicaron menos del 5 % de error de medición. El análisis de procrustes mostró diferencias significativas en el tamaño de las alas entre organismos juveniles y maduros  $\log(\text{size})$ , Tabla 2. Así mismo, se encontró que la forma de las alas cambia dependiendo del grado de contaminación del hábitat, y que la cantidad de ácaros asociada a odonatos es significativamente mayor en el hábitat eutrofizado (Tabla 2). Los análisis indicaron también que los valores de grasa y musculatura torácica son mayores en el hábitat oligotrófico ( $p < 0.001$ ).



Aspectos en la biología de las especies son afectados por el grado de contaminación que presente un ambiente (Pinto *et al.* 2012), y en el caso particular de odonatos, todos los estadios del desarrollo son influidos por las condiciones del ambiente (Corbet 1999). Una de las características que puede indicar directamente el estrés ambiental al que está sometido un individuo o una población es la Asimetría Fluctuante (AF, revisado por Møller 1997), la cual aumenta en ambientes más contaminados (Ho *et al.* 2009). Además de esta característica, la salud de un odonato puede ser medida en términos de las características morfológicas del intestino (un intestino bueno carece de gregarinas), y altos valores de grasa y musculatura torácica (Córdoba-Aguilar y Munguía-Steyer 2013). *Mesamphiagrion laterale* es una especie con poblaciones expuestas a diferentes grados de contaminación, la asimetría fluctuó más en la población asociada al ambiente eutrofizado, encontrando que el tamaño alar es mayor en el ambiente oligotrófico. El lago eutrofizado está expuesto a materia orgánica proveniente de desechos de animales como vacas y caballos. Adicionalmente, la fumigación de cultivos aporta otros elementos que al disolverse en el agua incrementan su ICO. Este grado de contaminación puede afectar negativamente la capacidad de las larvas para capturar presas, debido a que la turbidez del agua dificulta la ubicación de las mismas, un problema serio, si se tiene en cuenta que las libélulas dependen en gran medida de su capacidad visual para alimentarse (Corbet 1999). Así mismo, en este ambiente eutrofizado, la cantidad de oxígeno disuelto fue más baja, como consecuencia probablemente de que el 95 % del espejo de agua estaba cubierto por macrófitas (lo que a su vez puede alterar la temperatura del agua) y de que una buena cantidad de oxígeno podría estar reaccionado con elementos provenientes de la contaminación. Una condición ambiental extrema como la baja cantidad de oxígeno, presencia de sustancias tóxicas o variaciones marcadas en la temperatura, pueden conducir a variaciones en el tiempo normal de desarrollo larval (Corbet 1999), ocasionando tamaños reducidos como producto de una emergencia acelerada, en respuesta a estas condiciones adversas (Chang *et al.* 2007).

**Tabla 2.** ANOVA. Df: grados de libertad, SS: Suma de cuadrados, MS: Suma de cuadrados medios, F: Fisher, Pr(>F): Significancia efecto de grupo, log(size): variación en tamaño con la edad del individuo, lago: estado de contaminación.

	Df	SS	MS	Rsq	F	Z	Pr(>F)
log(size)	1	0.0254	0.02540	0.1818	36.58	19.36	0.001
lago	1	0.0042	0.00424	0.0303	6.10	4.87	0.001
lago: ácaros	1	0.0018	0.00179	0.0128	2.60	2.25	0.026
Residuals	157	0.1090	0.00069				
Total	160	0.1397					

De manera coherente con esta información, los resultados del presente estudio indicaron que los tamaños alares más grandes, menor asimetría y mayores valores de grasa y musculatura torácica están presentes en los organismos de ambientes menos contaminados. Los daños intestinales fueron mayores en individuos del ambiente más contaminado, estos daños, regularmente están asociados con la presencia de gregarinas que degradan el intestino y reducen la posibilidad del odonato para almacenar grasas, porque los problemas metabólicos generados por el daño intestinal, hacen que los organismos deban usar la grasa como fuente energética para ejecutar el vuelo (Schilder y Marden 2006). Adicionalmente, la acción de las gregarinas debilita el sistema inmune del odonato ayudando a que otros parásitos como los ácaros puedan atacar (Åbro 1990). Además de un mayor daño intestinal, *M. laterale* fue significativamente más parasitada por ácaros en el ambiente contaminado, lo que explica los valores



más bajos de grasa y masa muscular. La salud de estos odonatos en ambientes contaminados, dadas las anteriores circunstancias, puede verse afectada en términos de longevidad, éxito de apareamiento y capacidad de vuelo (revisado por Forbes y Robb 2008). Nuestra investigación muestra que un odonato expuesto a un ambiente contaminado presenta una mayor carga parasitaria y más daño intestinal. Así mismo, se encontró que en individuos bajo condiciones de mayor contaminación presentan una salud deteriorada que se refleja en valores más bajos de grasa, musculatura torácica, tamaño alar. Finalmente, la mayor asimetría encontrada en estos organismos, soporta la hipótesis que plantea la relación entre mayor asimetría en estrés ambiental.

## Referencias

- ÅBRO, A. 1982. The effects of parasitic water mite larvae (*Arrenurus* spp.) on zygopteran imagoes (Odonata). *Journal of Invertebrate Pathology* 39: 373-381.
- ÅBRO, A. 1990. The impact of parasites in adult populations of Zygoptera. *Odonatologica* 19: 223-233.
- BONN, A.; GASSE, M.; ROLFF, J.; MARTENS, A. 1996. Increased fluctuating asymmetry in the damselfly *Coenagrion puella* is correlated with ectoparasitic water mites: implications for fluctuating asymmetry theory. *Oecologia* 108: 596-598.
- BOTA-SIERRA, C.; WOLFF, M. 2013. Taxonomic revision of *Mesamphiagrion* Kennedy, 1920 from Colombia (Odonata: Coenagrionidae), with the description of four new species. *Zootaxa* 3718: 401-440.
- CARRILLO, E.; LOZANO, A. 2008. Validación del método de detección de coliformes totales y fecales en agua potable utilizando agar Chromocult. Pontificia Universidad Javeriana Facultad de Ciencias carrera de Microbiología Industrial Tesis. Bogotá D.C.
- CLAVIJO, C.; CÁZARES, M.E. 2016. Odonatos como bioindicadores de la calidad de agua en Surutato, Sinaloa.
- CORBET, P. S. 1999. Dragonflies: Behavior and Ecology of Odonata. Comstock Publishing Associates, Cornell University Press. Ithaca, NY.
- CÓRDOBA-AGUILAR, A.; MUNGUÍA-STEYER, R. 2013. The sicker sex: understanding male biases in parasitic infection, resource allocation and fitness. *PLoS One* 8: e76246.
- CHANG, X. L.; ZHAI, B. P.; LIU, X. D.; WANG, M. 2007. Effects of temperature stress and pesticide exposure on fluctuating asymmetry and mortality of *Coperia annulata* (selys) (Odonata: Zygoptera) larvae. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 67:120-127.
- FORBES, M. R.; ROBB, T. 2008. Testing hypotheses about parasite-mediated selection using odonate hosts. In: Córdoba-Aguilar, A. (ed.) Dragonflies and damselflies. Model organism for ecological and evolutionary research. Oxford University Press, Oxford, pp. 175-188.
- GARZÓN-SANABRIA, C.; REALPE, E. 2009. Diversidad de Odonata (Insecta) en la reserva natural Cabildo-Verde (Sabana de Torres-Santander, Colombia), una aproximación hacia la conservación. *Caldasia*, 31: 459-470.
- HO, G. W. C.; LEUNG, K. M. Y.; LAJUS, D. L.; NG, J. S. S.; CHAN, B. K. K. 2009. Fluctuating asymmetry of *Amphibalanus* (*Balanus*) *amphitrite* (Cirripedia: Thoracica) in association with shore height and metal pollution. *Hydrobiologia* 621: 21-32
- JENSSEN, B.; AARNES, J.; MURVOLL, K.; HERZKE, D.; NYGARD, T. 2010. Fluctuating wing asymmetry and hepatic concentrations of persistent organic pollutants are associated in European shag (*Phalacrocorax aristotelis*) chicks. *Science of the Total Environment* 408: 578-585.
- KLINGENBERG, C.; MCINTYRE, G. 1998. Geometric morphometrics of developmental instability: analyzing patterns of fluctuating asymmetry with Procrustes methods. *Evolution* 1363-1375.

- LEUNG, B.; FORBES, M. R. 1997. Fluctuating asymmetry in relation to indices of quality and fitness in the damselfly *Enallagma ebrium* (Hagen). *Oecologia* 110: 472-477.
- MARDEN, J. H. 1989. Bodybuilding dragonflies: costs and benefits of maximising flight muscle. *Physiological Zoology* 62: 505-521.
- MØLLER, A. P. 1997. Developmental stability and fitness: a review. *American Naturalist* 149: 916-932
- PALACINO-RODRÍGUEZ, F.; CONTRERAS, N. CÓRDOBA-AGUILAR, A. 2012. Population structure in dry and rainy seasons in *Erythrodiplax umbrata* (Linnaeus, 1758) (Odonata: Libellulidae). *Odonatologica* 41: 245-249.
- PINTO, N. S.; JUEN, L.; CABETTE, H. S. R.; MARCO, P. 2012. Fluctuating asymmetry and wing size of *Argia tinctipennis* Selys (Zygoptera: Coenagrionidae) in relation to riparian forest preservation status. *Neotropical Entomology* 41: 178-185.
- RAMÍREZ, B. sV. 2016. Procedimiento de preparación de imágenes para análisis de morfometría con alas de odonatos. Universidad Nacional Autónoma De México, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Carrera de Biología.
- SAHLÉN, G.; EKESTUBBE, K. 2001. Identification of dragonflies (Odonata) as indicators of general species richness in boreal forest lakes. *Biodiversity and Conservation* 10: 673-690.
- SCHILDER, R. J.; MARDEN, J. H. 2006. Metabolic syndrome and obesity in an insect. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 103: 18805-18809. doi: 10.1073/pnas.0603156103.
- SILSBY, J. 2001. *Dragonflies of the world*. Smithsonian Institution Press. Washington, D. C. 216pp.
- SWILLEN, I.; DE BLOCK, M.; STOKS, R. 2009. Morphological and physiological sexual selection targets in a territorial damselfly. *Ecological Entomology* 34: a677-683.
- SMITH, B. P. 1988. Host–parasite interaction and impact of larval water mites on insects. *Annual Review of Entomology* 33: 487-507.
- WORTHEN, W. B.; HART, T. M. 2016. Resistance to *Arrenurus* spp. parasitism in Odonates: Patterns across species and comparisons between a resistant and susceptible host. *Journal of Insect Science* 16: 37. doi:10.1093/jisesa/iew022.
- WORTHEN, W. B.; TURNER, L. H. 2015. The effects of odonate species abundance and diversity on parasitism by water mites (*Arrenurus* spp.): testing the dilution effect. *International Journal of Odonatology* 18: 233-248.
- ZELDITCH, M. L.; LUNDRIGAN, B. L.; GARLAND, T. 2004. Developmental regulation of skull morphology. I. Ontogenetic dynamics of variance. *Evolution & Development* 6: 194-206.

## **Simposio 11.**

# **Experiencias con entomopatógenos como alternativa en Manejo Integrado de Plagas**

---

**Coordinación: Adriana Sáenz Aponte**  
Pontificia Universidad Javeriana

### **Participantes:**

Julián David Salazar Gutiérrez y Adriana Sáenz Aponte  
<sup>1</sup>laboratorio de Control biológico. Universidad Javeriana.

María Ximena Rodríguez  
Unidad de Investigaciones Agropecuarias UNIDIA.  
Departamento de Microbiología. Pontificia Universidad Javeriana.

Alex Enrique Bustillo Pardey Carlos Enrique Barrios Trilleras y Luis Guillermo Montes Bazurto  
Programa de Plagas y Enfermedades, Cenipalma

Dario León  
Natural control

## Simposio

# Experiencias con entomopatógenos como alternativa en Manejo integrado de Plagas

Coordinadora: Adriana Sáenz Aponte<sup>1</sup>

Laboratorio de Control biológico. Biología de Plantas y sistemas productivos. Departamento de Biología. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, D.C. [adriana.saenz@javeriana.edu.co](mailto:adriana.saenz@javeriana.edu.co)

---

## Introducción

Desde que se abordó el posible futuro de los microorganismos en el manejo de insectos, el desarrollo de plaguicidas microbianos e implementación del control microbiano ha incluido una serie de éxitos y algunos contratiempos. Los entomopatógenos se usan en tres categorías de control biológico: clásico, conservación y aumentativo. Algunos patógenos que no se producen comercialmente se utilizan actualmente como agentes clásicos de control biológico o conservados naturalmente como patógenos presentes en los agroecosistemas. El control biológico aumentativo, realizando aplicaciones inundativas de agentes microbianos, es la estrategia más común para emplear entomopatógenos para el control de los artrópodos plaga. Más de 50 virus, bacterias, hongos y nematodos entomopatógenos son producidos comercialmente y utilizados aumentativamente como plaguicidas microbianos. A escala mundial, los plaguicidas microbianos representan sólo el 1-2 % aproximadamente de todos los plaguicidas; sin embargo, han mostrado un crecimiento a largo plazo durante la última década en contraste a los plaguicidas químicos, que han disminuido sistemáticamente en el mercado.

Los entomopatógenos cada vez son vinculados en programas de manejo integrado de plagas y agricultura sostenible, por ser seguros para los aplicadores, alimentos, medio ambiente y su especificidad minimiza los impactos sobre benéficos y otros organismos no blancos en los agroecosistemas. Esto a su vez promueve la biodiversidad y el control natural de artrópodos plaga por parásitos y depredadores. Es por ello, que con el desarrollo del simposio “Experiencias con entomopatógenos como alternativa en Manejo integrado de Plagas” busca analizar ¿Cuáles son los principales avances en el uso de entomopatógenos que se han hecho en Colombia?, ¿Cómo esperamos que el control biológico cambie en la próxima década o en un futuro más lejano?, ¿Cuáles son las principales barreras de investigación o implementación que se han superado para ampliar significativamente el uso de entomopatógenos en Colombia? y ¿Los factores sociales pueden obstaculizar o promover su uso en un futuro cercano y lejano en Colombia?. Por ello, con el desarrollo de las conferencias: uso de bacterias simbiotes como entomopatógenos, control biológico de *Leptopharsa gibbicularina* y *Demotispia neivai*, plagas de la palma de aceite en Colombia, combinación de hongos y nematodos entomopatógenos: uso alternativo de entomopatógenos y evaluación del producto vercani en el control de ninfas de mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*) en el cultivo de rosas, se espera tener un acercamiento a los entomopatógenos como alternativa de MIP.

## Perspectivas de *Photorhabdus* spp. (Enterobacteriales: Enterobacteriaceae) como bacteria entomopatógena

Prospect of *Photorhabdus* spp. (Enterobacteriales: Enterobacteriaceae) as entomopathogenic bacteria.

Julián David Salazar Gutiérrez<sup>1</sup>, Adriana Sáenz Aponte<sup>1</sup> y María Ximena Rodríguez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Control biológico. Biología de Plantas y sistemas productivos. Departamento de Biología. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, D.C. [adriana.saenz@javeriana.edu.co](mailto:adriana.saenz@javeriana.edu.co)

<sup>2</sup>Unidad de Investigaciones Agropecuarias UNIDIA. Departamento de Microbiología. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, D.C.

---

**Resumen.** Dentro de los agentes de control biológico se encuentran los nematodos entomopatógenos (NEPs) del género *Heterorhabditis*, que están mutualísticamente asociados con las enterobacterias *Photorhabdus* spp. En esta relación simbiótica ambos organismos tienen papeles importantes en el control de insectos plaga, destacándose el papel de la bacteria por ser quien ocasiona la muerte a su hospedero entre las 48 y 72 horas posteriores a su ingreso al hemocele. Amplios estudios han demostrado el potencial de la bacteria como promisorio agente entomopatógeno, reconociéndose la amplia gama de factores patogénicos y su elevada eficiencia frente a insectos de interés económico para la región. Sin embargo, aún falta trascender de estudios *in vitro* a investigaciones en campo, que permitan comprender la interacción entre la bacteria y las dinámicas ecológicas bajo las que se desarrollan los insectos plaga, al igual que avanzar en formulaciones comerciales con pruebas de inocuidad en insectos no blanco que garanticen la seguridad pública y del ambiente. Aunque es un organismo con muy poco tiempo de trabajo investigativo, su elevado potencial obliga a ahondar en su estudio con perspectivas hacia un futuro prometedor.

**Palabras clave.** Nematodos entomopatógenos. Patogenicidad.

**Abstract.** The entomopathogenic nematodes (NEPs) of the genus *Heterorhabditis*, are mutualistically associated with the enterobacteria *Photorhabdus* spp. In this symbiotic relationship, both organisms play important roles in the control of insect pests, highlighting the role of the bacterium because it causes death to its host between 48 and 72 hours after its entry into the hemocele. Extensive studies have demonstrated the potential of the bacterium as a promising entomopathogenic agent, recognizing the wide range of pathogenic factors and its high efficiency against insects of economic interest for the region. However, there is still a need to go beyond *in vitro* studies to field research to understand the interaction between the bacteria and the ecological dynamics under which insect pests develop, as well as to advance commercial formulations with non-insect safety tests protection of public safety and the environment. Although it is an organism with very little investigative work time, its high potential forces it to deepen its study with perspectives towards a promising future.

**Key words.** Entomopathogenic nematode. Pathogenicity.

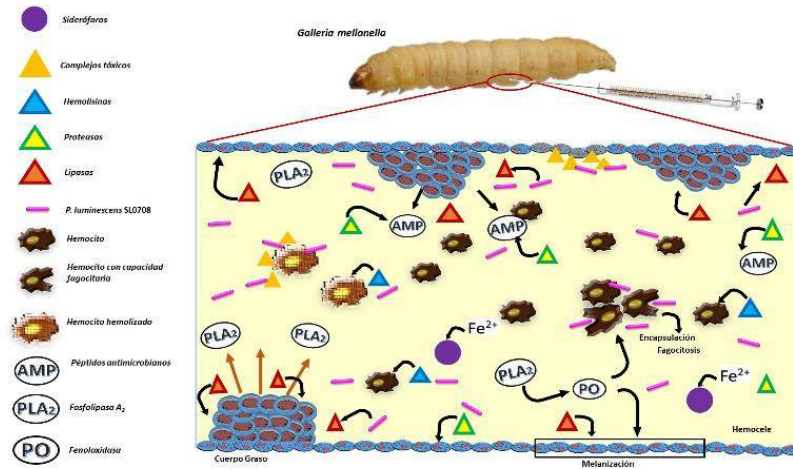
## Introducción

En la relación nematodo entomopatógeno (NEP) del género *Heterorhabditis* y las enterobacterias del género *Photorhabdus* spp.; se establece una asociación mutualística, en la cual la bacteria sirve como soporte nutricional al nematodo y a su vez éste transporta a la bacteria hasta el hemocele del hospedero, donde logra causarle la muerte. La bacteria habitualmente se encuentra en el lumen del intestino del estado de vida libre del nematodo llamado juvenil infectivo (JI), en donde debe realizar ajustes metabólicos que le permiten reducir la velocidad de crecimiento y lograr mantenerse (Ruisheng & Grewal 2010). Posteriormente, el nematodo ingresa al insecto hospedero a través de los espiráculos, boca, ano o espacios intersegmentales hasta llegar al hemocele. Una vez allí ubicados, los JI's regurgitan o defecan sus bacterias simbiotas, las cuales se multiplican rápidamente, causan septicemia y posteriormente la muerte a su hospedero (Ffrench-Constant *et al.* 2003; Adams *et al.* 2006).

**Capacidad patogénica.** *Photorhabdus* spp. tiene la capacidad de cambiar de un estado mutualístico a un estado patogénico; este hecho lo convierte en un interesante modelo bacteriano, pues contiene genes no solo capaces de promover simbiosis con el nematodo, sino también modular los cambios genéticos necesarios para ocasionar efectos patogénicos en el insecto hospedero (Ffrench-Constant *et al.* 2003). Esta variación genética se produce cuando el nematodo ingresa al hospedero y en el hemocele libera su endosimbionte bacteriano, allí el cambio a un estado patogénico también le permite a la bacteria iniciar con la síntesis de diversos factores que contribuyen con la evasión a la respuesta inmune del insecto y a su vez ocasionar citotoxicidad para llevarlo a la muerte (Owama 2001). Algunos de estos factores corresponden a complejos tóxicos como Tc's, Pir AB, *Mcf1* y *Mcf2* (Makes Caterpillars Floppy), cassettes de virulencia (PVCs) y enzimas líticas tipo proteasas y lipasas, hemolisinas, sideróforos, ureasas, entre otros (Ffrench-Constant *et al.* 2003; Cabral *et al.* 2004).

Los factores de virulencia como proteasas le permiten degradar los péptidos antimicrobianos sintetizados por el insecto (Valens *et al.* 2002); las lipasas le ayudan a la degradación del cuerpo graso como principal productor de proteínas de reconocimiento de patrones moleculares asociados a patógenos (PAMPs) (Nation 2008). Toxinas como *Mcf1-2* contribuyen con la apoptosis celular y pérdida de turgencia de las células epiteliales (Waterfield *et al.* 2009), y los demás complejos tóxicos se relacionan con la evasión de la respuesta celular o humoral del insecto. Debido a la apoptosis celular ocasionada por los complejos tóxicos, la larva durante el proceso experimenta pérdida de movimiento, inhibición de la alimentación y diarrea, flacidez en los cadáveres y una coloración rojiza típica como producto de antraquinonas y estilbenos producidos por la bacteria, además de luminiscencia entre las 48 y 72 horas posterior a la infección.

**Modelo de patogenicidad.** A través de un modelo propuesto, se explican en parte las características patogénicas de *P. luminescens* SLO708. En el esquema se propone el posible rol que cumplen durante el proceso patogénico tanto las enzimas líticas como sus principales productos de toxicidad. Se identifica el papel de las lipasas, que actúan sobre el cuerpo graso, las proteasas evadiendo la respuesta inmune del insecto, las hemolisinas participando en procesos de lisis celular, los sideróforos con funciones quelantes sobre el hierro disponible, y los complejos tóxicos con funciones citolíticas. Adicionalmente, se esquematizan los dos principales tipos de respuesta inmune del insecto, celular y humoral, determinadas por péptidos antimicrobianos, fosfolipasas, cascada de fenoloxidasas y procesos de melanización (Figura 1).



**Figura 1.** Modelo propuesto de la patogenicidad de *Photorhabdus luminescens* SL0708. La respuesta inmune del insecto incluye la producción de péptidos antimicrobianos (AMP), fosfolipasas A<sub>2</sub> (PLA<sub>2</sub>), fenoloxidasa (PO), procesos de melanización, encapsulación y fagocitosis por parte de los hemocitos; *Photorhabdus luminescens* SL0708 tiene la capacidad de evadirlos a través de la producción de proteasas, lipasas, complejos tóxicos, hemolisinas y sideróforos como moléculas quelantes del hierro disponible en el hemocele del insecto.

**Estudios aplicados con *Photorhabdus* spp.** Además de los estudios sobre la biología de *Photorhabdus* spp. (Turlin *et al.* 2006; Ffrench-Constant *et al.* 2007, 2010; Ruisheng & Grewal 2010); en los últimos años también se han desarrollado trabajos experimentales dirigidos a establecer su eficiencia sobre diversas plagas de interés económico. Mohan *et al.* (2003), aplicaron *P. luminescens* de manera foliar en hojas de Col, mostrando una toxicidad directa sobre larvas de *Pieris brassicae*. Rajagopal *et al.* (2006), encapsularon en alginato de sodio  $2,5 \times 10^7$  cel/capsula de *P. luminescens*. Posteriormente las mezclaron con suelo estéril y expusieron larvas de *Spodoptera frugiperda*, obteniendo 100 % de mortalidad 48h después. Uma *et al.* (2010), utilizaron células y sobrenadante libre de células de *P. luminescens* sobre hojas de girasol para evaluar su eficiencia sobre *Thrips palmi* Karny, encontrando en ambos tratamientos mortalidad superior al 70 %.

Por otra parte, la eficiencia de *Photorhabdus* spp también ha sido comprobada en sinergia con otros organismos. Por ejemplo, Benfarhat-Touzri *et al.* (2014) combinaron *Bacillus thuringiensis* kurstaki con *P. luminescens* aplicándolos sobre la dieta artificial de *S. frugiperda*, observando un efecto sinérgico sobre la mortalidad causada. Ibarra *et al.* (2013) también encuentra un efecto sinérgico entre *Bacillus thuringiensis* Berliner con *P. luminescens* al evaluar esta combinación en larvas de *Galleria mellonella*. Adicionalmente, debe considerarse la elevada actividad insecticida y antibiótica procedente de la biosíntesis de metabolitos secundarios en *Photorhabdus* spp (Li *et al.* 1995; Guo *et al.* 1999; Waterfield *et al.* 2008; Bode 2009; Ffrench-Constant *et al.* 2010; Vizcaino *et al.* 2014).



## Conclusiones y perspectivas de trabajo

Entre la gama de bacterias entomopatógenas, son pocas las que representan tan alto potencial como lo es *Photorhabdus* spp.; algo que ha sido ratificado a través de diversos estudios resaltando su relevante actividad entomopatogénica. A pesar de esto, aún hacen falta estudios desde su Biología básica, que permitan comprender el papel de sus productos génicos de manera individual y combinada en insectos de importancia económica para la región. Igualmente, es fundamental trascender desde los estudios *in vitro* a trabajos aplicados en campo que permitan comprender la interacción entre la bacteria y las dinámicas ecológicas bajo las que se desarrollan los insectos plaga. Considerando, además, pruebas de inocuidad y toxicidad sobre organismos no blanco y en los cultivos de aplicación, con el fin de llegar a formulaciones comerciales que garanticen la seguridad pública y del ambiente.

## Referencias

- ADAMS, B.; FODO, A.; KOPPENHÖFER, H.; STACKEBRANDT, E.; STOCK, P.; & KLEIN, M. 2006. Biodiversity and systematics of nematode–bacterium entomopathogens. *Biological Control*, (37), 32 - 49.
- BENFARHAT-TOUZRI, D. 2014. Combinatorial effect of *Bacillus thuringiensis* kurstaki and *Photorhabdus luminescens* against *Spodoptera littoralis* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Basic Microbiology*, 54, 1160-1165.
- BODE, H. 2009. Entomopathogenic bacteria as a source of secondary metabolites. *Current Opinion in Chemical Biology*, 13, 224 – 230.
- CABRAL, C.; CHERQUI, A.; PEREIRA, A.; & SIMOES, N. 2004. Purification and characterization of two distinct metalloproteases secreted by the entomopathogenic bacterium *Photorhabdus* sp. strain Az29. *Applied and environmental microbiology*, 70 (7), 3831 - 3838.
- FFRENCH-CONSTANT, R.; DOWLING, A.; WATERFIELD, N. 2007. Insecticidal toxins from *Photorhabdus* bacteria and their potential use in agriculture. *Tóxico*, 49, 436 -451.
- FFRENCH-CONSTANT, R.; WATERFIELD, N.; DOWLING, A. *et al.* 2003. *Photorhabdus*: towards a functional genomic analysis of a symbiont and pathogen. *FEMS Microbiology Reviews*, 26, 433 - 456.
- FFRENCH-CONSTANT, R.; ELEFTHERIANOS, I.; CLARKE, D.; J, D.; REYNOLDS, S. 2010. Dissecting the immune response to the entomopathogen *Photorhabdus*. *Celpress*, 18 (12), 552 - 560.
- GUO, L. 1999. *Photorhabdus luminescens* W-14 Insecticidal Activity Consists of at Least Two Similar but Distinct Proteins. *The Journal of Biological Chemistry*, 274 (14), 9836 – 9842.
- IBARRA, J.; CHAVEZ, L.; & LUÉVANO, J. 2013. Efecto sinérgico y septicémico entre *Bacillus thuringiensis* Berliner (Bacillales: Bacillaceae) y *Photorhabdus luminescens* (Thomas et Poinar) (Enterobacteriales: Enterobacteriaceae) en larvas de *Galleria mellonella* (Lepidoptera: Pyralidae). *Vedalia*, 14 (1), 17 - 23.
- LI, J.; CHEN, G.; WU, H.; WEBSTER, J. 1995. Identification of two pigments and a hydroxystilbene antibiotic from *Photorhabdus luminescens*. *Applied and Environmental Microbiology*, 61 (12), 4329 - 4333.
- MOHAN, S.; RAMAN, R.; GAUR, H. 2003. Foliar application of *Photorhabdus luminescens*, symbiotic bacteria from entomopathogenic nematode *Heterorhabditis indica*, to kill cabbage butterfly *Pieris brassicae*. *Current Science*, 84 (11), 1397.
- NATION, J. 2008. *Insect Physiology and Biochemistry*. Florida: Taylor and Francis Group.
- OWUAMA. 2001. Entomopathogenic symbiotic bacteria, *Xenorhabdus* and *Photorhabdus* of nematodes. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 17, 505 – 515.

- RAJAGOPAL, R.; MOHAN, S.; BHATNAGAR, R. 2006. Direct infection of *Spodoptera litura* by *Photorhabdus luminescens* encapsulated in alginate beads. *Journal of Invertebrate Pathology*, 93, 50 – 53.
- RUI SHENG, A.; GREWAL, P. 2010. Molecular mechanisms of persistence of mutualistic bacteria *Photorhabdus* in the entomopathogenic nematode host. *Plosone*, 5, 1 - 8.
- TURLIN, E.; PASCAL, G.; ROUSSELLE, J.; LENORMAND, P.; NGO, S.; DANCHIN, A.; DERZELLE, S. 2006. Proteome analysis of the phenotypic variation process in *Photorhabdus luminescens*. *Proteomics*, 6, 2705 - 2725.
- UMA, G.; PRABHURAJ, A.; VIMALA. 2010. Bioefficacy of *Photorhabdus luminescens*, a symbiotic bacterium against Thrips palmi Karny (Thripidae: Thysanoptera). *Journal of Biopesticides*, 3 (2), 458 – 462.
- VALENS, M.; BROUTELLA, A.; LEFEBFRE, M.; BLIGHT, M. 2002. A zinc metalloprotease inhibitor, inh, from the insect pathogen *Photorhabdus luminescens*. *Microbiology*, 148, 2427 - 2437.
- VIZCAINO, M.; GUO, X.; CRAWFORD, J. 2014. Merging chemical ecology with bacterial genome mining for secondary metabolite discovery. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 41, 285 - 299.
- WATERFIELD, N.; SANCHEZ, M.; ELEFThERIANOS, I.; & DOWLING, A. 2008. Rapid Virulence Annotation (RVA): Identification of virulence factors using a bacterial genome library and multiple invertebrate hosts. *PNAS*, 105(41), 15967 - 15972.
- WATERFIELD, N.; CICHE, T.; CLARKE, D. 2009. *Photorhabdus* and a host of hosts. *The Annual Review of Microbiology*, 63, 557 - 574.

## Control biológico de *Leptopharsa gibbicularina* plaga de la palma de aceite en Colombia

Biological control of *Leptopharsa gibbicularina*, oil palm pest in Colombia

Alex Enrique Bustillo Pardey<sup>1</sup>, Carlos Enrique Barrios Trilleras<sup>2</sup> y Luis Guillermo Montes Bazurto<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Coordinador, Programa de Plagas y Enfermedades, Cenipalma, [abustillo@cenipalma.org](mailto:abustillo@cenipalma.org);

<sup>2</sup>Asistente de Investigación, Programa de Plagas y Enfermedades - Área Entomología, Cenipalma, [cbarrios@cenipalma.org](mailto:cbarrios@cenipalma.org); <sup>3</sup>Auxiliar de Investigación I, Programa de Plagas y Enfermedades, Cenipalma, [lmontes@cenipalma.org](mailto:lmontes@cenipalma.org).

---

**Resumen.** *Leptopharsa gibbicularina* es una plaga importante de la palma de aceite. Con el fin de buscar una alternativa biológica para el control de estas dos especies, se evaluaron bajo condiciones de laboratorio, invernáculos y plantaciones, cepas de hongos entomopatógenos provenientes del Banco de Entomopatógenos de Cenipalma, para establecer su eficacia contra éstas plagas. Los resultados mostraron que para el control de *L. gibbicularina* la cepa CPPI0601 de *Purpureocillium lilacinum* fue la más eficaz. Ambos hongos se producen comercialmente y se recomiendan en dosis de  $1 \times 10^{13}$  conidias/ha para el control de *L. gibbicularina*.

**Palabras clave.** *Purpureocillium lilacinum*. *Metarhizium anisopliae*. *Elaeis guineensis*.

**Abstract.** *Leptopharsa gibbicularina* are two important pests of oil palm plantations. In order to find a biological control of these pests with entomopathogenic fungi, several species, coming from the Entomopathogen Bank of Cenipalma, were tested under laboratory, green house and commercial plantation conditions for their efficacy. Results showed that an efficient control of *L. gibbicularina* was achieved with strain CPPI0601 of *Purpureocillium lilacinum*. Both fungi are produced commercially and are recommended at dosage of  $1 \times 10^{13}$  conidia/ha, to control *L. gibbicularina*.

**Key words.** *Purpureocillium lilacinum*. *Metarhizium anisopliae*. *Elaeis guineensis*.

### Introducción

Las áreas sembradas con palma de aceite en Colombia se han venido incrementando rápidamente en los últimos años. Actualmente existen cerca de 470.000 ha plantadas en las cuatro diferentes regiones del país. En estas áreas los problemas de insectos plagas son diferentes y afectan la palma en diferentes formas. Entre las plagas de importancia económica que se están estudiando para su control con hongos entomopatógenos están *Leptopharsa gibbicularina* Froeschner (Hemiptera: Tingidae), y *Demotispa neivai* (Bondar) (Coleoptera: Chrysomelidae), insectos de importancia económica en plantaciones de palma de aceite en las zonas palmeras, Central y Norte de Colombia.

La importancia de la chinche de encaje, *L. gibbicularina*, radica en su relación con el añublo foliar o “pestalotiopsis” que genera defoliación en el cultivo (Labarca *et al.* 2006). Para el control de sus poblaciones en campo, se realizan aplicaciones de insecticidas por inyección al estipe o por absorción radicular. El uso continuo de insecticidas ha generado resistencia del insecto a estos productos (Méndez 2000). El raspador de frutos de la palma de aceite, *D. neivai*, causa pérdidas de aceite debido a la lesión

que produce en la epidermis al alimentarse de los frutos de la palma (Genty y Mariau 1973; Aldana *et al.* 2003). Además, ésta lesión produce un secamiento de apariencia corchosa que dificulta determinar el grado de madurez del racimo, causando pérdidas de hasta el 8 % al no cortar los racimos en el momento óptimo de cosecha (Valencia *et al.* 2007, Aldana *et al.* 2010). *D. neivai* es afectado por diferentes enemigos naturales especialmente los hongos entomopatógenos, que pueden ser una alternativa para mantener reguladas sus poblaciones (Aldana *et al.* 2004; Bustillo 2014).

En este documento se presentan resultados de investigaciones realizadas por el Programa de Plagas y Enfermedades de Cenipalma, relacionando los diferentes pasos de la experimentación para, dentro de la colección de hongos entomopatógenos de Cenipalma, seleccionar una cepa de un hongo eficaz en el control de *L. gibbicularina* y *D. neivai* en plantaciones comerciales de palma de aceite.

### **Investigaciones con *Leptopharsa gibbicularina***

La investigación con *L. gibbicularina*, se llevó a cabo en predios de la plantación Palmeras de la Costa S.A.; en el municipio de El Copey (Cesar). Veintisiete palmas de aceite de 18 meses de edad, se ubicaron dentro de un umbráculo. De cada palma se seleccionó una hoja, esta se infestó con 80 ninfas de *L. gibbicularina* y se cubrió con una manga entomológica para evitar su escape y lograr su desarrollo hasta el estado adulto. La colonia de *L. gibbicularina* se mantuvo bajo condiciones de umbráculo durante 10 generaciones logrando los especímenes necesarios para la investigación.

**Bioensayos de patogenicidad.** La patogenicidad de las cepas *Isaria fumosorosea* (CPIf1001), *Purpureocillium lilacinum* (CPPI0601) y *Beauveria bassiana* (CPBb0404) se determinó bajo condiciones de laboratorio. Las unidades de observación estaban constituidas por una caja Petri que contenía 20 ml del medio agar agua y un trozo de foliolo de palma de aceite adulta, cuyos bordes se sumergieron en el agar. Sobre el foliolo se colocó un adulto de *L. gibbicularina* de 5 a 10 días de edad, provenientes de la cría previamente establecida bajo umbráculo. El inóculo de los hongos en estudio se aplicó con un aspersor manual calibrado para asperjar 0,2 ml de cada hongo a una concentración de  $1 \times 10^7$  conidias/ml. La unidad experimental se conformó con 10 unidades de observación y el experimento se organizó bajo un diseño completamente aleatorio con siete repeticiones.

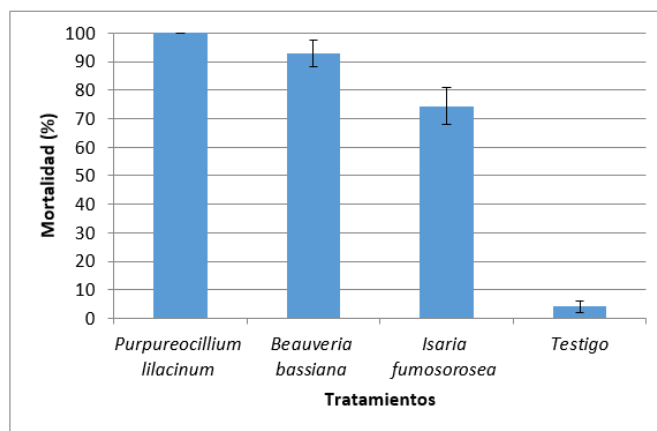
De los hongos entomopatógenos existentes en la Colección de Cenipalma se, seleccionaron por patogenicidad a adultos de *L. gibbicularina*, cepas de *I. fumosorosea* (CPIf1001), *P. lilacinum* (CPPI0601) y *B. bassiana* (CPBb0404), las cuales causaron mortalidades superiores al 90 %. Los adultos infectados muestran el crecimiento característico del hongo sobre su cuerpo (Figura 1).

**Bioensayos de virulencia.** La virulencia de los hongos patogénicos a adultos de la chinche de encaje, se realizó con las tres cepas seleccionadas por patogenicidad (*I. fumosorosea*, *P. lilacinum* y *B. bassiana*), utilizando palmas de aceite de 2 años de edad bajo condiciones de un umbráculo. Se aplicó una dosis equivalente de  $1 \times 10^{13}$  conidias/ha. El experimento se organizó bajo un diseño de bloques completos aleatorios con siete repeticiones y la unidad experimental se conformó con 10 unidades de observación, cada una de estas era un tubo de acetato de 43 cm de longitud y 5 cm de diámetro, con un foliolo de palma de aceite y 5 adultos de *L. gibbicularina*. La mortalidad se registró diariamente a partir del cuarto día de la aplicación de los tratamientos.



**Figura 1.** Adulto de *Leptopharsa gibbicularina* infectado por *Purpureocillium lilacinum*, en una hoja de palma de palma de aceite. (Foto: C. Barrios).

La mayor mortalidad por virulencia de adultos de *L. gibbicularina*, la causaron *P. lilacinum* (100 %) y *B. bassiana* (92,9 %), que fueron estadísticamente diferentes ( $P = 0,05$ ) de *I. fumosorosea* (74,4 %) (Figura 2). Sin embargo, todas las cepas se seleccionaron para un nuevo experimento para determinar las dosis más eficaces.

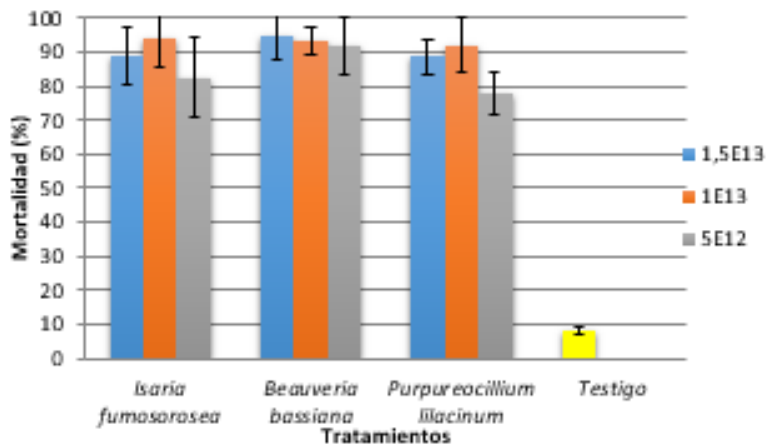


**Figura 2.** Porcentaje de mortalidad de *Leptopharsa gibbicularina* 10 días después de aplicados los tratamientos usando una dosis de  $1 \times 10^{13}$  conidias/ha. (27,8°C, HR 84,7 %, precipitación 9,7 mm).

**Evaluación de eficacia con diferentes dosis.** Para determinar la mejor dosis a usar con los hongos seleccionados en el anterior experimento, se organizó un experimento bajo condiciones de umbráculo, bajo un diseño de bloques completos aleatorios con cinco repeticiones. Se evaluaron tres dosis equivalentes a  $5 \times 10^{12}$ ;  $1,0 \times 10^{13}$ ;  $1,5 \times 10^{13}$  conidias/ha. La unidad experimental fue una hoja de palma cubierta con una manga entomológica y 50 adultos de *L. gibbicularina*. La aplicación de los hongos se realizó con una aspersora de 1,5 litros. Se hicieron observaciones diarias registrando la mortalidad de los adultos de *L. gibbicularina*.

Se encontró que la mortalidad causada por los hongos *P. lilacinum*, *B. bassiana* e *I. fumosorosea* fue superior a 90 % utilizando una dosis de  $1 \times 10^{13}$  conidias/ha (Figura 3), no se encontraron diferencias

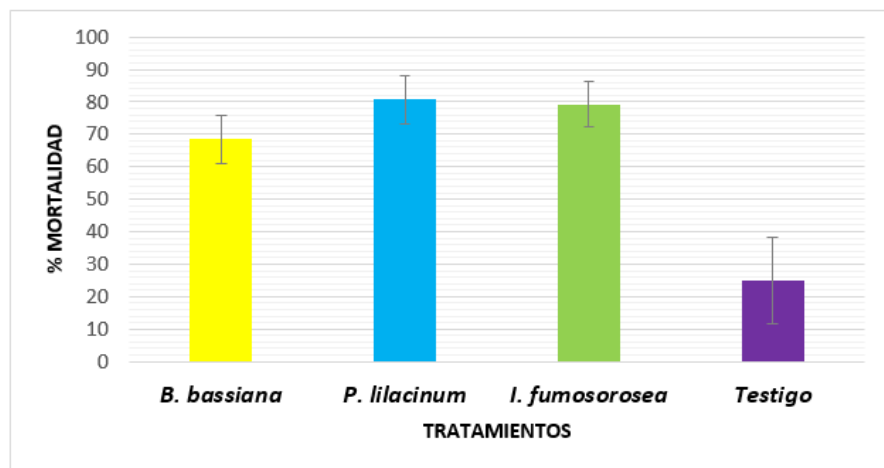
estadísticas significativas entre dosis y los hongos evaluados, pero si se encontraron diferencias significativas entre la mortalidad causada por los hongos y el testigo.



**Figura 3.** Mortalidad de *Leptopharsa gibbicarina* causada por hongos entomopatógenos aplicados en diferentes dosis ( $27,3 \pm 5,7^{\circ}\text{C}$ ;  $84,5 \pm 8,8$  % HR).

**Evaluación de los hongos en una plantación comercial.** Se evaluó el efecto de los hongos entomopatógenos seleccionados en el experimento anterior, *I. fumosorosea* (CPIf1001), *P. lilacinum* (CPPI0601) y *B. bassiana* (CPBb0404), sobre poblaciones de *L. gibbicarina* en un lote de palma de aceite de la plantación Palmeras de Costa S. A. Las palmas del lote se geo - referenciaron y se muestreó el 20 % de las palmas del lote, registrando el número de adultos de *L. gibbicarina* presentes en la hoja 25. Se usó el programa Mapsource 6.0 para crear un mapa del lote y Surfer 6.0 para visualizar los focos a través de los datos obtenidos en el muestreo. El experimento se estableció bajo un diseño de bloques completos aleatorios con cinco repeticiones, los bloques se localizaron en los focos de *L. gibbicarina* ubicados con ayuda de los mapas creados previamente. La unidad experimental fue una parcela de 20 palmas y la unidad de observación fue la hoja 25 de tres de las seis palmas centrales. Se aplicaron 2 litros/palma de una suspensión de conidias  $3,5 \times 10^7$  conidias/ml que equivalieron a una dosis de  $1 \times 10^{13}$  conidias/ha de 143 palmas. Los resultados indicaron que no se encontraron diferencias estadísticas significativas ( $P = 0,05$ ) entre ellos. (Figura 4). (Barrios *et al.* 2016).

Los resultados de este estudio permitieron seleccionar a *Purpureocillium lilacinum* (CPPI0601), en dosis de  $1 \times 10^{13}$  conidias/ha para el control de *L. gibbicarina*, debido a que mostró resultados con menos variación a través de todo el proceso de selección. Este hongo se puede utilizar aunado con prácticas agronómicas como son la fertilización balanceada de la palma (Motta *et al.* 2004), las podas de las hojas bajas y la proliferación de la hormiga *Crematogaster* (Guzmán *et al.* 1997) en las plantaciones infestadas con *L. gibbicarina*.



**Figura 4.** Mortalidad de *Leptopharsa gibbicularina* causada por los hongos usando una dosis de  $1 \times 10^{13}$  conidias/ha en un lote comercial de palma de aceite (29°C, 70 % HR, precipitación 120 mm).

## Conclusiones

Este estudio ha permitido ofrecer a los palmeros de Colombia, la cepa del hongo *Purpureocillium lilacinum* (CPPI0601) formulada para el control de *L. gibbicularina*.

## Referencias

- ALDANA, J.; CATAÑO, J.; CALVACHE, H. 2003. Avances en el conocimiento de la biología y del control de *Imatidium neivai* Bondar, raspador de los frutos de la Palma de Aceite. Ceniavances, Colombia, 107, 4p.
- ALDANA, J. A.; CALVACHE, H.; CATAÑO, J. E.; VALENCIA, C.; HERNÁNDEZ, J. 2004. Aspectos biológicos y alternativas de control de *Imatidium neivai* Bondar, raspador del fruto de la palma de aceite. Palmas 25 (N° especial tomo II): 240-248.
- ALDANA, R. C.; ALDANA, J. A.; CALVACHE, H.; FRANCO, P. N. 2010. Manual de plagas de la palma de aceite en Colombia. Cuarta edición. Convenio 0094 de 2009, Sena-Cenipalma, Bogotá, 198 p.
- BARRIOS, C. E.; BUSTILLO-PARDEY, A. E.; OCAMPO, K. L.; REINA, M. A.; ALVARADO, H. L. 2016. Eficacia de hongos entomopatógenos en el control de *Leptopharsa gibbicularina* (Hemiptera: Tingidae) en palma de aceite. Revista Colombiana de Entomología 42 (1): 22-27.
- BUSTILLO, A. E. 2014. Manejo de insectos plaga de la palma de aceite con énfasis en el control biológico y su relación con el cambio climático. Palmas 35 (4): 68- 79.
- GENTY, P.; MARIAN, D. 1973. Les ravageurs et maladies du palmier à huile et du cocotier. Le genre *Imatidium*. Oleagineux 28 (11): 513-515.
- GUZMÁN, L.; CALVACHE, H.; ALDANA, J.; MÉNDEZ, A. 1997. Manejo de *Leptopharsa gibbicularina* Froeschner (Hemiptera: Tingidae) con la hormiga *Crematogaster* sp.; en una plantación de palma de aceite. Palmas 18 (4): 19-26.
- LABARCA, M.; SANABRIA, N.; ARCIA, A. 2006. Patogenicidad de *Pestalotiopsis palmarum* Cooke, sobre plantas de vivero de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.). Revista Facultad de Agronomía (Venezuela), 23: 417-424.



- MÉNDEZ, A. 2000. Manejo integrado de la Pestalotiopsis en una plantación comercial de palma de aceite. Palmas (Colombia) 21 (Número especial – Tomo 1): 165–166.
- MONTES B.; L. G.; BARRAGAN F.; A.; BUSTILLO P.; A. E. 2017. Selección de cepas de hongos entomopatógenos para el control de *Demotisca neivai* Bondar (Coleoptera: Chrysomelidae). Manuscrito en prensa, 21 p.
- MOTTA, D.; ARIAS, N.; MUNEVAR, F.; ALDANA, J.; RAIRAN, N.; CÓRDOBA, H.; ESTEBAN, L.; CALVACHE, H. 2004. Relación entre la nutrición del cultivo y la incidencia de la pestalotiopsis de la palma de aceite en las Zonas Norte y Central de Colombia. Palmas 25 (2): 179-185.

## Combinación de hongos y nematodos entomopatógenos: uso alternativo de entomopatógenos

Adriana Sáenz Aponte<sup>1</sup>

Laboratorio de Control biológico. Biología de Plantas y sistemas productivos. Departamento de Biología. Pontificia Universidad Javeriana. *adriana.saenz@javeriana.edu.co*

---

**Resumen.** La aplicación individual de nematodos y hongos entomopatógenos no logra mortalidades significativas en el manejo de insectos plaga bajo condiciones de invernadero y campo, ya que los hongos no tienen un mecanismo de dispersión activo y los nematodos son susceptibles a la desecación, baja humedad relativa, altas temperaturas y efectos de los rayos ultravioleta, lo que lleva a buscar otras alternativas para aumentar el porcentaje de mortalidad, como lo es el uso combinado de controladores biológicos. La combinación de controladores puede generar interacciones sinérgicas o antagónicas que aumenten o disminuyan el porcentaje de mortalidad de la plaga, permitiendo efectos significativos en el manejo de los insectos bajo condiciones no controladas.

**Palabras clave.** *Beauveria bassiana*. *Metarhizium anisopliae*. *Steinernema* sp. *Heterorhabditis* sp.

**Abstract.** The individual application of entomopathogenic nematodes and fungi does not achieve significant mortalities in the management of insect pest under greenhouse and field conditions, since the fungi do not have an active dispersion mechanism and the nematodes are susceptible to the desiccation, low relative humidity, high Temperatures and effects of ultraviolet rays, which leads to find other alternatives to increase the percentage of mortality, as is the combined use of biological controllers. The combination of biological controllers can generate synergistic or antagonistic interactions that increase or decrease the pest mortality rate, allowing significant effects on insect management under uncontrolled conditions.

**Key words.** *Beauveria bassiana*. *Metarhizium anisopliae*. *Steinernema* sp. *Heterorhabditis* sp.

### Aspectos relevantes

La aplicación individual de nematodos y hongos entomopatógenos ha permitido porcentajes de mortalidad del 60 al 85 % en el control de plagas en invernadero y campo, sin embargo, es necesario incrementarlo. Ansari *et al.* (2004, 2008) mencionan que el uso de nematodos entomopatógenos especialmente en la parte aérea de las plantas se puede ver afectado por estrés abiótico como la desecación en las hojas por temperaturas extremas y baja humedad relativa y efectos letales de la luz ultravioleta, afectando la viabilidad, patogenicidad y capacidad de encontrar e infectar al insecto plaga en las hojas. Schroer *et al.* (2005) establece que el uso de los hongos entomopatógenos en la parte aérea de las plantas ha disminuido por la exigencia de altas tasas de inóculo para alcanzar un nivel satisfactorio de control en campo. Así mismo, demostraron que la aplicación individual de hongos presenta baja colonización en los hospederos por su dispersión pasiva. Estas pueden ser algunas de las razones del porque no se alcanzan porcentajes de mortalidad altos.

Una alternativa para que los porcentajes de mortalidad aumenten es utilizar a los nematodos y los hongos entomopatógenos en combinación, reemplazando o disminuyendo el uso de químicos de amplio espectro y controlando a la plaga con la posibilidad de reciclarse en campo. Este uso combinado de nematodos y hongos entomopatógenos ha sido implementado como una alternativa de manejo para el control de plagas (Acevedo *et al.* 2007, Ansari *et al.* 2008).

Ansari *et al.* (2010) establecieron que la interacción entre nematodos y hongos entomopatógenos puede generar una complementariedad entre ambos organismos, ya que el nematodo sirve de vector al hospedero para los conidios que se adhieren por polaridad a la cutícula de los JIs, potencializando la mortalidad de la plaga y aumentando la colonización de los hongos. Es por esto que el uso combinado podría permitir que los conidios estén un menor tiempo expuestos a la luz solar y a condiciones ambientales adversas, teniendo en cuenta la dispersión activa de los nematodos (Correa *et al.* 2014).

La disminución y control de plagas por el uso combinado puede deberse a interacciones sinérgicas, las cuales permiten que exista una complementariedad entre los agentes de control en campo y se generen infecciones duales, donde puede haber diferentes hipótesis. Una de estas es que los hongos al penetrar y colonizar a las larvas primero que los JIs funcionen como un factor de estrés para la infección por nematodos; ya que se ha comprobado que los hongos disminuyen la respuesta inmune del hospedero con estrategias defensivas e inmunosupresoras, como la producción de toxinas (dextruxinas) o cambios estructurales en su pared celular para no ser reconocidos por el sistema inmune (Roy y Pell 2000), donde cambian la conformación de su pared celular y se desarrollan como protoplastos evadiendo su reconocimiento por los hemocitos circulantes en el hemocele. Esta disminución en el sistema inmune puede ayudar a que cuando el JI ingrese a la larva y defeque/regurgite a su bacteria simbiote el sistema inmune no reconozca la infección por estar combatiendo a los hongos, generando rápidamente una septicemia junto con el hongo. Así mismo cuando la larva es infectada por los conidios, las larvas comienzan a perder movilidad y dispersión, como también la capacidad de alimentarse, presentando hinchazón y flacidez, por lo que los JIs pueden penetrar a las larvas más fácilmente.

Otra explicación del uso combinado sea más eficiente que las aplicaciones individuales de estos agentes de control, es que los conidios que no logran adherirse y colonizar al hospedero en los primeros dos o cuatro días, los JIs los pueden ayudar a ingresar al hospedero sirviendo de vector; ya que los conidios se pueden adherir por polaridad a la cutícula de los nematodos, aumentando la colonización y la mortalidad en la plaga. Ansari *et al.* (2006) mencionan que estas interacciones positivas se generan porque los ciclos de vida de hongos como de nematodos logran desarrollarse de forma óptima sin inhibirse por sus complejos enzimáticos y tóxicos, obteniendo una mortalidad conjunta donde se evidencia la sintomatología por JIs y por hongos. Además, que la septicemia lograda por ambos controladores es más fuerte y rápida que si fuera por alguno de los controladores individualmente.

La aplicación simultánea de *B. bassiana* y *Steinernema carpocapsae* o *Heterorhabditis bacteriophora* sobre *Galleria mellonella* incrementó el periodo letal de infección, donde el hongo compite con los nematodos por los recursos disponibles generando interacciones antagónicas Barbercheck & Kaya (1990); al igual que en el estudio de Tarasco *et al.* (2011) donde se evidenciaron antagonismos por la competencia de espacio y recurso en el hemocele del insecto plaga. Esta interacción negativa se debe a que el nematodo penetra más rápidamente el hospedero por su dispersión activa, ingresando a la larva en menos de 24 horas, a diferencia de los hongos que se demoran

de 2 a 3 días, liberando a su bacteria simbiote la cual produce metabolitos primarios y secundarios con actividad antimicrobiana para inhibir la microbiota acompañante.

Acevedo *et al.* (2007) y Ansari *et al.* (2008) demostraron que es posible observar interacciones sinérgicas aplicando hongos y nematodos entomopatógenos como *M. anisopliae* y *H. bacteriophora* al mismo tiempo o en intervalos de tiempo cortos. Anbesse *et al.* (2008) evaluaron la combinación de nematodos y hongos consiguiendo un efecto aditivo y sinérgico en *Coptognathus curtipennis* tras la aplicación de *H. bacteriophora* y *M. anisopliae* aplicados al mismo tiempo y en tiempos diferentes, asperjando primero el hongo y luego los JIs. Estos resultados establecieron que la aplicación de JIs en diferentes días, después de asperjar el hongo obtenía interacciones sinérgicas; determinando que el tiempo de aplicación es un factor importante para obtener potencializaciones en la mortalidad. Esto se debe a que cuando se aplican primero los hongos actúan como un factor de estrés haciendo que los insectos se vuelvan más susceptibles a la infección por los JIs (Koppenhofer & Grewal 2005).

En Colombia se han realizado estudios sobre plagas de follaje como *Plutella xylostella* demostrando que con el uso combinado de *H. bacteriophora*, *B. bassiana* y *M. anisopliae* con cuatro tiempos de aplicación de JIs, se reduce el daño de las plantas por acción de los entomopatógenos. Según Correa *et al.* (2016) en los tres primeros tiempos de aplicación (0, 2 y 4 día) hubo una interacción antagónica. En el tiempo de aplicación de JIs a los 6 días, después de los hongos, obtuvo una interacción sinérgica en *P. xylostella* superando la suma de los efectos independientes. Esta interacción ha sido demostrada igualmente en aplicaciones simultáneas de nematodos y hongos en *Coptognathus curtipennis* (Sun *et al.* 2008), *Hoplia philanthus* (Ansari *et al.* 2004, 2006), *Otiorhynchus sulcatus* (Ansari *et al.* 2008, 2010), *Spodoptera exigua* (Barbercheck & Kaya 1990), *Ectinohoplia rufipes* y *Exomala orientalis* (Cherry *et al.* 2004), *Holotrichia consanguinea* (Yadav *et al.* 2004), *Diatraea saccharalis* (Acevedo *et al.* 2007), *Cyclocephala lurida* (Wu *et al.* 2014) y *Tipula paludosa* (Ansari & Butt 2011), determinando que para que ocurra una interacción sinérgica se necesitan de tiempos cortos en las aplicaciones de hongos y nematodos, para que se generen los ciclos de vida de ambos controladores y aunque exista una competencia por el espacio y los nutrientes no se logren inhibir totalmente y logren la infección en el hospedero. Una de las explicaciones para que se generen interacciones positivas e infecciones duales es debido al debilitamiento de las larvas por una infección inicial de los hongos, de modo que las larvas no son capaces de alimentarse ni de utilizar normalmente los alimentos, generando una condición de estrés y alteración en su comportamiento. Además, que las larvas infectadas emiten una mayor concentración de CO<sub>2</sub> en presencia de la colonización fúngica lo que hace que estas emisiones lleguen de forma rápida a los nematodos y logren ubicarlas de forma eficiente.

## Referencias

- ACEVEDO, J. P. M.; SAMUELS, R.; RIBEIRO, M.; DOLINSKI, C. 2007. Interactions between isolates of the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* and the entomopathogenic nematode *Heterorhabditis bacteriophora* JPM4 during infection of the sugar cane borer *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Invertebrate Pathology* 96: 187-192.
- ANSARI, M.; SHAH, F.; BUTT, T. 2008. Combined use of entomopathogenic nematodes and *Metarhizium anisopliae* as a new approach for black vine weevil, *Otiorhynchus sulcatus*, control. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 129: 340-347.
- ANSARI, M.; SHAH, F.; BUTT, T. 2010. The entomopathogenic nematode *Steinernema kraussei* and *Metarhizium anisopliae* work synergistically in controlling overwintering larvae of the black vine

- weevil, *Otiorhynchus sulcatus*, in strawberry growbags. *Biocontrol Science and Technology*. 20 (1): 99-105.
- ANSARI, M.; TIRRY, L.; MOENS, M. 2004. Interaction between *Metarhizium anisopliae* CLO53 and entomopathogenic nematodes for the control of *Hoplia philanthus*. *Biological Control* 31: 172-180.
- ANSARI, M. A.; SHAH, F. A.; TIRRY, L.; MOENS, M. 2006. Field trials against *Hoplia philanthus* (Coleoptera: Scarabaeidae) with a combination of an entomopathogenic nematode and the fungus *Metarhizium anisopliae* CLO 53. *Biological Control* 39: 453-459.
- BARBERCHECK, M.; KAYA, H. 1990. Interactions between *Beauveria bassiana* and the entomopathogenic nematodes, *Steinernema feltiae* and *Heterorhabditis heliothidis*. *Journal of Invertebrate Pathology*. 55: 225-234.
- CHERRY, A. J.; MERCADIER, G.; MEIKLE, W.; CASTELO-BRANCO, M.; SCHROER, S. 2004. The role of entomopathogens in DBM biological control. In: *Improving biocontrol of Plutella xylostella* (eds. A.A. Kirk and D. Bordat), *Proceedings of International Symposium*. Montpellier, France, 51-70.
- CORREA-CUADROS, J. P.; RODRÍGUEZ-BOCANEGRA, M. X.; SÁENZ-APONTE, A. 2014. Susceptibility of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae; Linnaeus 1758) to *Beauveria bassiana* Bb9205, *Metarhizium anisopliae* Ma9236 and *Heterorhabditis bacteriophora* HNI0100. *Universitas Scientiarum* 19 (2): 277-285. doi: 10.11144/Javeriana.SC19-2.spxl.
- CORREA-CUADROS, J. P.; RODRÍGUEZ-BOCANEGRA, M. X.; SÁENZ-APONTE, A. 2016. In vitro interaction of *Metarhizium anisopliae* Ma9236 and *Beauveria bassiana* Bb9205 with *Heterorhabditis bacteriophora* HNI0100 for the control of *Plutella xylostella*. *Springer Plus*. 5: 2-8.
- KOPPENHOFER, A.; GREWAL, P. 2005. Nematodes as Biocontrol Agents. *Entomology and Nematology Chapter 20*. In: *Compatibility and Interactions with Agrochemicals and other Biocontrol Agents* 363-381.
- ROY, H.; PELL, J. 2000. Interactions Between Entomopathogenic Fungi and Other Natural Enemies: Implications for Biological Control. *Biocontrol Science and Technology*. 10: 737-752.
- SCHROER, S.; XIAOLI, Y.; EHLERS, R. 2005. Evaluation of adjuvants for foliar application of *Steinernema carpocapsae* against larvae of the diamondback moth (*Plutella xylostella*). *Nematology* 7 (1): 37-44.
- SUN, J.; FUXA, J.; HENDERSON, G. 2008. Sporulation of *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* on *Coptotermes formosanus* and in vitro. *Journal of Invertebrate Pathology* 81:78-85.
- TARASCO, E.; ALVAREZ, C.; TRIGGIAN, O.; QUESADA, E. 2011. Laboratory studies on the competition for insect haemocoel between *Beauveria bassiana* and *Steinernema ichnusae* recovered in the same ecological niche. *Biocontrol Science and Technology* 21 (6): 693-704.
- WU, J. H.; ALI, S.; REN, S. X. 2010. Evaluation of chitinase from *Metarhizium anisopliae* as biopesticide against *Plutella xylostella*. *Pak J Zool* 42 (5): 521-528.
- YADAV, B. R.; SINGH, V.; YADAVA, C. P. S. 2004. Application of entomogenous nematode, *Heterorhabditis bacteriophora* and fungi, *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* for the control of *Holotrichia consanguinea* by soil inoculation method. *Ann. Agric. Bio. Res* 9: 67-69.

## Evaluación del producto vercani en el control de ninfas de mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*) en el cultivo de rosas

Dario León

Natural Control. Km. 3 Paraje San Nicolás. La Ceja, Antioquia-Colombia. [info@naturalcontrol.com.co](mailto:info@naturalcontrol.com.co).  
[www.naturalcontrol.com.co](http://www.naturalcontrol.com.co)

---

### Introducción

En el año 2013 Colombia se convirtió en el segundo exportador de flores frescas cortadas en el mundo, con una participación del 13 % en el comercio total después de Holanda, que cuenta con una participación del 56 %. Actualmente, la floricultura es el primer renglón de exportaciones no tradicionales del país y generó más de 67 millones de dólares en el 2002 (4). La mosca blanca *Trialeurodes vaporariorum* ataca cerca de 250 especies de plantas diferentes. Entre los principales hospederos están habichuela, frijol, tomate, pepino, pimentón, zapallo, berenjena, papa y algodón. Los adultos y las ninfas de *T. vaporariorum* causan dos tipos de daños, directo e indirecto. El daño directo consiste en la disminución del vigor de la planta cuando los adultos y las ninfas se alimentan chupando la savia del floema lo que disminuye la calidad del producto y la producción (5). Cuando los adultos y las ninfas chupan la savia estos secretan una sustancia azucarada que favorece el desarrollo de hongos entre ellos *Sphaerotheca pannosa* var. *Rosae* (fumagina) que al crecer y cubrir el área foliar interfieren con la fotosíntesis y afecta indirectamente la producción y el rendimiento del cultivo (5).

El control de mosca blanca se hace generalmente con insecticidas de síntesis química los cuales pierden efectividad y generan resistencia en las poblaciones de la plaga además del impacto negativo que tiene sobre el ambiente. Existe un gran número de microorganismos potencialmente útiles como agente de control biológico para mosca blanca que son benéficos para los cultivos y el ambiente y entre ellos está *Lecanicillium lecanii* un hongo que ataca adultos y ninfas de *T. vaporariorum* (6).

**Objetivos. General.** Evaluar la efectividad del producto VERCANI (*Lecanicillium lecanii*) en el control de adultos de mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*) en el cultivo de rosas. **Específicos.** Determinar el porcentaje de control del producto VERCANI sobre el adulto de mosca blanca de la especie *Trialeurodes vaporariorum* en el cultivo de rosas para exportación. 2. Definir la dosis más efectiva del producto VERCANI en las aplicaciones para el control de mosca blanca de la especie *Trialeurodes vaporariorum* en el cultivo de rosas para exportación.

### Materiales y métodos

**Localización.** El presente ensayo se llevó a cabo en dos localidades: Finca Torre Molinos, ubicada en la vereda Palmira, municipio de Suesca, Cundinamarca a una altura de 2.584 msnm, con una temperatura promedio de 14°C. Finca Innovación Andina – C.I Mosa, ubicada en el Km 5 vía Siberia Cota, costado izquierdo, Cundinamarca a una altura de 2.580 msnm, con una temperatura promedio entre 12-14°C.

**Metodología.** En camas de 30 metros de largo por 0.8 metros de ancho se evaluaron 4 tratamientos (Tabla 1), cada uno contó con 5 repeticiones para un total de 20 camas (En cada finca), se realizó un pre-muestreo para verificar que la plaga estuviera presente. Cada cama se marcó con una etiqueta indicando a que tratamiento y repetición pertenecía. En cada cama se marcaron 3 cuadrantes de 1 metro lineal por 0.8 metros de ancho, con una distancia de 13.5 metros entre ellos. Se tomaron 3 plantas por cada cuadrante y a cada una se le marco un foliolo los cuales fueron los puntos de muestreo para cada tratamiento. Ya delimitado los cuadrantes se realizaron un conteo de los individuos de mosca blanca en estado ninfal presentes en las plantas y estos datos se tomaron como la población inicial de la plaga para cada tratamiento. Una vez conocida la población inicial de ninfas de mosca blanca se realizó la aplicación de los 4 tratamientos de la siguiente manera: VERCANI en sus 3 dosis, se diluyo el producto en 8 litros de agua, agitándolo abundantemente y se realizó la aplicación al área foliar, utilizando una estacionaria a 200 libras de presión, con una boquilla C 35. Se procedió a realizar la aplicación en toda la cama homogéneamente, repitiendo esta aplicación una semana después. **Thiocyclam hidrogenoxalato** se diluyo en 8 litros de agua en su dosis comercial, agitándolo abundantemente y se realizó la aplicación dirigida al área foliar, utilizando una estacionaria a 200 libras de presión, con una boquilla C 35. Se procedió a realizar la aplicación en toda la cama homogéneamente, repitiendo la aplicación una semana después.

En los cuadrantes previamente marcados y 15 días después de la primera aplicación de los tratamientos, se realizó el conteo de las ninfas de mosca blanca sanos (movilidad activa), enfermos (poca movilidad y con crecimiento de micelio blanco) y muertos (nula movilidad y crecimiento de micelio blanco). Este conteo fue el conteo final. Por otra parte, en el ensayo se empleó un diseño de bloques completos al azar con repeticiones en tiempo. La prueba se llevó a cabo durante 3 semanas (Tabla 1). El análisis estadístico que se realizó fue la prueba de supuestos de BCA (normalidad, homogeneidad de varianza y aditividad con grafica) luego se realizó la prueba ANOVA (Tabla de análisis de varianza con repetición) y por último la prueba de rango múltiple DUNCAN. Las variables que se tendrán en cuenta para determinar la diferencia entre los cuatro tratamientos incluyendo el control positivo (T1) serán la población inicial de los individuos sanos en cada tratamiento y población final de individuos sanos, infectados y muertos.

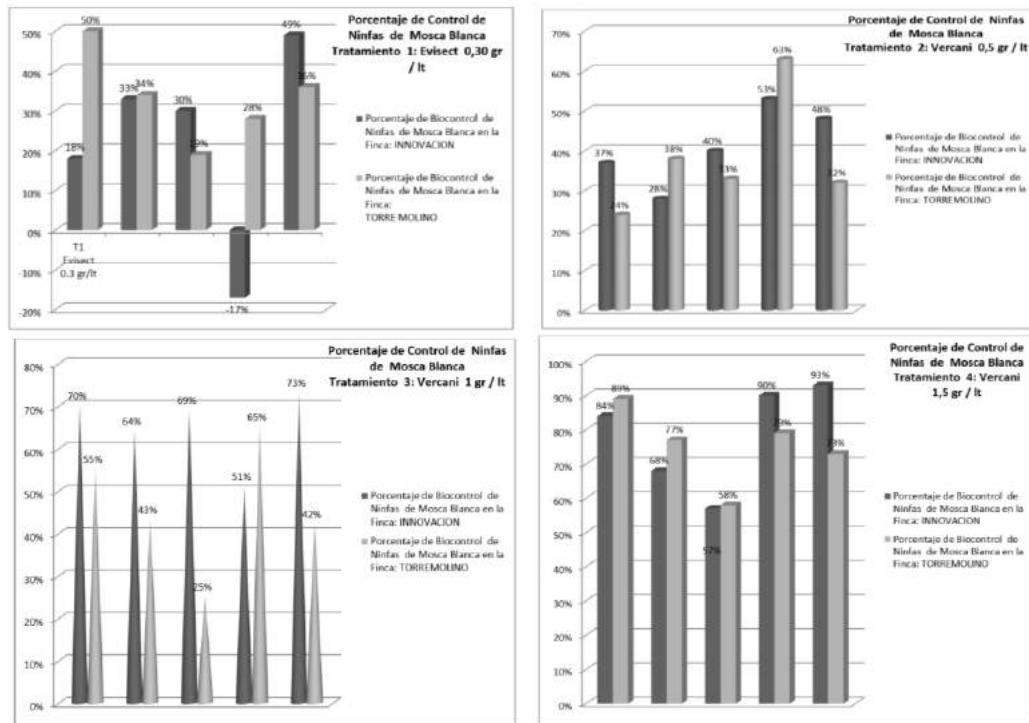
**Tabla 1.** Distribución de los tratamientos.

Tratamientos	Producto	Concentración	Dosis/litro	Repeticiones
T1	EVISECT (Thiocyclam hidrógeno oxalate)	50,0 % p/p	0,3 cc	5
T2	VERCANI	1x10 <sup>8</sup> <i>Lecanicillium lecanii</i>	0,5 gr	5
T3	VERCANI	1x10 <sup>8</sup> <i>Lecanicillium lecanii</i>	1 gr	5
T4	VERCANI	1x10 <sup>8</sup> <i>Lecanicillium lecanii</i>	1,5 gr	5

### Resultado y análisis

De acuerdo a los resultados establecidos, los porcentajes de control y efecto del tratamiento se muestran en la figura 1.





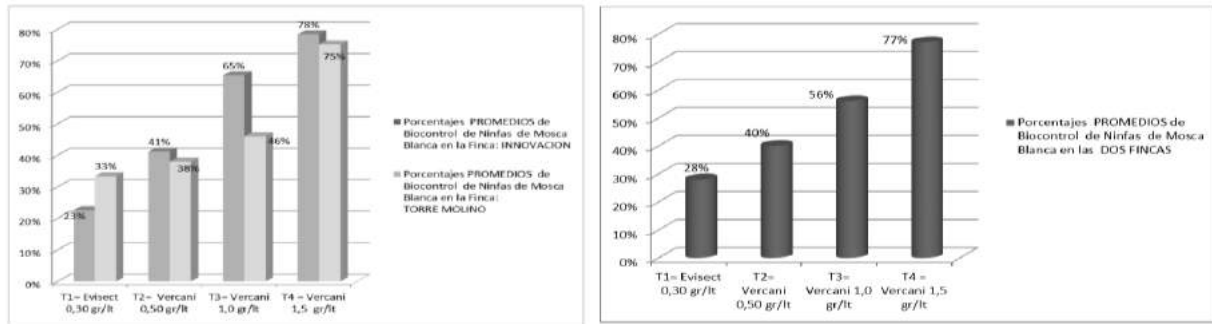
**Figura 1.** Porcentaje de control en ninfas de mosca blanca de acuerdo al tratamiento.

Con una confiabilidad mínima óptima del 95 %, se puede afirmar que existe una diferencia significativa en la Evaluación del producto VERCANI (*Lecanicillium lecanii*) para el control de ninfas de mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*) en el cultivo de Rosas y los tratamientos evaluados (T1, T2, T3 y T4): T 1: Tratamiento Uno: Thiocyclam hidrogenoxalato 0.30 g/L, T 2: Tratamiento Dos: Vercani 0.50 g/L, T 3: Tratamiento tres: Vercani 1 g/L, T 4: Tratamiento cuatro: Vercani 1.50 g/L.

De acuerdo al efecto entre las fincas, existen diferencia significativa entre los tratamientos evaluados (Tabla 2). Los porcentajes promedios del Biocontrol de Ninfas de Mosca Blanca (*Trialeurodes vaporariorum*) en el cultivo de Rosas varían entre los tratamientos evaluados para cada finca (Figura 2).

## Conclusiones

El tratamiento T4 (VERCANI 1.50 g/L), es el que lograra reducir en mayor porcentaje el número de Ninfas de Mosca Blanca con un porcentaje de Biocontrol en la Finca Innovación Andina del 78 %, máximo porcentaje para el tratamiento "T4" y en la Finca Torremolino del 75 %. La aplicación del producto VERCANI resulta ser una fuente de control biológico adecuada y efectiva sobre ninfas de mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*), en el cultivo de rosas alcanzando porcentajes hasta de un 78 %, superior a otros productos de síntesis químicas registrados en el mercado.



**Figura 2.** Porcentaje de biocontrol en mosca blanca en dos fincas de evaluación de los tratamientos.

**Tabla 2.** Porcentaje de biocontrol de los tratamientos evaluados.

TTO	Porcentaje ( %) de Biocontrol de ninfas de moscas blanca den la finca: INNOVACIÓN	Porcentaje ( %) de Biocontrol de ninfas de moscas blanca den la finca: TORRE MOLINO	( %) Promedio por cada TTO
T1 = Thiocyclam hidrogenoxalato 0,30 gr/lt	23	33	28
T2 = Vercani 0,50 gr/lt	41	38	40
T3 = Vercani 1,0 gr/lt	65	46	56
T4 = Vercani 1,5 gr/lt	78	75	77
Promedio total	52	48	100

## Referencias

- Infoagro. 2017. Departamento de Ingeniería Agrónoma y Contenidos. [www.infoagro.com/aromaticas/tomillo.htm](http://www.infoagro.com/aromaticas/tomillo.htm).
- INSTITUTO AGROPECUARIO ICA. 2012. Informe de diagnóstico fitosanitario. Laboratorio de diagnóstico fitosanitario. Pag 50.
- MORON, M. A.; TERRON. R. 1994. Distribución altitudinal y estacional de los insectos necrófilos de la Sierra Norte de Hidalgo, México. Acta Zoológica Mexicana 3: 1-47.
- LONDOÑO, M. E.; BRAN, A.M.; ACEVEDO, D. 2007.- Estudio de los escarabajos edáficos Melolonthidae (Coleóptera: Scarabaeoidea) de los municipios paperos de los altiplanos Norte y Oriente del Departamento de Antioquia, Colombia: 48-68 (en) Pardo-Locarno, L.C; Gallego, M.C.; Montoya, J. (Eds.) Memorias Diplomado en Biología, Ecología y Taxonomía de Scarabaeoidea. Taller Editorial, Facultad de Ciencias, Universidad del Valle. Cali-Colombia.

- PARDO-LOCARNO, L. C., FRANCO, M.O.; ALARCÓN, A. 1994. Contribución al conocimiento de las chisas (Coleoptera -Scarabaeidae) de San Antonio Cauca, Colombia. En: Diversidad y manejo de plagas subterráneas. Sociedad Mexicana de Entomología. México. pp. 91-104
- RUIZ, B. N.; PUMALPA, N. 1990. Observaciones sobre las chisas (Col.: Scarabeidae). Revista ICA (Colombia) 25 (4): 275-282.
- RUIZ, N.; POSADA, L. 1985. Aspectos Biológicos De Las Chizas En La Sabana De Bogotá. Revista Colombiana De Entomología. Vol 11 N°1 1985. Pág. 21-26.
- SOUTHWOOD, T.R.E. 1978. Ecological Methods. With Particular Reference To The Study Of Insect Populations. Second Edition, Chapman And Hall. 524 pp.



Sociedad Colombiana  
de Entomología

**SOCOLEN**



UNIVERSIDAD  
**EL BOSQUE**

---

FACULTAD DE CIENCIAS  
Programa de Biología



Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria