

# XXXII CONGRESO SOCIEDAD COLOMBIANA DE ENTOMOLOGÍA



## SOCOLEN

Ibagué - 27, 28 y 29 de Julio de 2005



---

*Memorias*

---



**SOCIEDAD COLOMBIANA DE ENTOMOLOGÍA  
SOCOLEN**

**MEMORIAS  
XXXII CONGRESO**

**Ibagué, Colombia**

**27, 28 y 29 de Julio, 2005**

© Copyright 2005 Sociedad Colombiana de Entomología  
Socolen - [www.socolen.org.co](http://www.socolen.org.co)  
Julio de 2005

ISBN: 958-33-7959-X

Edición General  
Aristóbulo López-Ávila

Organización de textos  
Beatriz Jaramillo

PRODUCCIÓN EDITORIAL  
Diagramación, armada, fotomecánica,  
impresión y encuadernación

**PRODUMEDIOS**  
Productos editoriales y audiovisuales

[www.produmedios.com](http://www.produmedios.com)  
Tel.: 288 5338 Bogotá, DC - Colombia

Impreso en Colombia  
Printed in Colombia

01 SET. 2005



**Sociedad Colombiana de Entomología**

**JUNTA DIRECTIVA  
2004 – 2006**

**Presidente**

Miguel Serrano

**Vicepresidente**

Edison Torrado

**Secretario**

Fernando Cantor

**Tesorero**

Jorge García

**Vocales Principales**

Cecilia Burgos

Carlos Sarmiento

Eduardo Espitia

**Vocales Suplentes**

Guiomar Nates

Dario Corredor

Giovanny Fagua

**Revisor Fiscal**

Ariel Palomino

595.7  
C55  
2005  
V.2

**COMITÉ ORGANIZADOR  
XXVIII CONGRESO DE SOCOLEN**

<b>Coordinador General:</b>	Aristóbulo López-Ávila	Corpoica
<b>Secretario:</b>	Eduardo Espitia Malagón	Corpoica

**COMISIONES**

**Comisión Académica**

<b>Coordinador:</b>	Alex Enrique Bustillo	Cenicafé
	Alexander Bustos	U. Militar
	Beatriz Jaramillo	Cenicafé

**Comisión Financiera**

<b>Coordinador:</b>	Giovanny Fagua	U. Javeriana
	Fernando Cantor	U. Militar

**Comisión Recursos Físicos y Eventos Sociales**

<b>Coordinador:</b>	Luz Ángela Mendoza	Corpoica
	Nelson Canal	U. del Tolima
	Lorenzo Peláez	Corpoica
	Esperanza Varón	Corpoica
	Mary Cuadros	U. del Tolima
	Guillermo Sánchez	U. del Tolima

**Comisión Internacional**

<b>Coordinador:</b>	Fernando Cantor	U. Militar
	José Ricardo Cure	U. Militar

## **EMPRESAS E INSTITUCIONES COLABORADORAS**

Agroquímicos Genéricos S.A. - Agrogen

Bayer CropScience S.A.

Better World Manufacturing Inc.

Cámara de la Industria para la Protección de Cultivos - ANDI

Colciencias

Compañía Agrícola Colombiana Ltda. y Cía. S.C.A.

Corporación para el Desarrollo de Insumos y Servicios Agroecológicos - Harmonia

Dow AgroSciences de Colombia S.A.

Fondo para el Fomento del Sector Agropecuario - Finagro

Fundación para la Promoción de la Investigación y la Tecnología - Banco de La República

Kaika Ltda.

Laboratorios Laverlam S.A.

Orius Biotecnología

Pontificia Universidad Javeriana

Redes y Equipos

Servicat Ltda.

Syngenta S.A.

Universidad Militar Nueva Granada

Valent BioSciences Corporation



## PRESENTACIÓN

“**E**l Comité Académico del Congreso preparó un tema central enfocado a divulgar diferentes aspectos relevantes de la entomología colombiana, para lo cual se programaron cinco conferencias magistrales y cuatro simposios. Las conferencias están encaminadas a divulgar temas de actualidad sobre las plantas de algodón transgénicas resistentes a insectos y su desempeño en el control de las múltiples plagas que afectan este cultivo. Por otra parte se trata el papel de las mariposas en la biogeografía, el uso de técnicas moleculares para estudiar la dispersión de insectos, los modelos para la simulación de poblaciones y su interacción con los enemigos naturales y la aplicación de la estadística en la entomología.

En relación con los simposios se abarcan los siguientes temas: El primero se relaciona con el estado actual de las investigaciones sobre la broca del café, el segundo trata de la problemática y manejo de plagas del arroz y el tercero sobre algodón en donde se presentan resultados de experiencias locales en el manejo de estos dos cultivos. El cuarto discute el tema de la Biodiversidad y Conservación enmarcado por el gran interés de investigadores y de las entidades financiadoras de proyectos de investigación, por ahondar cada vez más en temas del conocimiento de nuestra fauna.

El Comité Organizador del XXXII Congreso quiere dar los agradecimientos a todos los conferencistas magistrales y de los simposios por su colaboración con la Sociedad al aceptar nuestra invitación y ponerse en la penosa tarea de escribir sus conferencias para que estas Memorias se pudieran publicar a tiempo. La labor de edición quiso respetar el estilo de redacción de los autores y solo se limitó a hacer cambios que permitieran una mayor claridad al escrito y mantener en lo posible la uniformidad en la presentación a través de todo el texto.

Desde ya auguramos una reunión muy provechosa tanto desde el punto de vista científico como cultural y el Congreso se presenta como una gran oportunidad para nuevos contactos que beneficien nuestro crecimiento intelectual en favor del desarrollo de nuestro país.

**Alex Enrique Bustillo Pardey**  
**Coordinador Comisión Académica**





# CONTENIDO

Pág.

## CONFERENCIAS MAGISTRALES

Manejo de la resistencia a la $\delta$ -endotoxina Cry1Ac de <i>Bacillus thuringiensis</i> Berliner var <i>kurstaki</i> que expresa el algodón Bollgard*	1
J. C. Rodríguez-Maciel; S. Aguilar-Medel; J. L. Martínez-Carrillo, P. Terán Vargas P.; A. Lagunes Tejeda	
Pinchadas sobre un mapa: historia y destino de las mariposas en la biogeografía	6
Angel L. Vilorio.	
Distribución global de la broca del café: la versión molecular	7
Pablo Benavides Machado	
Modelo tritrófico café-broca-parasitoides: una aproximación al análisis y manejo del agroecosistema del café	12
José Ricardo Cure	
Problemas estadísticos en entomología y sus soluciones	22
Og DeSouza	

## SIMPOSIO

### AVANCES EN EL CONOCIMIENTO SOBRE LA BROCA DEL CAFÉ

Aspectos genéticos de la broca del café, <i>Hypothenemus hampei</i>	23
Pablo Benavides Machado	
Avances en conocimiento y mejoramiento del hongo <i>Beauveria bassiana</i> para el control de la broca del café, <i>Hypothenemus hampei</i>	27
Carmenza E. Góngora B.	
¿Es posible el uso de entomonematodos en programas MIP en Colombia? Avances con la broca del café	33
Juan Carlos López Núñez	
La comunicación en insectos. ¿Reciben mensajes de las plantas?: El caso de la broca del café, <i>Hypothenemus hampei</i> (Ferrari)	40
Alex Enrique Bustillo Pardey	
Investigación participativa en el manejo integrado de la broca del café	65
Luis Fernando Aristizábal A.	

## SIMPOSIO

### PROBLEMÁTICA Y MANEJO DE PLAGAS EN ARROZ

Presencia de <i>Stenotarsonemus spinki</i> Smiley en el cultivo de arroz en Colombia	72
Cristo Rafael Pérez	

	Pág.
Evaluación de materiales al daño mecánico de <i>Tagosodes orizicolus</i> (Muir) y al virus de la hoja blanca en arroz, <i>Oryza sativa</i> L. Luis Antonio Reyes Herrera; Lee Calvert	79
Control del virus de la hoja blanca (RHBV) mediante plantas transgénicas y algunos aspectos sobre bioseguridad en el trópico Luisa Fernanda Forý	85
Umbral de acción de artrópodos fitófagos en el cultivo del arroz Harold Bastidas López	87
Insumos biológicos para el manejo de insectos fitófagos en el cultivo de arroz Cristo Rafael Pérez	90
<b>SIMPOSIO PROBLEMÁTICA Y MANEJO DE PLAGAS EN ALGODÓN</b>	
Interacción insecto - planta: Caso del algodón Eduardo Barragán Quijano	99
Avances en la investigación para el manejo integrado de lepidópteros con énfasis en rosado colombiano, <i>Sacadodes pyralis</i> Dyar, en el algodón del Valle Cálido del Alto Magdalena Luz Ángela Mendoza Orjuela, Eduardo Barragán Quijano Guillermo Sánchez	104
Manejo integrado del picudo del algodón <i>Anthonomus grandis</i> Boheman en el Tolima: El caso de Pajonales Tulio Jaramillo; Luz Angela Mendoza	112
Las unidades térmicas como alternativa para el manejo de los insectos plagas en el algodón Arnulfo Díaz Delgado; Antonio María Caicedo	118
<b>SIMPOSIO BIODIVERSIDAD Y CONSERVACIÓN</b>	
Tricópteros del departamento del Tolima: Aspectos bioecológicos Gladys Reinoso-F., Giovanni Guevara-C., Derly Yaneth Carrillo C., Francisco Antonio Villa N.	122
Composición general de las mariposas diurnas en la cuenca del río Coello, Tolima Leonardo Alberto Ospina L., Jack Fran Armengot García, P., Antonio Francisco Villa N., Gladys Reinoso, F.	127
Bioindicadores en agroecosistemas cafeteros Zulma Nancy Gil Palacio	132
La especiación de insectos a través de las zonas de hibridación Clara Saldamando	137
Generalidades del marco político internacional en material de colecciones biológicas Yaneth Muñoz-Saba	142



## Manejo de la resistencia a la $\delta$ -endotoxina Cry1Ac de *Bacillus thuringiensis* Berliner var *kurstaki* que expresa el algodón Bollgard®

J. C. Rodríguez-Maciel<sup>1</sup>; S. Aguilar-Medel<sup>1</sup>; J. L. Martínez-Carrillo<sup>2</sup>, P. Terán Vargas P.<sup>2</sup>; A. Lagunes Tejeda<sup>1</sup>  
<sup>1</sup> Instituto de Fitosanidad, Colegio de Postgraduados, Km 35.5 carretera México-Texcoco, Montecillo, Texcoco, Estado de México 56230, México. Correo e: concho@colpos.mx, <sup>2</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Pecuarias y Forestales (INIFAP), México.

Los avances en ingeniería genética han permitido insertar genes de *Bacillus thuringiensis* *kurstaki* (Bt) en plantas de algodón, *Gossypium hirsutum* L. y se han obtenido variedades capaces de expresar altos niveles de la  $\delta$ -endotoxina Cry1Ac (Perlak *et al.*, 1991), como ocurre en el algodón Bollgard®. De esta manera, se le confiere al cultivo la capacidad para autoprotgerse contra daños por larvas de lepidópteros como: *Heliothis virescens* F. y *Helicoverpa zea* (Boddie) (Koziel *et al.* 1993, Perlak *et al.* 1993, Benedict *et al.* 1994, Feldman y Stone 1997).

En México, a partir de 1996 se empezó a cultivar el algodón Bollgard® y su aceptación entre los agricultores ha propiciado que su importancia relativa se incremente. Por ejemplo, en la Comarca Lagunera, durante 1997, 1998, 1999, 2000 y 2001 se sembraron con esta variedad 17, 47, 88, 79 y 78% de la superficie total destinada al algodón, respectivamente (Sánchez 2002). Los beneficios derivados de esta tecnología son: fortalecimiento de las estrategias de manejo integrado de plagas (Starnes *et al.*, 1993; Fitt *et al.*, 1994; Roush, 1994; Tabashnik, 1994), reducción en el uso de insecticidas convencionales (Roush y Shelton, 1997) e incremento en la susceptibilidad de las plagas a dichos insecticidas (Terán, 2005). Por ejemplo, en el sur de Tamaulipas, debido al uso de algodón Bollgard®, se han dejado de aplicar 155 toneladas de insecticidas convencionales contra *H. virescens* (Terán 2005). Desafortunadamente, en ausencia de estrategias de manejo de la resistencia, éstas ventajas se pueden perder debido al elevado riesgo de que las plagas desarrollen resistencia a los cultivos Bt y eventualmente se podrían tener efectos graves en la agricultura orgánica que usa formulaciones comerciales a base de Bt para controlar las citadas plagas en una amplia variedad de cultivos.

Para mitigar este problema, es conveniente implementar un programa de manejo de la resistencia, consistente en la implementación de zonas de refugio junto con el uso de algodón Bt que expresa elevadas concentraciones de  $\delta$ -endotoxina (Gould y Tabashnik 1998). La concentración de Bt es alta, si ésta es 25 veces la cantidad necesaria para matar al 99.9% de los insectos susceptibles (Matten 2002). La zona de refugio tiene la finalidad de permitir la reproducción de insectos susceptibles a insecticidas, los que se espera copulen con aquellos que emerjan del algodón transgénico y mitiguen el desarrollo de la resistencia a las  $\delta$ -endotoxinas que se expresan en el algodón Bt. En el peor escenario, del algodón Bt emergerán individuos homocigotos resistentes (RR) y copularán con los homocigotos susceptibles (SS) que provienen del refugio y producirán una descendencia de heterocigotos (RS), los que son fácilmente eliminados por el algodón Bt debido a que la resistencia es recesiva.

**Evaluación periódica de la susceptibilidad a las  $\delta$ -endotoxinas de Bt en las plagas objeto de control.** La eficacia del programa de manejo de la resistencia se evalúa mediante la realización de bioensayos completos y uso de la dosis de diagnóstico en todas las poblaciones objeto de control por parte del algodón Bollgard®. Inicialmente, es conveniente realizar un bioensayo completo (ocho a diez concentraciones que cubran el rango de cero a 100% de la variable respuesta) con la finalidad de conocer el estado inicial de la susceptibilidad; posteriormente se utiliza, en cada temporada de cultivo, una dosis de diagnóstico (evaluación de una sola concentración que estima el porcentaje de

individuos resistentes). En caso de que la dosis de diagnóstico revele la posibilidad de que existan problemas, se hacen observaciones inmediatas sobre la efectividad del algodónero Bt en campo y se realizan bioensayos completos para determinar la línea de respuesta log-dosis Probit y estimar la magnitud de la resistencia; en caso de ameritarlo, se aplicarían medidas de remediación. Los bioensayos completos y la concentración de diagnóstico se debe realizar, de manera paralela, con una población susceptible que sirva de referencia.

**Especies de insectos.** Actualmente los estudios sobre susceptibilidad a las la  $\delta$ -endotoxina Cry1Ac de Bt se realizan en las especies de insectos objeto de control: *H. y H. zea*. Con la reciente incorporación en el algodónero Bollgard\* de una nueva  $\delta$ -endotoxina (Cry2Ab2), dichos estudios se ampliarán para incluir a *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) *Spodoptera exigua* (Hübner) y otras especies que actualmente no son plagas primarias, pero están sujetas a presión de selección.

**Bioensayos completos.** Se utiliza el método de bioensayo descrito por Sims et al. (1996) que consiste en colocar un mililitro de dieta artificial (TOBACCO BOLLWORM; SOUTHLAND PRODUCTS INC.) en cada cavidad de una charola para bioensayo (BIO-ASSAY TRAY BIO-BA-128; C-D INTERNATIONAL, INC.). Una vez que la dieta solidifica, se deposita, en cada cavidad, 200  $\mu$ L de la toxina a la concentración deseada. Se utiliza el insecticida comercial MVP II (Dow Agrosiences, San Diego, CA), formulación sólida que contiene una protoxina híbrida similar a la  $\delta$ -endotoxina Cry1Ac de *B. thuringiensis* var. *kurstaki*, expresada y encapsulada en *Pseudomas fluorescens* (Gilroy y Wilcox, 1992). La concentración de ingrediente activo en el producto es 19.7%. La  $\delta$ -endotoxina Cry1Ac contenida en este producto tiene propiedades similares a la que expresa el algodónero Bollgard\* (Gould et al., 1995). Después de seguir el procedimiento indicado, a las 24 horas de haber depositado la  $\delta$ -endotoxina, se coloca, en cada cavidad, una larva neonata y las cavidades de la charola de bioensayo se cubre con plástico transparente autoadherible que permite el intercambio gaseoso (PULL N' PEEL TAB BIO-CV-16; C-D INTERNATIONAL, INC.). Las charolas de bioensayo con larvas tratadas se transfieren a una cámara de cría con condiciones ambientales controladas: temperatura ( $27 \pm 1^\circ\text{C}$ ), humedad relativa ( $70 \pm 5\%$ ) y fotoperiodo (14:10 horas luz: oscuridad). Inicialmente, evalúa un rango amplio de concentraciones para determinar la ventana donde se encuentra el cero y 100% de mortalidad. Posteriormente se incluyen concentraciones intermedias que cubran ese rango de respuesta. En total se realizan cinco repeticiones en diferentes días y cada una incluye un testigo absoluto al cual sólo se le aplican 200  $\mu$ L de solución agua-agar al 0.2%. El tamaño de muestra es de 32 larvas neonatas/dosis/repeticion. La mortalidad se ajusta mediante el empleo de la fórmula de Abbott (Abbott 1925). El nivel de mortalidad máximo aceptable para el testigo absoluto es del 10%. Cinco días después de haber infestado con larvas de primer instar a la dieta tratada con la concentración deseada de toxina Cry1Ac, se evalúan los siguientes parámetros: porcentaje de mortalidad, porcentaje de larvas que alcanzan el tercer instar y porcentaje de reducción de peso con respecto al testigo absoluto.

**Concentración de diagnóstico.** Como dosis de diagnóstico, se utilizan 5  $\mu$ g/mL de la  $\delta$ -endotoxina Cry1Ac para *H. zea* y 0.05  $\mu$ g/mL para *H. virescens* (Greenplate et al. 1998). Para las poblaciones de campo se utilizan 96 larvas neonatas por repetición y 32 para la población susceptible; en total se realizan cinco repeticiones en días diferentes. El resto del procedimiento es similar al explicado en el apartado de bioensayo.

**Análisis estadístico.** Los datos sobre porcentaje de mortalidad, porcentaje de larvas que alcanzaron el tercer instar y porcentaje de larvas con peso reducido, se analizan asumiendo el modelo Probit

(SAS, 1999). La proporción de resistencia de las poblaciones de campo se obtiene al dividir el valor de la concentración estimado en cada una de ellas entre el valor estimado de la población susceptible de referencia (Robertson y Preisler, 1992). Los resultados de la concentración de diagnóstico se transforman a la función arcoseno de la raíz cuadrada de la respuesta y se evalúan mediante un análisis de varianza paramétrico ( $P=0.05$ ) y una prueba de comparación múltiple (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ).

**Estado actual de la susceptibilidad a insecticidas.** Desde su introducción al mercado mexicano, en 1996, del algodónero Bollgard® no se han observado cambios en la susceptibilidad inicial a la  $\delta$ -endotoxina Cry1Ac. Los niveles de mortalidad que se han obtenido con la dosis de diagnóstico, tanto en la población susceptible como en las poblaciones de campo evaluadas, varía de 15 a 25%. El porcentaje de mortalidad se registra, pero no es un parámetro confiable debido a que las larvas sobrevivientes pesan menos del 2% de lo pesa una larva sana no expuesta a la toxina, por lo que estos sobrevivientes no ejercen un daño significativo al cultivo y son incapaces de dar origen a una nueva generación de individuos. En todas las evaluaciones realizadas, ninguna larva ha sido capaz de llegar al tercer instar temprano cuando se expone a la dosis de diagnóstico de la  $\delta$ -endotoxina Cry1Ac.

**Eficacia de las opciones de refugio.** Para que un refugio cumpla la función de proveer individuos susceptibles que copulen con aquellos que emerjan del algodónero Bollgard® y se mitigue el desarrollo de resistencia, es fundamental que se cumplan con los siguientes requisitos: a) que el refugio aporte una cantidad suficiente de individuos; en estudios de simulación en computadora que se han realizado en los Estados Unidos de Norteamérica, se asume que el refugio debe producir 500 individuos por cada individuo que emerja del algodónero Bt (Matten 2002), b) la capacidad biótica de los individuos que aporte el refugio debe ser similar a la que poseen los individuos susceptibles a insecticidas, c) debe existir sincronía en la emergencia de los individuos del refugio y del algodónero Bt, de lo contrario se minimizará la posibilidad de que se entrecruzen y d) el refugio debe estar lo suficientemente cerca del algodónero Bt para incrementar la posibilidad de que los individuos se encuentren antes de que la cópula haya ocurrido. Además, actualmente se están buscando, como refugio, otros cultivos con mayor capacidad que el algodónero convencional para aportar individuos susceptibles a las  $\delta$ -endotoxinas de Bt, tal es el caso del garbanzo, *Cicer arietinum* L.

En el cultivo del algodónero existen varios tipos de refugio recomendados por la EPA (US EPA 2001); sin embargo, en México sólo se han utilizado las opciones 80:20 y 96:4. En la primera opción, se siembra el 80% de la superficie con algodónero *Bt* y el 20% restante con algodónero convencional; en este caso se permite que en el refugio se lleven a cabo actividades de control químico de la plaga objetivo, excepto con formulaciones que contengan *Bt*. En la segunda opción, se siembra el 96% de la superficie con algodónero *Bt* y el 4% restante con algodónero convencional y no se permiten las aplicaciones de insecticidas para el control de la plaga objetivo (Gould y Tabashnik, 1998; Rodríguez *et al.* 1998, Shelton *et al.* 2000).

Se ha generado cierta controversia respecto a cual opción de refugio es más adecuada para el algodónero Bt. Algunas personas opinan que la opción 80:20 es mejor debido a que la superficie relativa de algodónero convencional utilizado como refugio es mayor; sin embargo, al permitirse el uso de insecticidas (excepto formulaciones a base de Bt) para controlar a las plagas objetivo, su densidad se reduce y es comparable a la que se observa en la opción 96:4, opinan otros investigadores. Quienes apoyan la opción 96:4, argumentan que los insectos que emergen de esta opción son más vigorosos debido a que no están expuestos a niveles importantes de insecticidas (derivados del control de otras plagas que no son susceptibles a las  $\delta$ -endotoxinas que expresa el algodónero Bollgard®).

Recientemente Terán (2005) realizó investigaciones exhaustivas en *H. virescens* tendientes a resolver esta controversia e incluyó en las comparaciones al garbanzo debido a que es una opción de refugio alternativo; encontró que la tasa neta de reproducción y la capacidad biótica los individuos provenientes del garbanzo es superior a aquellos que emergen de cualquiera de las dos opciones de refugio. Al comparar entre las opciones de refugio existentes, estos parámetros son superiores en los individuos que proceden del refugio del 4%, en relación a aquellos procedentes del refugio del 20%; las aplicaciones de insecticidas convencionales que se hacen en la opción de refugio del 20%, afecta severamente la capacidad biótica de los individuos. La proporción de emergencia de adultos del algodonero Bollgard<sup>®</sup>: opción 20%, algodonero Bollgard<sup>®</sup>: opción 4% y algodonero Bollgard<sup>®</sup>: garbanzo 4%, fue de 10:1. 1.6:1 y 19:1, respectivamente. A pesar de estas proporciones distan mucho de las estimadas por Matten (2002), en campo la estrategia de manejo de la resistencia a las  $\delta$ -endotoxinas de Bt que expresa el algodonero Bollgard<sup>®</sup> han funcionado adecuadamente durante los nueve años que tiene este cultivo Bt en México, tal como lo indica la susceptibilidad actual que se conserva en *H. virescens* y *H. zea* al algodonero Bollgard<sup>®</sup>; en consecuencia, la proporción de insectos entre el cultivo Bt y el refugio documentada por Matten (2002) es en realidad una sobreestimación y no refleja las condiciones reales de campo.

## Literatura citada

- ABBOTT, W. S. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J. Econ. Entomol.* 18: 265-267.
- BENEDICT, J. H., E. S. SACHS, J. L. HALCOMB, D. R. RING, B. COOK, D. M. STELLY, D. W. ALTMAN, R. J. KOHEL, J. C. CORREA, M. W. GOYNES, J. F. TAYLOR, S. K. DAVIS. 1994. Feeding preference and movement of tobacco budworm and bollworm in mixed stands of transgenic *Bt* and non-*Bt* cotton. *Annual Plant resistance to Insects Newsletter* 20: 31-32.
- FELDMAN, J.; T. STONE 1997. The development of a comprehensive resistance management plan for potatoes expressing the cry3A endotoxin, pp 49-61. *In: advances in insect control: the role of transgenic plants.* N. Carozzi and M. Koziel (ed). London: Taylor and Francis.
- FITT, G. P., C. L. MARES, D. J. LLEWELLYN. 1994. Field evaluation and potential ecological impact of transgenic cottons (*Gossypium hirsutum*) in Australia. *Biocont. Sci. and Tech.* 4:535-548.
- GILROY, T. E., E. R. WILCOX. 1992. Hybrid *Bacillus thuringiensis* gene, plasmid, and transformed *Pseudomonas fluorescens*. U. S. Patent 5, 128,130.
- GOULD, F. ; B. E. TABASHNIK. 1998. Bt-cotton resistance management, pp.67-105. *In: Now or never: serious new plans to save a natural pest control.* M. Mellon and J. Rissler (Eds.). Cambridge, MA: Union of Concerned Scientist.
- GOULD, F., A. ANDERSON, A. REYNOLDS, L. BUMGARDNER, W. MOAR. 1995. Selection and genetic analysis of a *Heliothis virescens* (Lepidoptera: Noctuidae) starin with high levels of resistance to *Bacillus thuringiensis* toxins *J. Econ. Entomol.* 88: 1545-1559.
- GREENPLATE, J. T., G. P. HEAD, S. R. PENN, V. T. KABUYE. 1998. Factors Potentially Influencing the Survival of *Helicoverpa zea* on Bollgard<sup>®</sup> Cotton, pp 1030-1033 *In Proceedings, Beltwide Cotton Insect Research and Control Conference.* National Cotton Council. Memphis, TN.
- KOZIEL, M. K., F. L. BELANG, C. BOWMAN, N. B. CAROZZI, R. CRENSHAW, L. CROSSLAND, J. DAWSON, N. DESAI, M. HILL, S. KADWELL, K. LAUNIS, K. LEWIS, D. ;ADDOX, K. MCPHERSON, M. R. MEFHJI, E. MERLIN, R. RHODES, G. W. WARREN, M. WRIGHT, S. EVOLA. 1993. Field performance

of elite transgenic maize plants expressing an insecticidal protein derived from *Bacillus thuringiensis*. *Biotechnology* 11:194-200.

- MATTEN, S. R. 2002. EPA refuge requirements for bollgard™ cotton and role of modeling and resistance monitoring. *In* Proc. Beltwide Cotton Conf., 8-13 January 2002, Atlanta, GA. Natl. Cotton Counc. Am., Memphis TN.
- PERLAK, F. J., R. L. FUCHS, D. A. DEAN, S. L. MCPHERSON, D. A. FISCHHOFF. 1991. Modification of the coding sequence enhances plant expression of insect control protein genes. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 88: 3324-3328.
- PERLAK, F., T. B. STONE, Y. M. MUSKOPF, L. J. PETERSEN, G. B. PARKER, S. A. MCPHERSON, J. WYMAN, S. LOVE, D. BIEVER, G. REED, D. FISCHHOFF. 1993. Genetically improved potatoes; protection from damage by Colorado potato beetles. *Plant Molecular Biol.* 22:313-321.
- ROBERTSON, J. L.; H. K. PREISLER. 1992. Pesticide bioassays with arthropods. CRC, Boca Raton, FL.
- RODRÍGUEZ M., J. C., J. L. MARTÍNEZ C., U. NAVA C., S. AGUILAR M., M. BERDEGUE. 1998. Manejo de resistencia a plagas de cultivos transgénicos: caso Bollgard. *Boletín técnico. Ingenieros Agrónomos Parasitólogos, A. C.* Vol. 2 núm. 1.
- ROUSH, R. T. 1994. Managing pests and their resistance to *Bacillus thuringiensis*: can transgenic crops be better than sprays? *Biocontrol Sci. Technol.* 4:501-516.
- ROUSH, R. T.; A. M. SHELTON. 1997. Assessing the odds; the emergence of resistance to Bt transgenic plants. *Nature Biotech.* 15:816-817.
- SÁNCHEZ, A. J. 2002. Informe anual sobre el comportamiento de las plagas del algodón en la Región Lagunera. SAGARPA-DGSV. 10p.
- SAP, Scientific Advisory Panel, subpanel on *Bacillus thuringiensis* (Bt) plant pesticides. 1998. Transmittal of the final report of the FIFRA Scientific Advisory Panel, subpanel on *Bacillus thuringiensis* (Bt) plant pesticides and resistance management, February 9-10, 1998. (Docknet number: OPPTS-00231).
- US EPA, U. S. Environmental Protection Agency. 2001. Biopesticides registration action document (BRAD)-*Bacillus thuringiensis* plant incorporated protectants, US EPA, October 15, 2001. <http://www.epa.gov/pesticides/biopesticides/pips/bt-brad.htm>.
- SAS Institute. 1999. SAS/STAT User's guide, version 8.0. SAS Institute, Cary, NC.
- SHELTON, A. M., J. D. TANG, R. T. ROUSH, T. D. METZ, E. D. EARLE. 2000. Field tests on managing resistance to Bt-engineered plants. *Nat. Biotech.* 18:339-342.
- SIMS, S. B., J. T. GREENPLATE, T.B. STONE, M. A. CAPRIO; F. L. GOULD. 1996. Monitoring strategies for early detection of Lepidoptera resistance to *Bacillus thuringiensis* insecticidal proteins, pp. 229-242. *in* T. M. Brown (ed.) *Molecular Genetics and Evolution of Pesticide Resistance*. ACS Symposium Series No. 645. American Chemical Society, Washington, DC.
- STARNE, R. L., C. L. LIU, P. G. MARRONE. 1993. History, use, and future of microbial insecticides. *Am. Entomologist* 39:83-91.
- TABASHNIK, B. E. 1994. Evolution of resistance to *Bacillus thuringiensis*. *Ann. Rev. Entomol.* 39:47-79.
- TERÁN, V. P. 2005. Impacto del algodón Bollgard® en la susceptibilidad a insecticidas y evaluación de la eficacia de las opciones de refugio para el manejo de la resistencia. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. México.



## **Pinchadas sobre un mapa: historia y destino de las mariposas en la biogeografía**

Angel L. Viloria.

Centro de Ecología, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas. Apartado 21827, Caracas 1020-A, Venezuela.  
Correo-e: aviloria@oikos.ivic.ve

La observación y el estudio razonado de las mariposas y de su distribución espacial en la tierra, data de los inicios de las ciencias naturales. Fenómenos tan generalmente reconocidos como la apariencia críptica o el mimetismo en las mariposas, en su espacio natural no habrían encontrado explicación hipotética adecuada sin relacionarlos con un contexto geográfico y distribucional. Los avances progresivos en sistemática morfológica y molecular, y el mejoramiento del conocimiento que sobre distribución espacial nos permiten, tanto los registros individuales acumulados en las colecciones entomológicas, como las técnicas de análisis de información geográfica, han reducido el problema de las áreas de distribución de los taxones a una cuestión meramente conceptual. En este escenario, el potencial predictivo de las mariposas en la biogeografía moderna es enorme.

Se trata de un grupo taxonómico muy bien conocido a nivel mundial, el cual cuenta con un registro temporal y espacial acumulado de más de dos siglos. Tan sólo estos dos atributos le confieren a estos insectos una preponderancia inédita en materia meramente descriptiva. A partir de ello pueden construirse zonificaciones biogeográficas, basadas principalmente en el reconocimiento de áreas de endemismo.

Hace pocas décadas esta visión permitió la formulación de arriesgadas hipótesis históricas que dieron al traste con los postulados dispersalistas que pretendían reconocer centros de origen únicos para la fauna de mariposas de los distintos continentes. El estudio de la distribución de las mariposas en América tropical reforzó considerablemente la alternativa de su posible origen autóctono, a través de interpretaciones conexas con la hipótesis de los refugios boscosos pleistocénicos. A esta noción contribuyeron, por un lado la teoría de la biogeografía insular de MacArthur y Wilson, y por otro el desarrollo de los principios de la biogeografía de la vicarianza. Se retomó el tema de las distribuciones altitudinales y se reconoció la naturaleza relictual de las mariposas endémicas de las mayores elevaciones montañosas.

Las mariposas son uno de los pocos grupos de seres vivos sobre los cuales se ha modelado mecanismos hipotéticos de especiación dependientes del espacio geográfico y de su complejidad, los cuales han sido parcialmente sometidos a pruebas formales a través de una tímida incursión de los especialistas en la biogeografía cladística.

Últimamente las tentativas de diversos estudios filogenéticos de gran alcance entre las principales familias de mariposas a nivel mundial prometen contribuir fundamentalmente con la comprensión del origen espacio-temporal remoto de las mariposas. Relacionar exitosa y coherentemente cualquier resultado que de ello derive con el escenario biogeográfico actual de las mariposas diurnas, constituye uno de los retos más ambiciosos para la biogeografía histórica.

## Distribución global de la broca del café: la versión molecular

Pablo Benavides Machado, Ing. Agr., Ph. D.  
Disciplina de Entomología, Cenicafé, Apartado Aéreo 2427, Manizales, Caldas,  
correo e:Pablo.benavides@cafedecolombia.com

### Resumen

La broca del café, *Hypothenemus hampei*, es la plaga más destructiva del cultivo del café en el mundo y está afectando seriamente la estabilidad económica y social de muchos países en desarrollo. Con el fin de conocer las fortalezas y debilidades genéticas de este insecto se diseñó esta investigación. La técnica AFLP, la cual es usada para generar huellas dactilares moleculares, fue utilizada para detectar diferencias genéticas en ADN proveniente de 101 muestras de brocas recolectadas en 17 países de Africa, Asia, y América. Seis combinaciones selectivas de iniciadores fueron seleccionadas basados en estudios preliminares que examinaron 73 muestras de 12 países. Estas combinaciones revelaron diferencias genéticas de tan sólo  $2,8 \pm 3,6\%$  promedio por país, pero  $22,4\%$  de diferencias a través de todas las combinaciones de iniciadores en todos los países.

La mayor variación fue observada en las muestras provenientes del este de Africa, lo cual fue consistente con lo esperado en el presunto centro de origen de esta plaga. Las dos combinaciones de iniciadores más informativas fueron después usadas para identificar la variabilidad genética en la totalidad de las muestras. Sólo 26 huellas dactilares fueron descubiertas. Un análisis de variación molecular (AMOVA) evidenció que la broca se reproduce en líneas maternas, sugiriendo además que su capacidad genética para resistir una medida eficiente de control podría ser limitada. La información también sugirió una invasión de esta plaga procedente del oeste africano en Asia, se presume que algo similar ocurrió también en América. La distribución de estas huellas dactilares y su relación genética, determinada por un análisis de Neighbor-Joining, sugirió que dos introducciones de broca en Brasil se dispersaron posteriormente a través de las Américas. Una tercera introducción en América fue evidente en Perú y Colombia.

### Introducción

La broca del café se reproduce de forma endogámica ya que machos y hembras de la misma descendencia se aparean en el interior de frutos de café (Bustillo *et al.* 1998). Esta endogamia es acentuada por un proceso citológico conocido como haplodiploidia funcional (Brun, *et al.* 1995), en la cual ambos sexos son diploides pero los machos heredan y transmiten solo sus cromosomas de origen materno. Estas condiciones sugieren que la broca se reproduce en líneas estrictamente maternas (Benavides *et al.* 2005). De esta manera, es de esperar que los niveles de variación genética sean muy bajos, y sería probable determinar la biogeografía de esta plaga si existe suficiente variación genética entre líneas. Los objetivos de este estudio (Benavides 2003) fueron: (1) usar la técnica de AFLP (Amplified Fragment Length Polymorphism) para determinar la variación genética de muestras de broca provenientes de 17 países en Asia, Africa y América, (2) determinar sub-estructura de poblaciones y (3) realizar inferencias con respecto a la biogeografía de la broca.

### Materiales y Métodos

Se recolectaron 101 muestras de broca provenientes de Brasil, Colombia, Costa Rica, República Dominicana, Ecuador, Honduras, México, Nicaragua, Perú, El Salvador, Jamaica, Camerún, Etiopía,

Kenia, Uganda, Indonesia e India. Las muestras correspondieron a cerezas individuales y a cerezas múltiples. Cerezas individuales se refieren a todos los estados de broca presentes en cerezas individuales y representaron la variación genética a nivel del fruto. Cerezas múltiples se refieren a hembras adultas que emergieron de frutos infestados recolectados en diferentes fincas. Estas muestras representaron la variación genética presente a nivel de finca.

La técnica de AFLP se desarrolló de acuerdo a la metodología sugerida por el proveedor del kit *AFLP Analysis II for small genomes* (Invitrogen, Carlsbad, CA). Se evaluaron inicialmente 40 combinaciones de iniciadores con dos poblaciones colombianas y se seleccionaron seis para la determinación de la variación genética. Posteriormente se seleccionaron dos combinaciones de iniciadores para realizar un análisis de varianza molecular (AMOVA) de la forma descrita en *Arlequin v2.0*, y un estudio filogenético mediante un análisis de Neighbor-Joining usando el programa *PAUP (Phylogenetic Analysis Using Parsimony)*.

## Resultados y discusión

La variación genética hallada después de analizar las huellas dactilares de 73 muestras en 12 países con seis combinaciones de iniciadores (Tabla 1), mostró que Uganda tenía 2 a 7 veces mayor porcentaje de polimorfismos que los otros países, excepto Brasil. El porcentaje de polimorfismos entre muestras a través de cada combinación de iniciadores fue 10 veces mayor (Tabla 2). Estas observaciones fueron consistentes con investigaciones previas de la biología de la broca. Se encontró una variabilidad genética muy baja debido al nivel tan alto de endogamia reportado. Además, como era esperado, se encontró una variación mas alta en el presunto centro de origen de la broca (Africa Central). La abundancia de variación genética encontrada en Brasil fue consistente con registros de literatura donde se indica la introducción de la broca en este país procedente de múltiples orígenes (Java y Congo).

**Tabla 1. Polimorfismos de ADN detectados mediante la técnica de AFLP por país.**

País	N	No. total de bandas	No.de bandas polimórficas	% polimorfismo
Brasil	14	201	21	10.4
Camerún	1	197	---	---
Colombia	1	192	---	---
Ecuador	5	194	1	0.5
Honduras	7	194	3	1.6
Indonesia	4	195	1	0.5
India	6	192	1	0.5
Jamaica	2	191	0	0
México	15	192	2	1.0
Nicaragua	5	198	7	3.5
Uganda	12	210	15	7.1
El Salvador	1	195	---	---

\* No fue posible estimar polimorfismos debido al tamaño de muestra

**Tabla 2. Polimorfismos de ADN detectados por la técnica de AFLP por combinación de iniciadores.**

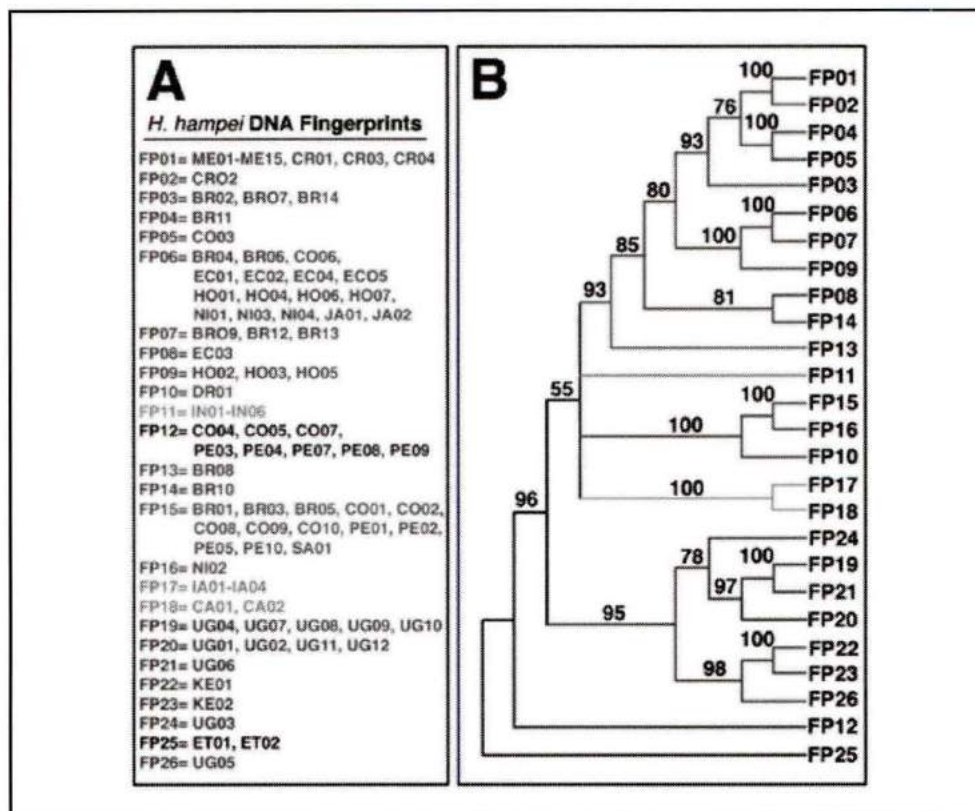
Combinación de iniciadores	No. total de bandas	No. de bandas polimórficas	% Polimorfismos
E-AT/M-CAT	45	4	8.9
E-AA/M-CTA	41	8	19.5
E-AT/M-CTC	40	15	37.5
E-AT/M-CTG	40	14	35.0
E-TG/M-CAT	43	9	20.9
E-TG/M-CTG	23	2	8.7
TOTAL	232	52	22.4

Con el fin de evaluar la utilidad de las huellas dactilares y determinar el nivel de endogamia de la broca, se realizó un análisis de varianza molecular. Las barreras geográficas usualmente dividen las especies en sub-poblaciones. Estas especies se dicen que poseen una sub-estructura de poblaciones en las cuales individuos de la misma sub-población tienen mayor probabilidad de cruzarse entre sí y no con otra sub-población. Esta diferenciación genética puede evaluarse mediante el índice de fijación  $F_{ST}$  el cual cuantifica el efecto de la endogamia en la sub-estructura de la población. Especies como la broca del café, las cuales se reproducen a niveles altos de endogamia, se esperan que posean una gran diferenciación genética entre áreas geográficas y entre sub-poblaciones debido al establecimiento de líneas múltiples altamente diferenciadas en cada región. En vez de partir la varianza en la frecuencia de alelos y correlacionar genes como lo indica el análisis de  $F$  - estadística con marcadores co-dominantes, en este análisis de  $F_{ST}$  -estadística se partió la varianza genotípica y se correlacionaron los genotipos (Tabla 3). Valores de  $F_{ST}$  inferiores a 0.05 indican que no existe diferenciación genética, entre 0.05 y 0.25 indican niveles bajos a moderados, y un índice mayor a 0.25 es indicativo de una alta diferenciación genética. Como se encontró en la broca, estos resultados indican que varias líneas de broca se han dispersado en el mundo, y cada una de estas líneas ha evolucionado independientemente como consecuencia de su alto nivel de endogamia.

Los análisis realizados hasta este momento indican que es apropiado representar cada huella dactilar como una línea endogámica diferente, de tal manera que la distribución de estas huellas entre países es altamente informativa (Figura 1A). La mayor cantidad de huellas dactilares fue encontrada en África. Líneas múltiples fueron halladas en Brasil, América Central e islas del Caribe,

**Tabla 3. Análisis de varianza molecular mostrando una alta diferenciación genética de la broca en nueve países.**

Grupo	Varianza	g.l.	Varianza	% total	$p^*$	$\Phi$ -estadístico
1	Entre localidades $\sigma_a^2$	8	0.216	46.46	0.000	$\Phi_{ST} = 0.464$
	Dentro de localidades $\sigma_c^2$	59	0.249	53.54	0.000	
	Total	67	0.465			



**Figura 1. Análisis de Neighbor-Joining de huellas digitales de broca. (A) Distribución de huellas digitales (FP01-FP26). (B) Los 6 mayores grupos y muestras de Etiopía como Outgroup.**

Colombia, Ecuador y Perú. Huellas dactilares únicas fueron encontradas en India, Indonesia y Camerún. Solo cuatro huellas se encontraron en varios países, y este fenómeno sucedió únicamente en países del continente Americano comprendiendo el 76% de las muestras Latino Americanas. El alto número de líneas descubiertas en Brasil sugiere que la broca en América se originó en este país y posteriormente se dispersó por todo el continente. Esta observación la apoya la información contenida en las huellas dactilares FP06 y FP15. La huella dactilar FP12 fue evidente solo en Perú y Colombia, y la FP01 en México y Costa Rica. Esto indica que el origen de algunas brocas de Costa Rica pudo tener su origen en México, al igual que algunas de Colombia pudieron haber provenido de Perú.

Con el fin de evaluar el grado de similitud que existía entre huellas dactilares, se realizó un análisis filogenético bajo la estructura de Neighbor-Joining (Figura 1B). Este análisis asumió que los AFLP revelaron suficiente variación para determinar la similitud genética entre huellas y que cada población introducida fue derivada de una sub-población de origen. Las muestras de Etiopía sirvieron como "out-group" dado que estas muestras, no solo fueron muy diferentes a las demás, sino que provenían del presunto centro de origen de la broca. El análisis de Neighbor-Joining separó las 26 huellas

dactilares en 6 grupos. El grupo conteniendo Kenia y Uganda estuvo claramente separado de los demás. Otros 4 grupos fueron más similares entre sí, sin embargo las muestras de Indonesia y Camerún estuvieron en un mismo grupo y las muestras de India formaron un grupo independiente. Las huellas encontradas en el continente Americano formaron 3 grupos. Estos resultados sugieren que las líneas de Indonesia e India provinieron de introducciones independientes. La alta similitud entre muestras de Indonesia y Camerún sugieren que los insectos que invadieron Indonesia provinieron del oeste Africano. La separación de éstas muestras con aquellas del este Africano es consistente con la hipótesis de la llegada de la broca al Brasil, las cuales fueron reportadas como introducidas del Congo (oeste Africano) y de Java (Indonesia). Se encontraron evidencias de la introducción de 3 líneas en el continente Americano, y se corrobora la hipótesis de que la broca llegó inicialmente al Brasil y posteriormente se dispersó por el resto de las Américas.

## Literatura Citada

- BENAVIDES P. 2003. Genetic variability and global distribution of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae). Tesis Ph. D., Purdue University, Department of Entomology, USA.
- BENAVIDES P, VEGA F, ROMERO-SEVERSON J, BUSTILLO A, STUART J. 2005. Biodiversity and biogeography of an important inbred pest of coffee, the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). Ann. Entomol. Soc. Am. 98 (3): 359-366.
- BUSTILLO A. E, CÁRDENAS R, VILLALBA D, BENAVIDES P, OROZCO J, POSADA F. 1998. Manejo Integrado de la Broca del Café. Editorial Cenicafé, Chinchiná. 134p.
- BUSTILLO P., A. E.; CARDENAS M., R.; VILLALBA G., D.; BENAVIDES M., P.; OROZCO H., J.; POSADA F., J. 1998. Manejo integrado de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) en Colombia. Federación Nacional de Cafeteros, Centro Nacional de Investigaciones de Café "Pedro Uribe Mejía", Cenicafé. Editorial Feriva S. A. 134 p.
- BRUN LO, STUART J, GAUDICHON V, ARONSTEIN K, FFRENCH-CONSTANT R. H. 1995. Functional haplodiploidy: a mechanism for the spread of insecticide resistance in an important international insect pest. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 92: 9861 - 9865.

## Modelo tritrófico café-broca-parasitoides: una aproximación al análisis y manejo del agroecosistema del café

José Ricardo Cure, Ph. D.

Facultad de Ciencias. Universidad Militar Nueva Granada. Apartado Aéreo 49300. Bogotá. jrcure@umng.edu.co

### Resumen

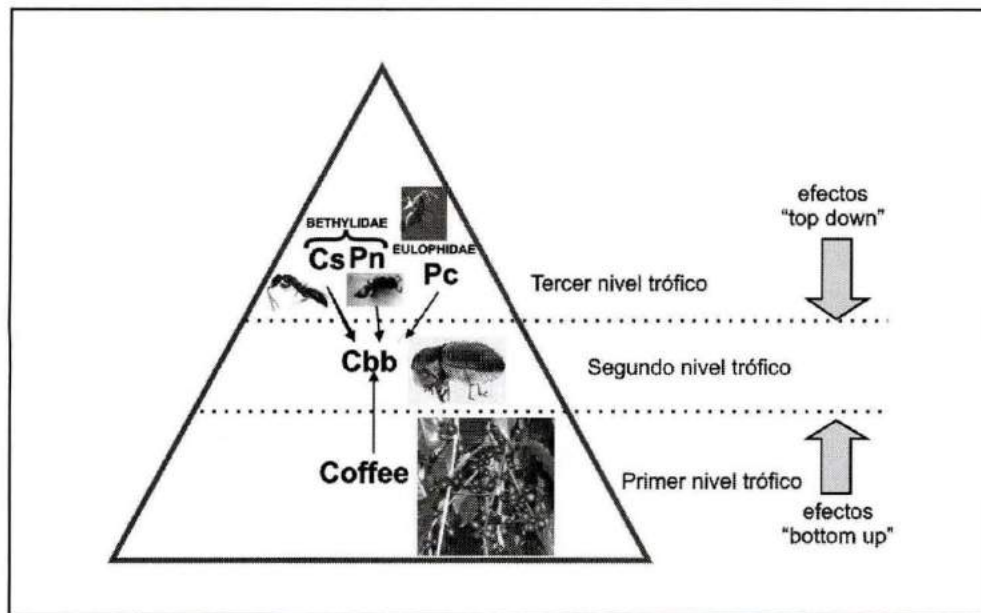
El sistema tritrofico café (*Coffea arabica*)-broca (*Hypothenemus hampei*)-parasitoides (*Cephalonomia stephanoderis*, *Prorops nasuta* y *Phymastichus coffea*), fue analizado mediante la elaboración de un modelo de simulación que considera los aspectos básicos de la biología y fenología de cada uno de los componentes del sistema, su fisiología y su dinámica de población. El modelo permite analizar de forma simultánea o en diferentes combinaciones, cualquier de las siguientes situaciones: 1) oferta de frutos por parte de la planta, 2) presencia de la broca y sus efectos sobre la producción, 3) influencia de la cosecha y de los frutos no cosechados en la dinámica de población de la broca y de cada uno de sus parasitoides, 4) influencia de la remoción de los frutos que caen al suelo sobre la dinámica de la broca, 5) efecto individual, o en combinación, de cada uno de los parasitoides sobre el control de la broca, 6) efecto de las introducciones inundativas de los parasitoides, en diferentes momentos del desarrollo de los frutos, 7) efecto de productos químicos con niveles de control diferente.

### Introducción

La existencia de cuatro parasitoides africanos (*Cephalonomia stephanoderis*, *Prorops nasuta*, *Phymastichus coffea* y *Heterospilus coffeicola*) que actúan como enemigos naturales de la broca del café y de entomopatógenos como *Beauveria bassiana*, generan una expectativa optimista para el manejo sostenible del cultivo. El trabajo publicado por Gutiérrez et al. (1998) ofrece la posibilidad de integrar todos estos elementos, de tal forma que se puedan explorar las posibilidades que tienen para el control de la broca, sin embargo este trabajo ha sido muy poco divulgado y lamentablemente las ventajas que ofrece no han sido comprendidas adecuadamente. Las raíces de este enfoque se encuentran en la ecología de poblaciones, y se originó a partir de los trabajos pioneros realizados en algodón por la Universidad de California, Berkeley a partir de los años 70. De allí se ha ampliado a muchos otros cultivos y ha contribuido a la solución de problemas agrícolas en grande escala, habiendo demostrado ser una poderosa herramienta para el análisis de los agroecosistemas (Wang et al. 1977; Wermelinger et al., 1991; Herren, 1996).

El modelo tritrófico que aquí presentamos, permite realizar un análisis de los componentes más relevantes que actúan sobre la broca (top-down, bottom-up, Figura 1) de tal forma que sea posible explorar las posibilidades del control biológico en diferentes situaciones climáticas e incluso explorar la posibilidad de acercarse a un control biológico clásico, modificando parámetros del manejo del cultivo.

La modelación matemática es utilizada hoy en día de forma muy amplia por todas las disciplinas biológicas y con muy diferentes propósitos. Se ha hecho un gran esfuerzo para diseñar modelos didácticos que permitan entender sistemas complejos como son los ecosistemas naturales. Las relaciones entre los organismos y las complejidades de los diferentes ciclos de vida envueltos en las interacciones, tienen consecuencias en las poblaciones de los organismos, que muchas veces no pueden ser comprendidos apenas por la evidencia empírica. El modelo aquí presentado



**Figura 1. Factores que intervienen en la regulación de las poblaciones de la broca del café.**

busca, precisamente, entender y de alguna forma cuantificar las relaciones ecológicas relevantes del sistema. Se encuadra en lo que hemos llamado modelos ecológicos, los cuales tienen como finalidad el estudio de los mecanismos que utiliza la naturaleza para mantener sostenible un agroecosistema (conclusiones del taller: "Sistemas de análisis y modelación del café, la broca y sus enemigos naturales" realizado durante la "Reunión Intercontinental sobre broca del café-II", 1998).

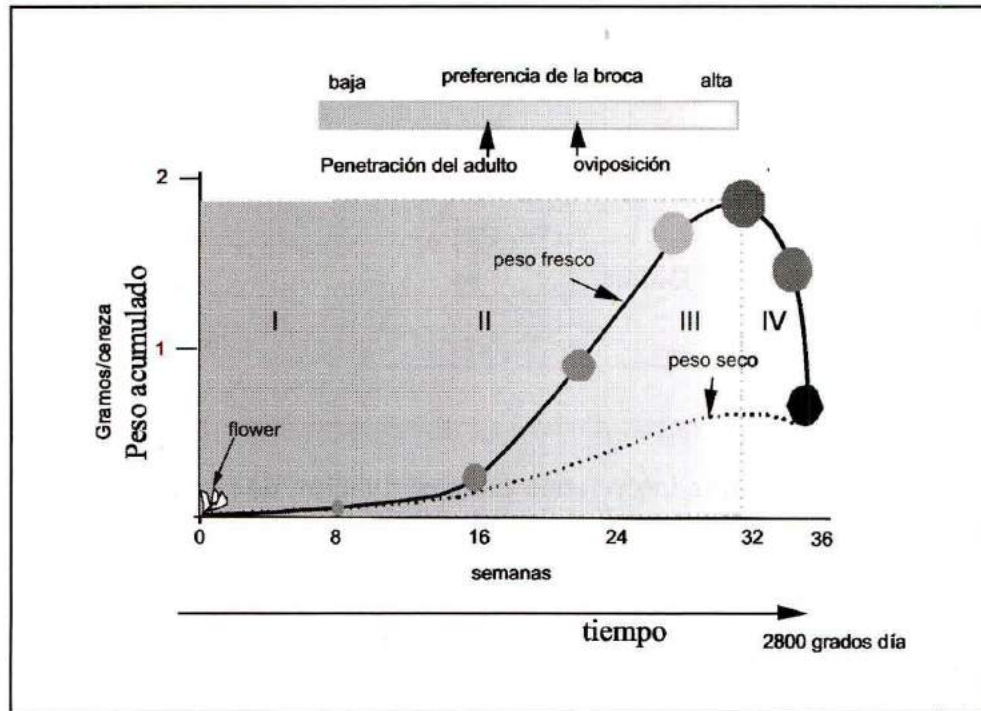
Los modelos ecológicos son herramientas que nos permiten integrar información: ¿Cómo organismos de diferentes niveles tróficos y actuando sobre condiciones cambiantes de clima, resuelven sus problemas básicos de supervivencia? y cómo en ciertas circunstancias estos mecanismos fallan y se producen los problemas de desequilibrio ecológico, que generan los problemas de plagas? En ellos se puede cuantificar lo que se sabe acerca de una relación ecológica y de esta forma se pueden identificar las piezas de información relevantes que están faltando. El mayor mérito de los modelos de simulación es que nos obligan a reconocer y a determinar explícitamente las piezas vitales de información existente y cuales de ellas están faltando (Gilbert *et al.*, 1981).

### Datos utilizados para la propuesta del modelo del café

Los estudios de campo que sirvieron de base para la elaboración del modelo provienen del Instituto Agronómico do Paraná (IAPAR, Londrina, Brasil), de un cultivo de la variedad *mundo novo*, sembradas en densidad de 3x2m a razón de dos plántulas en cada hoyo. Las plántulas tenían seis pares de hojas en el momento de la siembra realizada el 12 de noviembre de 1982. Muestras de las plantas se recolectaron a intervalos de 20 días durante cerca de tres años y medio, entre el 10 de marzo de 1983 y junio 1 de 1986. Tres muestras (seis plantas en total) fueron recolectadas en cada fecha. Cada árbol de café muestreado se disecó en sus diferentes órganos y estos se secaron y pesaron.



En los muestreos la parte correspondiente a los frutos se clasificó en cuatro estados diferentes (fases fenológicas I-IV de acuerdo a Salazar *et al.*, 1993), que varían en sus preferencias de ataque a los frutos (Cure *et al.* 1998) (Figura 2). Estos muestreos se realizaron en un cultivo en que se realizó control permanente de la broca.



**Figura 2. Fases de desarrollo del fruto (cf Salazar *et al.*, 1993) y preferencias de la broca por diferentes estados del fruto (Cure *et al.*, 1998).**

La fenología y abundancia de los estados biológicos de la broca se estimó en un cultivo diferente en el cual no se realizó control del insecto, con muestreos semanales comprendidos entre febrero 17 de 1986 y julio 7 de 1986. En este muestreo se retiraban 30 cerezas recogidas sobre la planta en tres alturas diferentes. Las cerezas se disecaron y se registró el número y los estados biológicos encontrados en cada uno de los muestreos.

La información biológica para *Cephalonomia stephanoderis* se tomó de los trabajos de Hempel, 1934, Toledo, (1942), Abraham *et al.* 1990, Barrera *et al.*, (1989), Infante & Luis, (1993), Portilla & Bustillo, (1995); para *Prorops nasuta* de Barrera *et al.* 1999, Abraham *et al.* (1990) y para *Phymastichus coffea* de Feldhege, (1992), Infante *et al.* (1994) y Bustillo, (1995). Nuevas informaciones y aportes sobre la biología de estos y otros parasitoides son fácilmente incorporables al modelo.

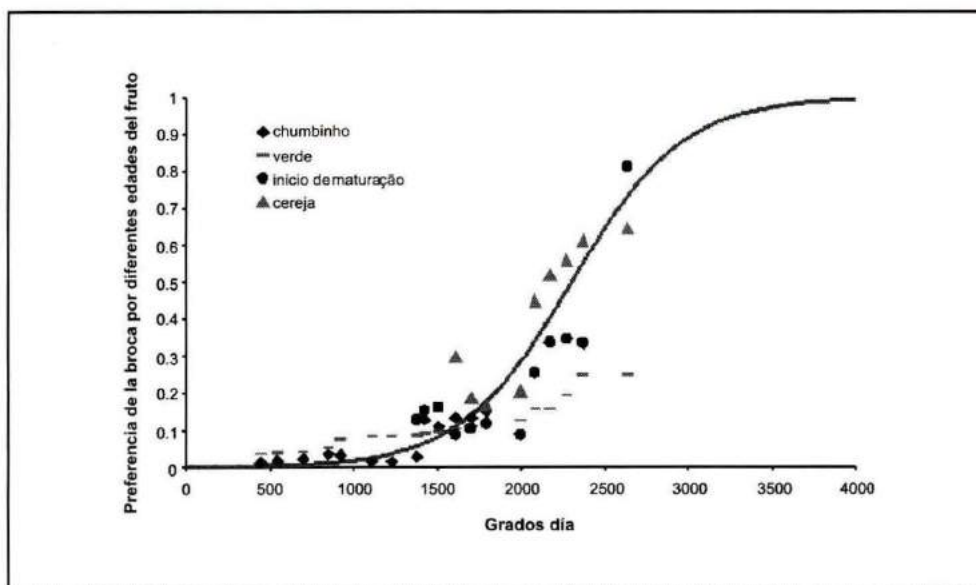
### Fundamentos teóricos del modelo

El enfoque utilizado coloca en perspectiva, de forma simultánea cinco (5) componentes biológicos del agroecosistema del café: la planta, la broca y tres de sus parasitoides. Estos componentes se modelan dentro de un contexto dado por las condiciones climáticas locales y por las variables de

manejo, lo que permite independizarlo de los datos que sirvieron de base para su elaboración. El modelo es parametrizado con en base a características genéticas potenciales (máxima demanda) de los organismos considerados. Las relaciones oferta/demanda determinan la proporción de la demanda potencial que puede alcanzarse bajo unas condiciones específicas de clima y manejo. El modelo es perfectamente transportable de una localidad geográfica a otra, siempre y cuando se tenga el registro de dichas variables.

Para el análisis de un determinado nivel trófico, el modelo parte del presupuesto de que la adquisición de recursos en el nivel trófico  $i$  ( $M_i^*$  = respuesta funcional en el contexto de la ecología de poblaciones) es función de la cantidad de recursos disponibles en el nivel trófico inmediatamente anterior  $M_{i-1}$ , de la habilidad o capacidad del organismo en el nivel trófico  $i$ , para capturar el recurso ( $s_i$ ) y de la demanda por el recurso ( $b_i$ ) en ese mismo nivel trófico:  $M_i^* = f(M_{i-1}, b_i, s_i)$ . Por ejemplo, en el contexto de la planta de café, la cantidad de fotosimilados dependerá de la cantidad disponible de energía (radiación solar), de la habilidad de la planta para captarla (índice de área foliar) y de la demanda que la planta tenga para crecer, la cual está genéticamente determinada (potencial máximo). Este mismo concepto se aplica a todos los niveles tróficos desde la planta hasta los parasitoides. Todos los elementos del modelo están dentro del contexto de la dinámica de poblaciones y por tanto tienen estructura de edades, lo que les confiere un gran poder para simular los datos de campo (Gutiérrez, 1996).

Los resultados observados en campo dependen, no solamente de los niveles tróficos inferiores, sino también de la acción directa de los niveles tróficos superiores: efectos que en la literatura actual se conocen como "top down" y "bottom up". En nuestro caso la explicación de la dinámica poblacional de la broca depende de la cantidad de frutos presentes y susceptibles de ser atacados (nivel trófico  $M_{i-1}$ ) y de la acción de los parasitoides sobre ella (nivel trófico  $M_{i+1}$ ). Por su vez el número de frutos también depende de las condiciones climáticas que determinan la floración y del estado agronómico del cultivo, lo que también es considerado en el modelo.



**Figura 3. Modelo utilizado para preferencia de la broca por diferentes estados fenológicos de los frutos.**

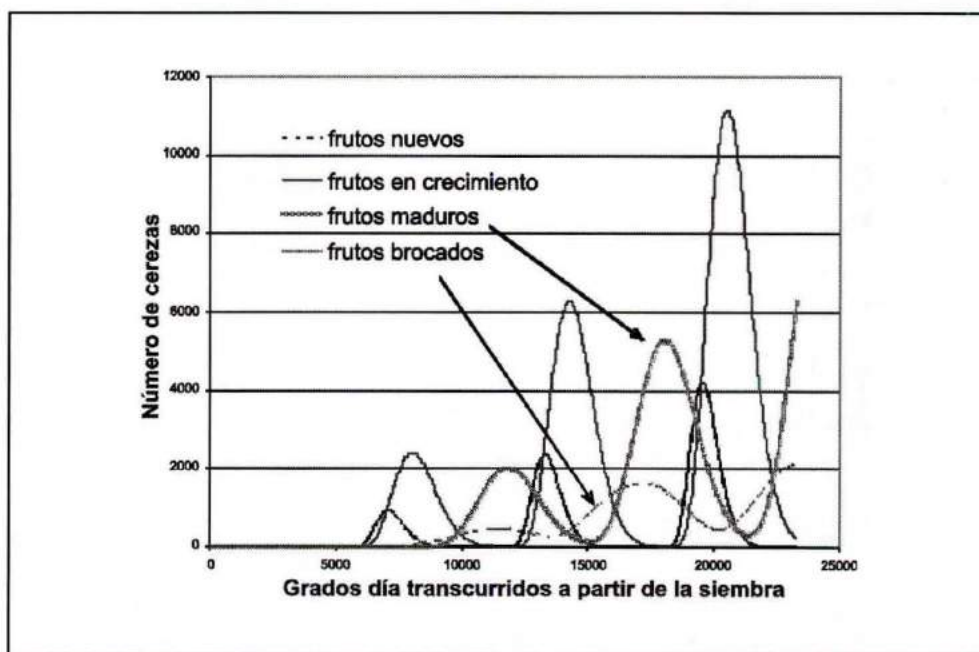
## Resultados

Una vez formulado el modelo se procedió a su utilización para simular los siguientes factores:

- 1) Oferta de frutos por la planta.
- 2) Presencia o ausencia de la broca y su efecto sobre la producción.
- 3) Influencia de diferentes eficiencias de cosecha y por tanto la importancia del re-re (repase) sobre el control de la broca.
- 4) Remoción de frutos caídos y su influencia en la disminución de la broca y de sus parasitoides.
- 5) Incorporación del efecto de los parasitoides, individualmente o en conjunto sobre el control de la broca.
- 6) Efecto de la liberación de parasitoides en diferentes cantidades y momentos del ciclo sobre el control de la broca.
- 7) Efecto de las aplicaciones de insecticidas sobre el control de la broca.

Se encontró que la oferta de frutos fue adecuadamente descrita a partir de tazas calculadas en base a la acumulación de materia seca del año anterior, modificadas de acuerdo a la relación oferta/demanda vegetativa y a la información climática diaria, considerando un modelo de evapotranspiración relativamente simple (Ritchie, 1972).

La dinámica del desarrollo de los frutos es dada por las condiciones nutricionales de la planta y por la temperatura y permite diferenciar la abundancia de cualquier estado fenológico en un instante determinado (Figura 4), lo cual mostró un comportamiento muy bien acorde con los datos de referencia.

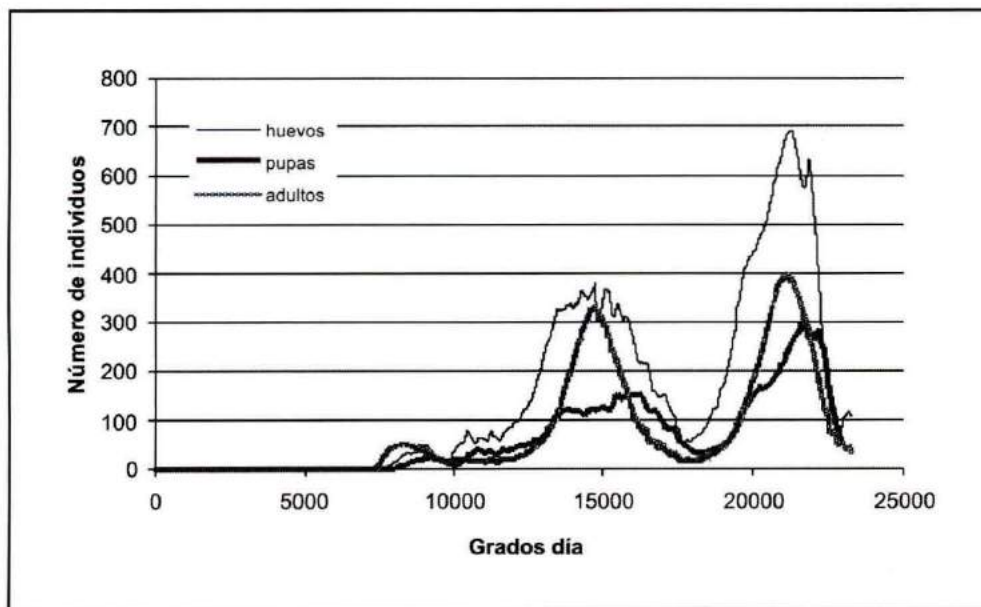


**Figura 4. Simulación de los diferentes estados fenológicos de frutos, con presencia de la broca y en ausencia de cosecha.**

Aspectos comportamentales de la broca tales como, su preferencia por frutos de diferentes edades (Figura.3) o su capacidad de búsqueda, son manejadas en el modelo a través de una matriz poblacional de dos dimensiones: una dimensión para las edades de los frutos y la otra para las edades de la broca. Las brocas hembras y su progenie van desarrollándose dentro de las cerezas a tasas que dependen de la temperatura y de la edad de los frutos. El modelo permite determinar el número de frutos suficientemente maduros para la oviposición y llevar el registro del desarrollo de la progenie en los frutos que están en el árbol y también de aquellos que caen al suelo. Este sistema provee las bases necesarias para una correcta simulación de la biología de los parasitoides y su impacto sobre los distintos estados fenológicos de la broca.

En la Figura 5 se ilustran los diferentes estados fenológicos de la broca en una simulación que incluyó el parasitoide *P. coffea* en ausencia de cosecha. El modelo permite también simular diferentes niveles de cosecha y asociarlos a diferentes magnitudes de caídas de los frutos al suelo. Porcentajes de cosecha diferenciales permiten examinar el impacto del re-re sobre el control de la broca. Para poder simular estas situaciones la simulación lleva un registro del número de adultos de la broca que se encuentra dentro de los frutos y del número de adultos por fuera de los frutos. De esta forma se puede predecir el impacto de los insecticidas tanto de contacto como sistémicos. Incluso puede acomodarse la acción selectiva de *Beauveria ligandola* a las condiciones climáticas, a la edad de los frutos, a los estados fenológicos de la broca y a los adultos que están buscando los nuevos frutos.

Las simulaciones realizadas indican que los parasitoides Bethyilidae tienen un efecto en demorar la primera infestación de la broca pero muy pronto se alcanzan niveles de daño de 100%. Esto no elimina totalmente la posibilidad de que estos parasitoides puedan tener un papel en el manejo integrado, particularmente en los momentos iniciales de la infestación, o entre las cosechas, mientras



**Figura 5. Simulación de los diferentes estados fenológicos de la broca en ausencia de cosecha y con presencia de *Phymastichus coffeae*.**

hay adultos suficientes de la broca, que permitan que el parasitoide de adultos *P. coffeae* tenga posibilidad de entrar en el sistema. Aquí sería necesario realizar un análisis costo-beneficio.

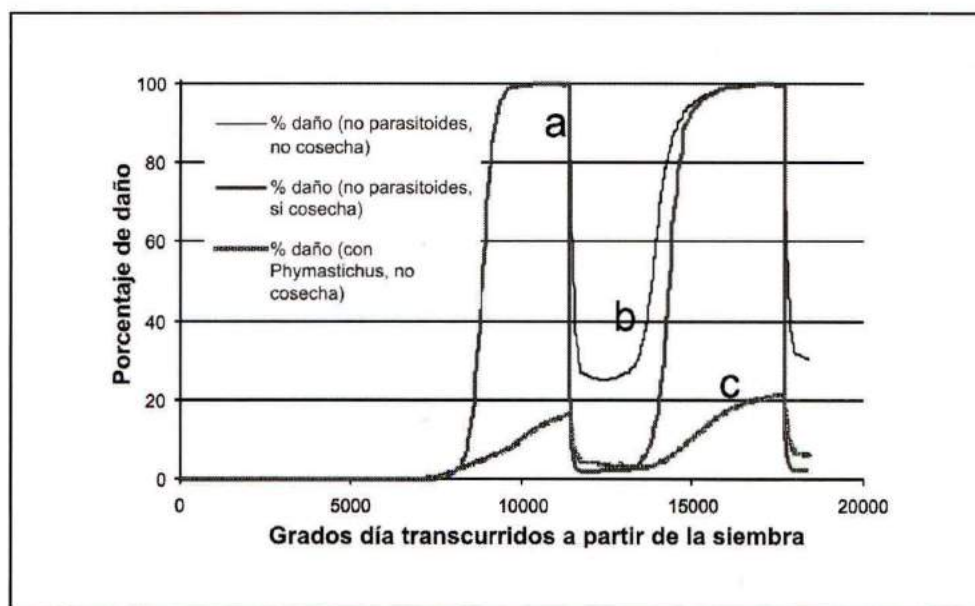
Nuevos detalles de la biología de los parasitoides betilidos, como por ejemplo la constatación de que ellos pueden ovipositar en más de un fruto durante su ciclo de vida, son fácilmente incorporables en el modelo a través de modificaciones en su demanda por frutos, que tiene consecuencias en sus tasas de búsqueda.

En la Figura 6 (c) se observa el impacto que tiene *P. coffeae* en el control de la broca, cuando no hay cosecha. La influencia de la cosecha (95% cosechado y 5% remanente en las plantas) se observa en la misma Figura 6 (a y b). La simulación o no de la cosecha tienen un valor para entender la reiniciación de las poblaciones en cada ciclo y la importancia relativa del re-re.

Las simulaciones permiten concluir que el impacto de la cosecha sobre *Phymastichus* es muy grande y que por esta razón el control biológico clásico estricto no será probablemente exitoso. El modelo indica que después de las cosechas será necesario realizar algunas nuevas liberaciones del parasitoide. Bajo esta nueva óptica probablemente el re-re también pueda ser revaluado, teniendo en cuenta que podría garantizar la rápida iniciación de *Phymastichus*.

## Conclusiones

- 1) La combinación de la acción de los betilidos o cada uno de ellos individualmente, tienen poco impacto sobre las poblaciones de la broca aún asumiendo altas tasas de inmigración en relación



**Figura 6. Porcentaje de frutos bocados: a) en ausencia de los parasitoides incluyendo la cosecha, b) en ausencia de los parasitoides y sin cosecha, c) incluyendo *Phymastichus coffeae* y sin la cosecha.**

- con las de la broca (0.25 parasitoides por planta por día vs. 0.5 brocas por planta por día y asumiendo tasas de búsqueda elevadas para los dos parasitoides ( $\alpha = 0.6$ ).
- 2) Elevar la tasa de inmigración de los betilidos mejoró la situación pero el control solamente se conseguía a tasas extremadamente elevadas. El control de la broca por estos parasitoides tampoco mejora si asumimos que en todos los casos el parasitoide mata a la broca (esto porque al matar a la broca dentro del fruto el parasitoide disminuye el potencial futuro de sí mismo).
  - 3) Las simulaciones en las que se ha incluido el parasitoide de adultos *P. coffea* indican reducciones marcadas de las densidades de la broca, a pesar de que se asuma una tasa de búsqueda muy baja para el parasitoide ( $\alpha = 0.06$  comparada con  $\alpha = 0.6$  para los betilidos) y con una tasa de inmigración la quinta parte de la asumida para los betilidos.
  - 4) La eficiencia de *P. coffea* no es afectada si consideramos que la razón sexual hembras/machos de 20:1 encontrada por Feldhege (1992) se sustituya por la razón sexual de 3:1 encontrada en los experimentos de laboratorio (Infante et al. 1994).
  - 5) *P. coffea* ataca en un momento muy inicial y por tanto tiene un efecto inmediato sobre la futura generación de la broca, además, pueden atacar más de un fruto por día. El efecto de este comportamiento es muy drástico y consigue eliminar una buena proporción de la población de la broca.
  - 6) En las simulaciones fue incluido también el efecto de la cosecha y de la remoción de los frutos del suelo sobre el control de la broca. Se pueden asumir diferentes niveles de cosecha lo que permite manejar en el modelo la influencia del re-re (repase) sobre el control de la siguiente generación de la broca. Las simulaciones muestran que el impacto de la remoción de los frutos es positivo en la primera producción, reduciendo el ataque de la broca en un 40%, sin embargo en la siguiente producción el ataque de la broca se eleva al doble debido a que la cosecha y el re-re afectan más a *P. coffea* que a la broca. Liberaciones inundativas de *P. coffea* de forma temprana en el ciclo puede ser una práctica importante para conseguirse un control biológico efectivo, particularmente después de que el re-re (repase) e la limpieza de frutos en el suelo disminuye los niveles de parasitoides para el siguiente ciclo.
  - 7) Liberaciones inundativas y aumentativas de *C. stephanoderis* han sido ampliamente promovidas sin embargo los resultados de las simulaciones indican que esta estrategia es apropiada solamente a niveles de infestación muy bajos y por tanto debe evaluarse la relación costo beneficio de la producción de estos parasitoides.
  - 8) La utilización de feromonas no fue explorada en el modelo pero de acuerdo a las características de la cópula de la broca, dentro del fruto con machos allí generados, esta técnica tendría poco efecto en el control. Otro tipo de semioquímicos que enmascaren los sitios de oviposición para el ataque de la broca o que atraigan las hembras adultas a trampas podrán ser explotados y tener un papel en el manejo integrado o de la broca.

## Perspectivas

Los trabajos realizados por Iapar (Londrina, Brasil) y por Ecosur (Méjico), entre otros, indican que existe un buen potencial para la incorporación de las trampas para el control de la broca,

principalmente en los períodos de inter-cosecha (Workshop Internacional. Manejo da broca do café, 2004). Su efecto debe ser examinado en conjunto con las otras medidas de control, ya que además de su acción indirecta sobre los parasitoides, al disminuir la población de adultos de la broca, pueden tener también un efecto directo sobre ellos. Para modelar este nuevo elemento necesitamos obtener los datos de campo que relacionen las capturas, con la disposición y densidad de las trampas y sus efectos sobre los diferentes parasitoides. Problemas como el del "minador de la hoja", de gran importancia económica en algunas regiones brasileras, podrá incorporarse en el modelo, próximamente, teniendo en cuenta el interés que ha demostrado la Universidad Federal de Vicosa en participar con nosotros en los estudios básicos que permitan incorporar los conocimientos existentes en ese campo en el Brasil.

La acción de otros elementos de control, como *Beauveria* pueden incorporarse en este momento como factores de mortalidad de la broca, en función de su virulencia, pero aún sería necesario tener una forma de relacionar su eficacia en relación a los parámetros climáticos, lo que daría al modelo una posibilidad mucho mas amplia de evaluar las posibilidades de este control en condiciones de clima específicas y frente al control ejercido por los parasitoides.

El concepto de agroecosistema y de manejo sostenible en el cultivo del café cobra gran relevancia en los mercados globalizados, en los que temas como la "denominación de origen", ofrecen un valor agregado para los productores. El enfoque presentado en este trabajo responde adecuadamente a este contexto y puede ofrecer las herramientas fundamentales para hacer una realidad la producción ecológica de este cultivo.

A pesar de los alcances que puedan tener los modelos y de su creciente utilización, no podemos olvidar que estos son apenas abstracciones de la realidad y por tanto no contienen toda la complejidad de los ecosistemas en la naturaleza. Esto, sin embargo, es lo que se busca - identificar los aspectos más relevantes, de tal forma que podamos influir sobre ellos y conseguir mejores resultados.

## Literatura Citada

- ABRAHAM, Y.J., D. MOORE, & G. GODWIN. 1990. Rearing and aspects of biology of *Cephalonomia stephanoderis* and *Prorops nasuta* (Hymenoptera, Bethyridae), parasitoids of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) Bull. Ent. Res. 80:121-128.
- BARRERA, J.F.J., J. GOMEZET, F. INFANTE, A. CASTILLO, & W. DE LA ROSA. 1989. Biologie de *Cephalonomia stephanoderis* Betrem (Hymenoptera: Bethyridae) en laboratoire. I. Cycle biologique, capacité d'oviposition et emergence du fruti du caféier. Café-Cacao-The 33:101-108.
- CURE, J.R., H.S. DOS SANTOS, J.C. MORAES, E.F. VILELA, A.P. GUTIERREZ. 1998. Fenologia e dinamica populacional da broca do café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) relacionadas às fases de desenvolvimento do fruto. Anais da Sociedade Entomologica do Brasil (Neotropical entomology), 27(3): 325-335.
- FELDHEGE, M.R. 1992. Rearing techniques and aspects of biology of *Phymastichus coffea* (Hymenoptera: Eulophidae), a recently described endoparasitoid of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). Café-Cacao-The 36:45-54.
- GILBERT, N., A.P. GUTIERREZ, B.D. FRAZER & R.E. JONES. Relaciones Ecológicas. Blume, 1981 (edición en español).

- GUTIERREZ, A. P. 1996. Applied population ecology. A supply-demand approach. John Wiley and sons, Inc.
- GUTIERREZ, A.P., A.VILLACORTA, J.R.CURE & C.K.ELLIS. 1998. Tritrophic análisis of the coffee (*Coffea arabica* – coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*, - parasitoid system. Anais da Sociedade Entomologica do Brasil (actualmente Neotropical entomology). 27(3): 357-385.
- HEMPEL, A.1934 A *Prorops nasuta* Waterson no Brasil. Arq.Inst.Biol.Sao Paulo 5:197-212.
- HERREN, H.R. 1996. Cassava and cowpea in Africa In: G.J.Persley Editor: Biotechnology and integrated pest management. CAB International Biotechnology in Agriculture No.15.
- INFANTE, F. & J.H.LUIS, 1993. Estadísticos demográficos de *Cephalonomia stephanoderis* (Betrem) (Hymenoptera:Bethylidae) a temperaturas constantes. Folia Entomol. Mex. 87:61-72.
- INFANTE,F.,S.T., MURPHY,J.F., BARRERA, J.W. DE LA ROSA & A. DAMON. 1994. Cría de *Phymastichus coffea* parasitoide de la broca del café y algunas notas sobre su historia de vida. Southwestern Entomol.19: 313-315.
- PORTILLLA, M. & A. BUSTILLO, 1995. Nuevas investigaciones en la cría masiva de *Hypothenemus hampei* y de sus parasitoides *Cephalonomia stephanoderis* y *Prorops nasuta*. Rev.Colomb.Entomol. 21:25-33.
- REUNIÓN INTERCONTINENTAL SOBRE LA BROCA DEL CAFÉ II. Programa y Resúmenes. Tapachulas, Chiapas, Mexico. Marzo 29 – Abril 2. 1998.
- RITCHIE, J.T. 1972. Model for predicting evaporation from a row crop with incomplete cover. Water Resources Res. 8: 1204-1213.
- SALAZAR, G.M.E.R, J.A.PULGARIN,N.M.R.HERRERA, A.BUSTILLO. 1993. Crecimiento y desarrollo del fruto del café y su relación con la broca. Cenicafé 194. 2p.
- TOLEDO, 1942. Notas sobre a biología da vespa de uganda *Prorops nasuta* Waterson (Hymenoptera, Bethylidae) no Estado de Sao Paulo, Brasil. Arq. Inst.Biol. Sao Paulo 13:233-260.
- WANG, H.Y. GUTIERREZ, A.P., OSTER, G. & DAXL, R. 1977. A population model for cotton growth and development: coupling cotton-herbivore interactions. Canadian Entomologist 109: 1359-1374.
- WERMELINGER, B., J. BAUMGAERTNER AND A.P. GUTIERREZ. 1991. A demographic model for assimilation and allocation of carbon and nitrogen in grapevines. Ecological Modelling. 53: 1-26.
- WORKSHOP INTERNACIONAL. Manejo da broca do café. Programa y Resumos. Londrina, Paraná, Brasil. 28 de noviembre - 2 de diciembre de 2004.



## **Problemas estadísticos en entomología y sus soluciones**

Og DeSouza, Ph. D.

Profesor Departamento de Biología Animal – Posgrado en Entomología.  
Universidad Federal de Viçosa – Brasil. Correo e: og.souza@ufv.br

### **Resumen**

El hecho de presentarse oscilaciones temporales y de distribución espacial, asociadas a una enorme diversidad de hábitos en las escalas temporal y espacial, no sólo dificulta los muestreos de insectos sino que también puede afectar varios supuestos del análisis estadístico clásico basado en distribución normal. Por lo anterior, los entomólogos se ven obligados a lidiar con dos grandes tipos de problemas. Por un lado, los problemas de diseño experimental, con los peligros de la pseudo-repetición espacial y/o temporal. Por otro lado, los problemas analíticos y las trampas de la creencia diseminada de que la no normalidad siempre puede ser superada con la transformación de datos. Para complicar más la situación, es común que las preocupaciones estén asociadas a la solución de los problemas de no normalidad y algunas pocas veces a los problemas de la pseudo-repetición espacial. A su vez, la pseudo-repetición temporal es desconsiderada casi que en su totalidad. Con frecuencia, tal postura conlleva a errores graves en los análisis estadísticos de experimentos entomológicos y a la construcción de conclusiones equivocadas con el consecuente fracaso de las respectivas recomendaciones técnicas. El presente trabajo tiene como objetivo presentar a través de varios ejemplos de experimentos entomológicos que tales problemas no siempre se resuelven por el uso indiscriminado de Anova bajo la distribución normal, y que (i) es necesario prevenir la pseudo-repetición en el momento de la instalación del experimento y (ii) adoptar análisis que permitan una correcta medida de la variación de datos no normales.



**SIMPOSIO**  
**Avances en el conocimiento sobre la broca del café**  
**Coordinador: Alex Enrique Bustillo Pardey**

**Aspectos genéticos de la broca del café, *Hypothenemus hampei***

Pablo Benavides Machado, Ing. Agr., Ph. D.  
Disciplina de Entomología, Cenicafé, Apartado aéreo 2427, Manizales, Caldas, correo-e: pablo.  
benavides@cafedecolombia.com

### **Introducción**

La broca, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) es el insecto más destructivo del cultivo del café. A pesar de esto y de haber invadido la mayoría de los países productores del grano, su genética no ha sido ampliamente estudiada. El conocimiento de la genética de la broca proporcionaría un mayor entendimiento de las fortalezas y las debilidades del insecto, aspectos esenciales en la planeación de un programa de manejo y en la búsqueda de estrategias novedosas de control. *H. hampei* presenta un comportamiento reproductivo inusual que involucra cruces fraternales, haplodiploidía funcional y baja variabilidad genética. Estos aspectos proporcionan a este insecto unas consecuencias biológicas únicas como ha sido el aumento de la proporción de alelos de resistencia a insecticidas mediante mecanismos de selección y la rápida fijación de éstos en poblaciones naturales, entre otros. Otros aspectos relacionados con la presencia de endosimbiontes involucrados en la determinación sexual de *H. hampei* serán se tratan en este manuscrito. Consideraciones finales sobre la genética de la broca y perspectivas futuras de control genético también serán abordadas.

### **Comportamiento reproductivo de la broca**

*Hypothenemus hampei* tiene un comportamiento reproductivo poco común que asegura una alta endogamia. La broca colonizadora produce una progenie mayoritariamente de hembras, y los pocos machos, por no poder volar, permanecen en el fruto. Ya que las hembras abandonan fértiles el fruto de café en busca de alimento y huésped para ovipositar, no sería equivocado asumir que la reproducción ocurre entre individuos de una misma progenie en los frutos, y por lo tanto, se realiza entre cruces fraternos. Este aspecto biológico es acentuado por un mecanismo conocido como Haplodiploidía funcional (Brun *et al.* 1995) en el cual tanto las hembras como los machos son diploides, pero estos últimos fallan en expresar y transmitir los cromosomas paternos.

Estos mecanismos de alta endogamia combinados con la haplodiploidía funcional deben tener como consecuencia la disminución de la variabilidad genética de este insecto, resultados que han sido corroborados en varios estudios filogenéticos (Benavides *et al.* 2005, Andreev *et al.* 1998). Breilid y colaboradores (1998) encontraron mediante la amplificación de dos loci nucleares y un locus mitocondrial, que sólo este último reveló algún polimorfismo; concluyeron además que sólo dos líneas de broca provenientes de Kenia debieron haber colonizado el mundo. Estos resultados fueron posteriormente complementados y contradecidos por Benavides *et al.* (2005), quienes posterior a la amplificación de cientos de loci a partir de muestras de broca provenientes de 17 países en tres continentes (África, Asia y América) mediante AFLP, reportaron el origen

de esta plaga en Etiopía, documentaron su dispersión mundial y la invasión de Asia y América a partir de insectos del Oeste Africano, y encontraron la presencia de al menos tres líneas de broca en América y las islas del Caribe. Se podría inferir a partir de estos resultados, que la broca es genéticamente un insecto muy homogéneo y que sus posibilidades de sobreponerse a una estrategia fuerte y novedosa de control estarían limitadas.

Otro aspecto importante que esta condicionado a la estrategia reproductiva de la haplodiploidía funcional de la broca es la velocidad con la cual mutaciones deletéreas se eliminarían de la especie, y mutaciones que favorecen su reproducción y supervivencia se fijarían en la población en pocas generaciones. Este último es el caso de la resistencia de la broca a los insecticidas organoclorados, el cual fue reportado inicialmente en Nueva Caledonia (Brun *et al.* 1989). Esta resistencia fue posteriormente evaluada mediante estudios moleculares (French-Constantino *et al.* 1994) y el gen responsable de conferir esta resistencia en la broca fue revelado y secuenciado. Este gen *Rdl* codifica para una subunidad del receptor del ácido  $\gamma$ -aminobutírico (neurotransmisor GABA) el cual es responsable de activar los canales de cloro durante la sinapsis. Este alelo de resistencia en *H. hampei* contiene la misma mutación encontrada en *Drosophila melanogaster*, la cual es el reemplazo de una Alanina por una Serina. Este gen de resistencia fue favorecido en Nueva Caledonia mediante procesos de selección. Insecticidas pertenecientes al grupo de los ciclodienos como el DDT, lindano y endosulfan, fueron asperjados de manera constante y generalizada a partir de 1966, y en menos de 20 años los niveles de infestación por broca alcanzaron sus máximos históricos y la resistencia genética fue documentada (Brun *et al.* 1989). Esta resistencia ha sido parcialmente descrita en Colombia (Góngora *et al.* 2001) y es actualmente tema de investigación en los laboratorios de la disciplina de Entomología de Cenicafé. Es importante aclarar en este aspecto que las mutaciones en cualquier organismo no son una consecuencia de selección, es decir, la mutación existe y los procesos de selección se encargan de favorecer e incrementar la proporción de estos alelos en las generaciones posteriores. De una manera más simple, el alelo de resistencia al endosulfan se encuentra en la broca que ha invadido Colombia, y sólo será evidente su capacidad de sobreponerse a las aplicaciones de endosulfan en aquellos lugares donde se usa con mayor intensidad y frecuencia y en sus alrededores.

Uno de los aspectos más intrigantes en el comportamiento reproductivo de la broca tiene que ver con los mecanismos de determinación sexual. Ninguno de los siete cromosomas presentes en su forma haploide en la broca (Brun *et al.* 1995) han sido ligados a la determinación sexual. La probacteria *Wolbachia* fue reportada como un endosimbionte presente en la broca y posible causante de la determinación sexual (Vega *et al.* 2002), de la misma forma como ha sido descrita en otras especies de insectos. En este punto es importante describir las dos consecuencias biológicas derivadas de la haplodiploidía funcional documentada por Brun *et al.*(1995): (1) los cromosomas paternos se condensan en los machos durante la espermatogénesis y siempre fallan en ser incorporados en el esperma y (2) en los machos estos cromosomas paternos se condensan y nunca son expresados en tejidos somáticos. Estos fenómenos podrían ser explicados por la presencia de algún organismo simbiote en el insecto que ocasione incompatibilidad citoplasmática y el ya mencionado efecto sobre la determinación sexual y la formación de machos haploides. *Wolbachia* es la mejor hipótesis para explicar este fenómeno, también registrado en *Xyleborus ferrugineus*, del cual se sugiere que es debido a una bacteria heredada por vía materna (Peleg y Norris 1972a, 1972b; Norris y Chu 1980; Normark *et al.* 1999).

## Consideraciones y perspectivas de uso de información genética de la broca

El advenimiento de diferentes técnicas avanzadas de biología molecular permite ahora direccionar estudios sobre aspectos básicos de biología y ecología de la broca. Varios tópicos son de gran importancia documentar: (1) el cruce de poblaciones de diferentes líneas en campo, (2) conocer los mecanismos básicos de la herencia en este insecto, (3) determinar los patrones de dispersión en campo y (4) descubrir genes deletéreos en individuos de la broca. Estos aspectos pueden ser evaluados mediante el diseño de marcadores moleculares. Los marcadores moleculares son fragmentos de ADN que se encuentran de manera polimórfica en poblaciones de la broca, y sirven para realizar comparaciones entre ellas en ausencia de caracteres fenotípicos diferenciales. Varios marcadores genéticos sobre poblaciones Colombianas y Africanas ya han sido desarrollados (Benavides 2003, Gauthier y Rasplus 2004). Estos marcadores son de tipo dominante y co-dominante. El uso de este marcador es tema de estudio en investigaciones actuales sobre la broca en Colombia. Brevemente, si se conoce en detalle los mecanismos de herencia de mutaciones paternas y maternas en generaciones sucesivas de la broca, si se documenta el cruce de poblaciones en el campo y se descubren genes deletéreos que pueden ser incorporados en poblaciones de campo, se podrían realizar liberaciones de individuos conteniendo mutaciones que afectarían el potencial reproductivo de la broca. La consecuencia de esto sería la disminución progresiva de las poblaciones de la broca o el alargamiento del ciclo de vida de la broca de tal manera que los niveles de infestación en campo no sobrepasarían los umbrales de daño económico en un ciclo productivo de las plantaciones de café.

## Literatura Citada

- ANDREEV D, BREILID H, KIRKENDALL L, BRUN L, FFRENCH-CONSTANT R. 1998. Lack of nucleotide variability in a beetle pest with extreme inbreeding. *Insect Molecular Biology* 7(2): 197 – 200.
- BENAVIDES P, VEGA F, ROMERO-SEVERSON J, BUSTILLO A, STUART J. 2005. Biodiversity and biogeography of an important inbred pest of coffee, the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 98(3): 359-366.
- BRUN L, MARCILLAUD C, GAUDICHON V, SUCKILG M. 1989. Endosulfan resistance in *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) in New Caledonia. *J. Econ. Entomol.* 82(%): 1311 – 1316
- BRUN LO, STUART J, GAUDICHON V, ARONSTEIN K, FFRENCH-CONSTANT RH. 1995. Functional haplodiploidy: a mechanism for the spread of insecticide resistance in an important international insect pest. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 92:9861-9865
- FRENCH-CONSTANT R.H., STEICHEN J.C., BRUN L. 1994. A molecular diagnostic for endosulfan insecticide resistance in the coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). *Bull. Ent. Res.* 84: 011-016.
- GAUTHIER N, RASPLUS Y. 2004. Polymorphic microsatellite loci in the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). *Molecular Ecology notes* 4: 294 – 296.
- GONGORA B, POSADA F, BUSTILLO A. 2001. Detección molecular de un gen de resistencia al insecticida endosulfan en una población de broca *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae) en Colombia. In: Resúmenes CONGRESO de la Sociedad Colombiana de Entomología, 28. Pereira (Colombia), Agosto 8-10, p. 47-48.

- NORMARK B, JORDAL B, FARRELL B. 1999. Origin of a haplodiploid beetle lineage. Proc. R. Soc. Lond. B266: 2253-2259.
- NORRIS D.M., CHU H. 1980. Symbiote-dependent arrhenotokous parthenogenesis in the eukaryote *Xyleborus*. Pp. 453-460. In: W. Schwemmler and H.E.A. Schenk (eds.), Endocytobiology, endosymbionts and cell biology, vol. 1. Walter de Gruyter, Berlín.
- PELEG B, NORRIS D.M. 1972a. Symbiotic interrelationships between microbes and ambrosia beetles. J. Invertebr. Pathol. 20: 59 – 65.
- PELEG B, NORRIS D.M. 1972b. Bacterial symbiotic activation of insect parthenogenetic reproduction. Nature New. Biol. 236: 111-112.
- VEGA F, BENAVIDES P, STUART J J, O'NEIL S. 2002. *Wolbachia* infection in the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae). Ann. Entomol. Soc. Am 95(3):374-378.

## Avances en conocimiento y mejoramiento del hongo *Beauveria bassiana* para el control de la broca del café, *Hypothenemus hampei*

Carmenza E. Góngora B., Microbióloga, Ph. D.

Investigador Científico, Cenicafé, Chinchiná, Caldas, correo e: carmenza.gongora@cafedecolombia.com

### Introducción

Los hongos entomopatógenos como *Beauveria bassiana* son una alternativa amigable desde el punto de vista ambiental para el control de insectos. En el caso del ecosistema cafetero colombiano, *B. bassiana* juega un papel importante en el control de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Bustillo *et al.*, 1998). Experimentos llevados a cabo en Cenicafé, han demostrado que el control del insecto en campo en plantaciones comerciales es posible empleando dosis de  $1 \times 10^{10-12}$  esporas por árbol, las cuales causan 70 a 80% de mortalidad en los insectos (Posada, 1998). Sin embargo, el uso de esta concentración de esporas es costoso y una de las formas de reducir el costo es aumentar la virulencia de las cepas de *B. bassiana*. Un incremento en la virulencia del hongo permitiría reducir la dosis de esporas requerida para controlar y disminuir el tiempo de mortalidad del insecto. De tal forma, que la broca del café ocasionaría menor daño en el cultivo. Esto en parte, resolvería el problema de la tardanza en producción de mortalidad del hongo en comparación con los insecticidas químicos lo cual también ha influido en el retardado del desarrollo y adopción de los biocontroladores.

En Cenicafé se están usando dos aproximaciones para producir un hongo mejorado: 1). Estudio de la genómica de *Beauveria bassiana*. conocimiento de genes y modificación genética y 2). Exploración y uso de la diversidad genética de *Beauveria bassiana*.

### 1. Estudio de la genómica de *Beauveria bassiana* conocimiento de genes y modificación genética

#### *Desarrollo de Librerías diferenciales*

El mejoramiento del hongo está ligado al conocimiento acerca de los genes y promotores responsables de los procesos de infección sobre el insecto, al igual que la persistencia del hongo en condiciones medioambientales adversas. El entendimiento de estos fenómenos es fundamental para continuar con el proceso de selección de cepas de *B. bassiana* y para diseñar mejores alternativas para el control de la broca.

En otros entomopatógenos, varios genes han sido clonados que están directamente ligados a los procesos de infección de los hongos en insectos y aunque los resultados preliminares usando marcadores moleculares indican que en *Beauveria* no existe una gran variabilidad genética entre los diferentes aislamientos, el hongo presenta plasticidad genética que le permite adaptarse a diferentes condiciones medioambientales y diferentes hospederos. De aquí que sea importante identificar los genes que se expresan durante los procesos de infección o en condiciones medioambientales no favorables, con el fin de poder manipularlos en un futuro y así lograr un agente biocontrolador más efectivo.

Para determinar cuales son los genes involucrados en los procesos de patogenicidad estamos usando la aproximación de las **librerías diferenciales** por el método de hibridización sustractiva (Diatchenko *et al.*, 1996). Estas librerías se están haciendo en cepas de alta (Mantilla *et al.*, 2004),

media y baja patogenicidad frente a la broca del café. Las librerías se están realizando bajo dos tratamientos: 1) el hongo creciendo en medio SDB y 1% de extracto de levadura (Driver) y 2) el hongo creciendo en medio mínimo con broca al 10% (tester). Se extrajo RNA total y aisló RNA mensajero del hongo de cada uno de los tratamientos y se aplicó la técnica de hibridización para obtener los fragmentos de genes expresados diferencialmente. La librería de la cepa de alta patogenicidad cuenta con 94 secuencias únicas entre 174 (redundancia del 46%). De las secuencias únicas, los análisis BLASTn y BLASTx mostraron que 36 (38%) no presentaron ningún tipo de homología en la base de datos del GenBank, 56 (60%) mostraron homología a proteínas o proteínas hipotéticas y que 2 (2%) mostraron homología a genes.

Para reducir el número de secuencias implicadas en la penetración de la cutícula, validar la información obtenida por hibridización sustractiva y dilucidar cual gen o genes son los mas importantes, se ha utilizado la tecnología de los microarreglos (Stoughton, 2004). Un análisis inicial, empleando un microarreglo con 1700 secuencias (EST) obtenidos de *Metarhizium anisopliae* creciendo en cutícula de insecto (Freimoser *et al.*, 2003) y 88 de las 94 secuencias obtenidos de *Beauveria bassiana*, indicó que 14 de los 88 genes identificados por librerías diferenciales mostraban nuevamente expresión diferencial significativa en la inducción del hongo con broca. Estas secuencias corresponden a:

- Secuencia homologa a proteína de pared celular de *Aspergillus kawachii*
- Secuencia homologa a una proteína serina tipo subtilisina, PR1J de *Metarhizium anisopliae*. Esta proteína esta reportada como asociada a los procesos de patogenicidad e invasión hacia insectos (Bagga *et al.*, 2004).
- Secuencia de *Cordyceps bassiana* RNAm fosfoenolpiruvato carboxikinasa (PEPCK1).
- Secuencias homologas a posibles proteínas hipotéticas de:  
*Aspergillus nidulans*, posiblemente un precursor de lipasa.  
*Neurospora crassa*, posiblemente fosfatidil inositol  
*Magnaporthe grisea*, posiblemente una aldehido deshidrogenasa
- Ocho unigenes sin homología conocida en las bases de datos.

Todas estas secuencias se convierten debido a estos resultados en excelentes candidatos para ser aisladas y continuar su estudio de patrones de expresión en *Beauveria*.

### **Modificación Genética**

Además de la identificación de secuencias y posibles genes se han desarrollado métodos eficientes de transformación de *B. bassiana* que permitirán hacer evaluaciones de expresibilidad de estos genes involucrados en la patogenicidad. La manera más apropiada de evaluar los métodos de transformación genética de un organismo es el uso de genes marcadores y genes de selección. En CENICAFE se han evaluado dos métodos diferentes de transformación: el método empleando polietilenglicol (PEG) y electroporación. Se ha hecho la modificación genética con el gen de selección (*bar*) y el gen marcadores GFP (proteína verde fluorescente) (Góngora, 2004). Se determino que estos genes no afectan la patogenicidad ni el comportamiento de las cepas de *B. bassiana* contra la broca del café u otros insectos. Estas cepas modificadas se pueden usar para el seguimiento de los procesos de infección

y patogenicidad sobre la broca del café en condiciones de laboratorio y en un futuro, si se considera conveniente en condiciones de campo. El desarrollo de un método de transformación es muy importante ya que es la principal herramienta para estudiar expresión de los genes en este organismo.

Además, se ha modificado el hongo con genes de proteasas tipo subtilinas (*pr1A*) y esterasas (*ste1*) aislados de otro biocontrolador, *M. anisopliae* (Góngora, 2004. Rodríguez y Góngora, 2005). St. Leger *et al.* (1996), clonaron varios genes que están involucrados en los procesos de infección y patogenicidad de *M. anisopliae*. Uno de los genes que se expresan cuando el insecto es atacado, codifica una proteasa tipo subtilisina denominada Pr1A, la cual solubiliza la cutícula proteínica del insecto, permitiendo la penetración de las hifas del hongo en el insecto y el acceso a los nutrientes necesarios para su crecimiento.

La transformación de *M. anisopliae* con *pr1A* (St. Leger *et al.*, 1996), resultó en el desarrollo de un hongo entomopatógeno mejorado genéticamente. Cuando la cepa fue transformada y copias adicionales del gen codificando esta proteasa fueron insertadas en el genoma del hongo, la cepa resultante produjo la proteína durante el proceso de infección y colonización del insecto, y esta fue también secretada por el hongo en la hemolinfa del insecto *Manduca sexta*. La presencia de esta proteína en la hemolinfa, activó en este el sistema inmunológico de fenoloxidasas. El efecto tóxico combinado de Pr1A junto con los productos de la reacción de fenoloxidasas, causó en los insectos expuestos al hongo transformado, una reducción del 25% en el tiempo de muerte y reducción de 40% en el consumo de alimento, comparado con los insectos infectados con el hongo no transgénico. Además, los insectos infectados con el hongo transformado mostraron una rápida melanización y los cadáveres resultantes fueron un sustrato pobre para la esporulación del hongo.

En el caso de las *B. bassiana* la transformación de diferentes cepas con la proteasas tipo subtilinas (*pr1A*) ha causado consistentemente un incremento en la virulencia de los hongos sobre la broca del café de alrededor de 20% y una disminución en el tiempo de muerte de la broca en comparación a las cepas testigos no transformadas. La tabla 1 recopila los resultados obtenidos por Rodríguez (2003) y Rodríguez y Góngora (2005). El incremento en virulencia está directamente relacionado a la sobreexpresión de la proteasa. Un incremento de la actividad biocontroladora utilizando proteasas también ha sido obtenida en otros hongos biocontroladores, como ha sido descrito por Flores *et al.* (1997), quienes transformaron *Trichoderma harzianum* con el gen de la proteasa *prb1*.

**Tabla 1. Pruebas de patogenicidad de *Beauveria bassiana* sobre la broca del café.**

Dosis	Cepa	% Mortality*	Tiempo de Muerte *
1 x 10 <sup>5</sup> esporas/ml	Bb	42.7 b	8.79 b
1 x 10 <sup>5</sup> esporas/ml	Bb- <i>pr1A</i>	64.4 a	7.36 a
	Ninguna (Control)	0 c	15 c
1 x 10 <sup>6</sup> esporas/ml	Bb	68.3 b	6.48 b
1 x 10 <sup>6</sup> esporas/ml	Bb9205- <i>pr1A</i>	93.3 a	4.87 a
	Ninguna (Control)	0 c	15 c

*Bb*: *B. bassiana* no modificada genéticamente  
*Bb-pr1A*: *B. bassiana* modificada con *pr1A*.  
 \* Tratamientos identificados con diferente letra difieren estadísticamente.



Con respecto a la virulencia del transformante con la esterasa *ste1*, se planteó la hipótesis de que el incremento de actividad esterolítica mejoraría la patogenicidad de *B. bassiana* contra la broca del café, basados en el hecho de que las estererasas son las primeras en ejercer su acción para degradar la cutícula del insecto. El transformante con esterasa incrementó su actividad esterolítica pero no mejoró significativamente su virulencia contra la broca al ser comparada con la cepa no transgénica. Sin embargo, el incremento de la actividad esterolítica puede facilitar la acción de otras enzimas como las proteasas, lo que se demostró al disminuir en un 9,5 % el tiempo que tarda el hongo en causar la mortalidad de la broca.

Finalmente, se demostró que la transformación con el gen *pr1A* y expresión constitutiva de esta proteasa mejoró la actividad biocontroladora de esta cepa contra *H. hampei* en condiciones de laboratorio. Con respecto a las perspectivas de este trabajo se planea producir mas transformantes y se hace necesario evaluar el efecto sinérgico de estos genes con otros genes implicados en patogenicidad, teniendo en cuenta el hecho de que la mezcla de varias enzimas puede ser necesaria para una eficiente degradación de la cutícula del insecto en la interacción entomopatógenos, insecto.

## 2. Exploracion y uso de la diversidad genética de *Beauveria bassiana*

La aplicación de formulaciones a base de hongos entomopatógenos como agentes biocontroladores usualmente se ha caracterizado por la aplicación de 1 sola cepa.

En *B. bassiana* se han hecho diversos estudios tendientes a determinar la variabilidad genética intraespecífica de este hongo por medio de diversos marcadores moleculares: isoenzimas; RAPDs; ITS-RFLPs; AFLPs y minisatélites

La aplicación del uso de marcadores moleculares para el estudio de *B. bassiana* se inicio en la década de los 90. St. Leger *et al.* (1992) realizaron uno de los trabajos pioneros con el propósito de determinar la variabilidad genética al interior de las poblaciones del hongo. En este estudio, se trabajó con 138 aislamientos obtenidos de diferentes partes del mundo. Como marcadores moleculares se usaron isoenzimas. Los resultados demostraron que en la población analizada la variabilidad era mínima, los autores concluyeron que la distribución global estaba dada por poblaciones clonales. Posteriormente, con los avances en biología molecular se comenzó el estudio del ADN de este hongo. Castrillo *et al.* (1998) realizaron aislamientos de áreas geográficas muy definidas, a partir de un insecto hospedero, encontrando, esta vez con RAPDs, que no se presentaban poblaciones clonales, sino una mezcla de genotipos, que de todas maneras no diferían mucho entre sí.

Gaitán *et al.* (2002) en Cenicafé estudiaron 95 aislamientos de diferentes insectos hospederos, incluyendo muestras de Colombia y de varios lugares del mundo. Usando RAPDs e ITSs, encontraron que la variabilidad intraespecífica era baja, pero que no se trataba de poblaciones clonales. La causa de esta diversidad genética intraespecífica, podría conectarse con fenómenos de recombinación parasexual (Paccola-Meirelles y Azevedo, 1991) y de mutaciones espontáneas.

Cruz (2004) inicio los estudios tendientes a aprovechar la diversidad genética de *Beauveria spp.*. El objetivo del trabajo fue conocer y utilizar la diversidad genética de 11 cepas de *Beauveria sp.*, para evaluar el efecto del uso de mezclas de esporas en la virulencia del hongo frente a la broca del café.

Para diferenciar las cepas genéticamente, se obtuvo un patrón de bandas característico para cada una mediante AFLPs. También se amplificaron por PCR los ITSs del ADN ribosomal y parte del gen

de la  $\beta$ -tubulina, estos se clonaron y secuenciaron. Las secuencias están disponibles en el GenBank. El análisis cluster de las secuencias permitió la agrupación de las cepas en 3 grupos genéticos. Cepas de cada uno de estos grupos se mezclaron y se evaluó su patogenicidad frente a la broca del café, de igual forma se evaluó la patogenicidad de las cepas individualmente. La patogenicidad de las cepas individuales, a una concentración de  $1 \times 10^6$  esporas/ml, fluctuó entre 57.5% y 89.91%. Los resultados obtenidos al evaluar las mezclas, permitieron observar tanto efectos sinérgicos como antagónicos. Al mezclar cepas similares genéticamente no se observaron diferencias significativas con respecto a la patogenicidad. Al mezclar cepas con virulencia superiores al 85% y diferentes genéticamente se obtuvieron mortalidades de alrededor 57% sobre la broca. Mientras que la mezcla de esporas con virulencia inferiores al 80% y diferentes genéticamente, mostró los mayores porcentajes de mortalidad (93%).

La mezcla de esporas de cepas de *B. bassiana* diferentes genéticamente con bajas virulencia permite obtener un incremento significativo en la patogenicidad frente a la broca del café a nivel de laboratorio, comparada con la patogenicidad obtenida con cada una de las cepas en estudio, tanto individualmente como en mezclas. Esta mezcla puede ser una alternativa para el mejoramiento del control de broca usando entomopatógenos

Como perspectivas de este trabajo tenemos continuar con evaluaciones en campo, con el objeto de determinar la eficacia real de las formulaciones a base de mezclas y avanzar en el desarrollo de técnicas que permitan realizarle un seguimiento a las cepas después de su aspersión. Establecer si existe algún tipo de predominio de unos aislamientos sobre otros en la infección de las brocas al emplear estas mezclas. Usando las "huellas dactilares" obtenidas mediante AFLPs, así mismo, utilizar esta herramienta para evaluar los cambios que ha sufrido la cepa de *Beauveria*, después de más de 5 años de estar siendo asperjada para el control de la broca en campo.

Se están realizando pruebas con más combinaciones de cepas diferentes genéticamente, a nivel de laboratorio, con el objeto de seleccionar otras mezclas de esporas de cepas de *B. bassiana* que incrementen la patogenicidad frente a la broca. Se podrían introducir variables como la resistencia de estas mezclas a la luz U.V. o a diferentes temperaturas y humedades, ya que estos factores son determinantes en campo, así como producción de metabolitos secundarios como toxinas.

## Literatura Citada

- BAGGA, S.; HU, G.; SCREEN, S.E.; ST LEGER, R. J. 2004. Reconstructing the diversification of subtilisins in the pathogenic fungus *Metarhizium anisopliae*. *Gene*. 324:159-69
- BUSTILLO, A. ; CÁRDENAS, R. ; VILLALBA, D. ; BENAVIDES, P. ; OROZCO, J.; POSADA, F. 1998. Manejo integrado de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) en Colombia. Chinchiná, Colombia. Cenicafé. 134p
- CASTRILLO, L.A ; WIEGMANN, B.M. ; BROOKS, W.M. 1998. Genetic variation in *Beauveria bassiana* Populations Associated with the Darkling Beetle, *Alphitobius diaperinus*. *Journal of Invertebrate Pathology*. 73:269-275.
- CRUZ Y, L. P. 2003. Uso de la diversidad genética de *Beauveria bassiana* para el diseño de alternativas de control de la broca del café. Trabajo de grado, presentado como requisito parcial para optar al título de

microbiologa industrial. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad De Ciencias. Microbiología Industrial. Bogotá, Colombia.

- DIATCHENKO, L. ; LAU, Y-F. C.; CAMPBELL, A .P; CHENCHIK, A .; MOQADAM, F.; HUANG, B.; LUKYANOV, S.; LUKYANOV, K.; GURSKAYA, N.; SVERDLOV, E D.; SIEBERT, P D. 1996. Suppression subtractive hybridization: A method for generating differentially regulated or tissue-specific cDNA probes and libraries. *Biochemistry* 93: 6025-6030.
- FLORES, A.; CHET, I.; HERRERA-ESTRELLA, A. 1997. Improved biocontrol activity of *Trichoderma harzianum* by over-expression of the proteinase-encoding gene prb1. *Current Genetics*, 31 : 30-37.
- FREIMOSER, F.M.; SCREEN, S.; BAGGA S.; HU, G.; ST LEGER, RJ. 2003. Expressed sequence tag (EST) analysis of two subspecies of *Metarhizium anisopliae* reveals a plethora of secreted proteins with potential activity in insect hosts. *Microbiology*.149: 239-47
- 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 (11): 1307-1314.
- GÓNGORA, C.E. 2004. Transformación de *Beauveria bassiana* cepa (Bb9112) con los genes de la proteína verde fluorescente y la proteasa pr1A de *Metarhizium anisopliae*. *Revista Colombiana de Entomología*. 30:15-21.
- MANTILLA A., J.G.; GAITAN B., A.L.; GONGORA B., C.E. 2004. Identificación y caracterización de genes responsables de la patogenicidad de /*Beauveria bassiana*/ Bb205 hacia la broca del café /*Hypothenemus hampei*/ (Coleoptera: Scolytidae). CONGRESO de la Sociedad Colombiana de Entomología, 31. Bogotá (Colombia), Julio 28-30, 2004. Resúmenes. Bogotá (Colombia), SOCOLEN, p. 113.
- PACCOLA-MEIRELLES, L.D.; AZEVEDO, J.L. 1990. Parasexuality in *Beauveria bassiana*. *Journal of Invertebrate Pathology*. 57: 172-176.
- POSADA, F. 1998. Production, formulation and application of *Beauveria bassiana* for control of *Hypothenemus hampei* in Colombia. Tesis: Philosophy Doctor, University of London. Askot Berckshire. Inglaterra. 227p.
- RODRIGUEZ, M.L. 2003. Transformación de *Beauveria bassiana* con genes involucrados en la patogenicidad de *Metarhizium anisopliae* y evaluación del efecto de la expresión de estos en la patogenicidad de *Beauveria bassiana* contra la broca, Tesis ( Magister en Microbiología) Posgrado Interfacultades de Microbiología. Facultad De Ciencias Universidad Nacional De Colombia. Bogotá, Colombia. 87p.
- 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.
- ST LEGER, R.J. ; ALLEE, L.L. ; MAY, B.; STAPLES, R.C. ; ROBERTS, D.W. 1992. World-wide distribution of genetic variation among isolates of *Beauveria* spp. *Mycological research*, 96:1007-1015
- ST. LEGER, R.J.; JOSHY, L.; BIDOCHKA, M.J.; ROBERTS, D.W. 1996. Construction of an improved mycoinsecticide overexpressing a toxic protease. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 93: 6349-6354.
- STOUGHTON, R.B. 2005. Applications of DNA Microarrays in Biology. *Annual Review of Biochemistry*, 74: 53-82.

## ¿Es posible el uso de entomonematodos en programas MIP en Colombia? Avances con la broca del café

Juan Carlos López Núñez, Microbiólogo.  
Centro Nacional de Investigaciones de Café. Cenicafé, Planalto. Chinchiná, Caldas, Colombia,  
correo e: juancarlos.lopez@cafedecolombia.com

### Introducción

El Phylum Nematoda (=Nemata), es luego de los Artropoda uno de los más diversos del Reino Animal. Se encuentran en ambientes tan contrastantes y hostiles, como tundras y desiertos, desde aguas congeladas a aguas termales, ambientes marinos y de agua dulce, entre otros. Esta amplia diversidad de hábitat, permite relacionarse con otros organismos como los insectos, generándose interacciones que van desde asociaciones fortuitas o foréticas, hasta parasitismos tanto facultativos como obligatorios (Kaya *et al.*, 1993; Tanada y Kaya, 1993). Teniendo en cuenta la asociación parasítica, varias especies de nematodos de las familias Mermithidae, Allantonematidae, Phaenopsitylenchidae, Sphaerulariidae, Tetradonematidae, Steinernematidae y Heterorhabditidae, han sido foco de atención en no pocas investigaciones dirigidas a evaluar su uso como herramienta de control biológico. Las especies pertenecientes a estas dos últimas familias de nematodos, han resultado ser las de mayor potencial, pues además de matar su "blanco", durante las primeras 48 horas luego de infección, mantienen una relación simbiótica de carácter mutualista con una bacteria, que en términos generales es la principal responsable de la efectividad del patógeno (Hominick y Collins, 1997; Smits, 1997).

### Situación mundial de los entomonematodos

Durante las dos últimas décadas se ha incrementado el interés en el control biológico de insectos utilizando la liberación de masiva entomonematodos de las familias Steinernematidae y Heterorhabditidae principalmente. El conocimiento de su biología, hospedantes insectiles (> 200 especies susceptibles), epidemiología y los avances significativos en su producción a gran escala, formulación y métodos de aplicación, satisfacen criterios esenciales para el control biológico aumentativo lo que los hace factible su uso en el control de ciertas plagas (Georgis y Hom, 1992; Ricci *et al.*, 1996). Varias compañías en el mundo, han invertido considerables recursos económicos en su producción comercial, pues consideran los entomonematodos muy promisorios en el control de insectos plaga. Esta tendencia se puede explicar por el aumento de normas legislativas dirigidas a reducir el uso de plaguicidas, estrategia que brinda como alternativa el empleo de productos más amigables con el medio ambiente (Hominick y Collins, 1997). En América Latina desde hace 20 años, esta herramienta de control de insectos (principalmente las familias Steinernematidae y Heterorhabditidae), se considera con gran potencial para implementar diferentes programas de Manejo Integrado de Plagas (MIP) (Wassing y Poinar Jr., 1984; Georgis y Hom, 1992).

Como cualquier otro sistema de producción masiva de biológicos, la de entomonematodos se ha orientado a minimizar esfuerzos y reducir costos. Entre las técnicas exitosas implementadas, se encuentra el cultivo monoaxénico en líquido; éste garantiza una producción constante del patógeno, manteniendo tanto el inóculo como el sustrato estables por lo que se reducen los costos (Friedman, 1990). Actualmente, existen más de 90 empresas que producen y/o distribuyen nematodos para el control de insectos en diferentes campos como Agricultura, Medicina y

Veterinaria. Los desarrollos en producción y distribución los lidera Estados Unidos con el 68% del total de empresas, seguido por Canadá e Inglaterra con 10% y 3% respectivamente. En Latinoamérica se destaca Costa Rica, Chile, Cuba, Brasil, Bolivia y México; en Europa, Alemania, Dinamarca, Holanda, Italia, República Checa, Suiza y Suecia; en Asia, Japón (no se incluyen registros de India y China), y Australia<sup>1</sup>.

Una vez superados los inconvenientes en cuanto a estabilidad de producción, otro aspecto en el que las compañías productoras de nematodos han hecho altas inversiones económicas, es en el desarrollo de formulaciones, y sus resultados han redundado especialmente en la prolongación de la viabilidad en el almacenamiento, facilidad de aplicación, aumento de persistencia en el campo incrementando por ende su efectividad en el control de la plaga, a la cual son dirigidas. Hoy, en el mercado se encuentran formulaciones desarrolladas con diferentes inertes, como alginato, arcilla, poliácridamida, geles, vermiculita entre otros, y variedad de presentaciones sólidas, semisólidas y líquidas (Georgis y Hom, 1992; Hominick y Collins, 1997).

## Panorama del uso de entomonemátodos en Colombia

Los primeros registros de estudios con entomonemátodos, datan de la década del 70 (Tabla 1). Desde entonces y con especial énfasis en los 90, la literatura nacional e internacional documenta el potencial de los entomonemátodos para utilizarlos en programas de control de plagas de importancia económica en Colombia como los coleópteros: *Premnotrypes vorax* (Hust.)(Garzón *et al.*, 1996); *Anomala* spp. y *Phyllophaga* spp.<sup>2 3</sup>. (Zuluaga, 2003); *Cosmopolites sordidus* (Ger.)<sup>4 5</sup>; *Metamasius hemipterus sericeus* (Oliver).<sup>6</sup> En cultivos de plátano, banano, hortalizas, flores, café, palma, caña, piña, papa, cítricos para el control de homópteros (*Aenolamia varia* (Fab.) (Poinar G.O., Jr. y Linares, 1985); *Bemisia tabaci* (Gen.) (Cuthbertson *et al.* 2003; Head *et al.* 2004); *Otiorynchus sulcatus* (F.) (Kakouli y Hauge, 1999). En cultivos de pastos, arroz, maíz y sorgo para el control de lepidópteros como: *Tecia solanivora* (Pov.)<sup>7</sup>(Sáenz, 1998; Sáenz y Luque 2000); *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lezama, 2003); en palma africana para el control de *Sagalassa valida* Walker (Montufar, 1993; Ortiz, 1994); *Cyparissius daedalus* Cram. (Ayala *et al.*, 2004). En cultivos de papa, yuca, cebolla, espárrago, para el control de hemípteros como: *Cyrtomenus bergy* Fro. (Caicedo y Bellotti, 1996; Barberena y Bellotti, 1998). Para el control de dípteros en cultivos de hongos comestibles y en áreas de explotación ganadera como *Bradysia agrestis* Sas. (Kim *et al.*,2004); *Musca domestica* L. (Rehnnn, 1995). En cultivos ornamentales y hortalizas contra trips como *Frankliniella occidentalis* Per. (Premachandra *et al.*,2003). Para mayor información referirse a Vélez (1997).

<sup>1</sup> Tomado de Grewal y Power ([http://www.oardc.ohio-state.edu/nematodes/nematode\\_suppliers.htm](http://www.oardc.ohio-state.edu/nematodes/nematode_suppliers.htm) último acceso: 31/05/05); recopilada y actualizada por Juan Carlos López-Núñez. Cenicafé 2005.

<sup>2</sup> Londoño, M. 1999. Memorias. II Seminario Nematodos Entomopatogenos. Universidad Nacional Bogotá. Bogotá (Colombia), p 55.

<sup>3</sup> Navarro, J.F. 1999. Memorias. II Seminario Nematodos Entomopatogenos. Universidad Nacional Bogotá. Bogotá (Colombia), Pg 37.

<sup>4</sup> Sepúlveda *et al.*, 2003. Resúmenes Congreso SOCOLEN 30. 2003. Cali (Colombia), p. 68.

<sup>5</sup> Castrillón A.,C. Microorganismos del suelo (*Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* y *Steinernema carpocapsae*), para el control del picudo negro del plátano (*Cosmopolites sordidus* Ger.), en Colombia. UPB, Medellín <http://www.ugcarmen.edu.co/Memorias/Memorias%20Word/Corpoica%203.htm> (ultimo acceso: 10/06/05).

<sup>6</sup> Jiménez *et al.*, 2003. Resúmenes Congreso SOCOLEN 30. Cali (Colombia), p. 71. 2003.

<sup>7</sup> Parada y Luque 2001. Resúmenes Congreso SOCOLEN, 28. Pereira (Colombia), p. 31.2001.

**Tabla 1. Registro de investigaciones con entomonematodos realizados en Colombia entre 1970 y 1990.**

Plaga / Nombre común	Cultivo	Nematodo / Estado del insecto atacado	Institución / Fuente
<i>Spodoptera frugiperda</i> (J.E. Smith) (Lep: Noc) / Gusano cogollero del maíz	Maíz, Arroz, Sorgo, Trigo, Caña, Pastos	<i>Neoaplectana carpocapsae</i> (= <i>Steinernema</i> ) / larvas	UNAL. Palmira / Landazabal <i>et al.</i> , 1973
<i>Oxydia trychiata</i> (Guenée). (Lep: Geom.) / Gusano medidor	Forestales (Ciprés, Pino, Café)	<i>Neoaplectana carpocapsae</i> (= <i>Steinernema carpocapsae</i> ) / larvas	ICA / Bustillo, 1976
<i>Aeneolamia varia</i> (Fabricius) (Hom: Cer) / Salivitas, salivazos o miones de los pastos	Pastos, Arroz, Maíz, Sorgo	<i>Hexameris dactylocerus</i> / ninfas.	ICA / ICA, 1980
<i>Premnotrypes vorax</i> (Hustache). (Col: Cur.) / Gusano blanco de la papa	Papa, Nabo, Rábano, Uchuva	<i>Neoaplectana</i> sp. (= <i>Steinernema</i> sp.) / larvas	ICA / ICA, 1983; Castrillón, 1989

Aunque Colombia sea un país mega-diverso y de naturaleza agrícola, llama la atención que desde las primeras investigaciones realizadas hasta hoy (más de 30 años), los trabajos en investigación con esta herramienta de control sean tan escasos; por ende siendo nulo cualquier ejemplo de su incorporación dentro de programas MIP. Con excepción de la información obtenida prácticamente en los últimos ocho años por algunos Centros de Investigación como Cenicafé, Cenipalma, CIAT, ICA y Corpoica y unas cuantas Universidades apoyados por estos Centros, se puede decir que la producción a este nivel es mínima. Lo anterior, se debe principalmente al desconocimiento tanto de los entomonematodos en si (biología, comportamiento, distribución, entre otros), como del amplio potencial que tienen para implementarse en programas MIP.

### Entomonematodos vs broca del café

En los países cafeteros donde la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) se ha introducido, es la plaga más limitante para el cultivo. En Colombia, afecta a más de medio millón de familias cafeteras (Bustillo, 2002). Las poblaciones de broca remanente y refugiada en los frutos caídos, son un foco constante de infestación a nuevas cosechas (Baker *et al.* 1992; Bustillo *et al.* 1998). Ante la carencia de un control activo, que ayude a regular las poblaciones de la plaga en el suelo, y estudiando la confluencia entre un controlador con hábitat crípticos (entomonematodo) y una plaga de hábitos crípticos (broca), en Cenicafé desde 1997 se han realizado estudios enfocados principalmente en el uso de especies de estos nematodos de las familias Steinernematidae y Heterorhabditidae. Las investigaciones realizadas en este lapso que incluyen: búsqueda y selección

de aislamientos nativos patogénicos a broca<sup>8</sup>, estudio del comportamiento y estrategias de búsqueda de hospedante (Molina y López 2002; Molina y López 2003), ciclo de vida (López 2002), evaluación de sistemas de aplicación (Lara y López 2005) y evaluaciones bajo condiciones de invernadero y de campo en pequeña escala<sup>9</sup> (Giraldo, 2003; Lara *et al.*, 2004), entre otros, han permitido que estos agentes benéficos se consideren dentro de los componentes del control biológico de la broca del café, hacia una estrategia de manejo integrado.

## Consideraciones finales

En Colombia, el uso de los entomonematodos tiene amplias perspectivas principalmente en el campo agrícola, para incorporarse en diferentes programas de MIP. El creciente aumento de la demanda de productos a partir de tecnologías limpias, es una coyuntura que abre como nunca antes, la oportunidad para su uso; su aprovechamiento se logrará cuando las empresas privadas responsables del desarrollo de las diferentes cadenas productivas agrícolas, con el apoyo de Centros de Investigación y Universidades, compartan responsabilidades ambientales y sociales, y se comprometan en la búsqueda de una mejora continua a problemas particulares de plagas que afectan las diferentes regiones del país.

No obstante los avances en producción masiva de entomonematodos en los últimos 15 años en el entorno mundial, en Colombia no hay desarrollo. Esto se convierte en "un cuello de botella", ante una eventual demanda de productos con base en estos patógenos. Para empezar a solucionar esto, se debe socializar su producción mediante la participación de empresas pequeñas y medianas productoras de biológicos. Las producciones masivas requieren de la inversión tanto de capital como de investigación por parte de la industria ya sea en asociación con Centros de Investigación o particularmente. Paralelamente, se debe propender por una normatividad y legislación claras, que permitan el aprovechamiento de la diversidad de estos organismos en el país.

## Literatura Citada

- AYALA L.D.; CALVACHE H.; LEIVA F.A.. 2004. Evaluación de técnicas de aplicación de *Steinernema carpocapsae* (Rhabditida: Steinernematidae) para el control del barrenador gigante de la palma *Cyparissius daedalus* Cramer en los llanos orientales de Colombia. Agronomía Colombiana (Colombia). 22 (2): 119-127.
- BAKER, P.S.; LEY, S.; BALBUENA, R.; BARRERA G., J.F. 1992 .Factors affecting the emergence of *Hypothenemus hampei* Coleóptera: Scolytidae from coffee berries. Bulletin of Entomological Research (Estados Unidos) 82(2):145-150.
- BARBERENA A., M.F.; BELLOTTI, A.C. 1998. Parasitismo de dos razas del nemátodo *Heterorhabditis bacteriophora* sobre la chinche *Cyrtomenus bergi* (Hemiptera: Cydnidae) en laboratorio. Revista Colombiana de Entomología (Colombia). 24(1-2):7-11.
- BUSTILLO P., A.E. 1976. Patogenicidad de nematodo *Neoplectana carpocapsae* en larvas, prepupas y pupas de *Oxydia trychiata*. Revista Colombiana de Entomología (Colombia). 2 (4), 139-144.

<sup>8</sup> LÓPEZ N., J.C.; VERGARA O., J.D. Resúmenes. Congreso SOCOLEN 24. Pereira (Colombia), p 71, 1997.

<sup>9</sup> LÓPEZ N., J.C.; BRISCOE, B.. Resúmenes. Congreso SOCOLEN 26. Santafé de Bogotá (Colombia), p. 162. 1999

- BUSTILLO P., A.E.; CARDENAS M., R.; VILLALBA G., D.A.; BENAVIDES M., P.; OROZCO H., J.; POSADA F., F.J.. 1998. Manejo integrado de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) en Colombia. Chinchiná (Colombia), CENICAFE, 134 p.
- BUSTILLO P., A.E. 2002. El manejo de cafetales y su relación con el control de la broca del café en Colombia. Boletín Técnico Cenicafe (Colombia) No.24:1-40.
- CAICEDO, A.M; BELLOTTI, A.C.. 1996. Reconocimiento de nematodos entomopatogenos nativos a socios con *Cyrtomenus bergi* Froeschner (Hemiptera: Cydnidae) en ocho localidades de Colombia. Revista Colombiana de Entomología (Colombia). 22 (1): 19-24.
- CASTRILLÓN A., C. 1989 A.. Manejo integrado del Picudo negro (*Cosmopolites sordidus* Germar) en plátano y banano en la zona cafetera de Colombia. Asociación para la Cooperación en Investigaciones Bananeras en el Caribe y en América Tropical. En: ACORBAT. Memorias IX . Maracaibo - Venezuela p 349 -360.
- CUTHBERTSON A. G.; HEAD J.; WALTERS K.F.; GREGORY S.A.. 2003. The efficacy of the entomopathogenic nematode, *Steinernema feltiae*, against the immature stages of *Bemisia tabaci*. Journal of Invertebrate Pathology (Estados Unidos). 83(3):267-267.
- FRIEDMAN, M. J.. 1990. Commercial Production and Development. In: Entomopathogenic nematodes in biological control. Gaugler R.; Kaya, H. K. Eds., Boca Raton, CRC Press, p. 153-172.
- GARZÓN C., M. Y.; AZA T., B. O.; JIMÉNEZ G., J.; LUQUE Z., J. E.. 1996. Potencial del nematodo *Steinernema* sp. para el control biológico del gusano blanco de la papa. Revista Colombiana de Entomología (Colombia), 22(1): 25-30.
- GEORGIS, R., HOM, A.. 1992. Introduction of entomopathogenic nematode products into latin america and the caribbean. Nematropica (Estados Unidos) 22 (1):81-98.
- GIRALDO G. D.P.. 2003. Comportamiento de entomonematodos en el control de poblaciones de broca en árboles de café. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad de Caldas. Manizales (Colombia), 83 p.
- HEAD, J.; LAWRENCE A.J.; WALTERS K.F.. 2004. Efficacy of the entomopathogenic nematode, *Steinernema feltiae*, against *Bemisia tabaci* in relation to plant species. Journal of Applied Entomology (Estados Unidos). 128 (8): 543-547.
- HOMINICK., W. H.; COLLINS., S.A.. 1997. Application of ecological information for practical use of insect pathogenic nematodes. Capitulo 2. In: Microbial Insecticides: Novelty or Necessity?. Symposium proceedings No. 68. Farham, British Crop Protection Council. 302p.
- INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO, ICA. 1980. Se descubre otro enemigo. Notas y noticias Entomológicas (Colombia). Julio-Agosto. P. 95.
- INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO ICA (COLOMBIA). 1980. Se descubre otro enemigo. Notas y noticias Entomológicas (Colombia). Julio-Agosto. p. 95.
- INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO ICA (COLOMBIA). 1983. Al fin uno. Notas y noticias Entomológicas (Colombia). Enero-Febrero. p. 3.
- KAKOULI D., T.; HAGUE G.M., N.. 1999. Infection, development, and reproduction of the entomopathogenic nematode *Steinernema arenarium* (Nematoda: Steinernematidae) in the black vine weevil *Otiorhynchus sulcatus* (Coleoptera: Curculionidae). Nematology, 1 (2): 149 – 156.



- KAYA, H. K.; BEEDING, R.A., AKHURST, R.J.. 1993. An overview of insect parasitic and entomopathogenic nematodes. *In: Nematodes and the biological control of insect pests*. East Melbourne Victoria (Australia), CSIRO, information service. p. 1-10.
- KIM, H. H.; CHOO, H. Y.; KAYA, H. K.; LEE, D.W.; LEE, S.M.; JEON, H.Y.. 2004. *Steinernema carpocapsae* (Rhabditida: Steinernematidae) as a Biological Control Agent Against the Fungus Gnat *Bradysia agrestis* (Diptera: Sciaridae) in Propagation Houses. *Biocontrol Science and Technology*, (Estados Unidos). 14 (2): 171 – 183.
- LANDAZABAL A.,J.; FERNANDEZ A., F.; FIGUEROA P., A.. 1973. Control biológico de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith), con el nematodo: *Neoaplectana carpocapsae* en maíz (*Zea mays*). *Acta Agronómica* (Colombia). 23 (3-4): 41-70.
- LARA, G., J.C.; LÓPEZ, N., J.C.. 2005. Evaluación de diferentes equipos de aspersión para la aplicación de nematodos entomopatógenos. *Revista Colombiana de Entomología* (Colombia). 31 (1): 1 - 4.
- LARA,G.,J.C.; LÓPEZ, N., J.C.; BUSTILLO, P.; A.E.. 2004. Efecto de entomonematodos sobre poblaciones de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae), en frutos en el suelo" *Revista Colombiana de Entomología* (Colombia). 30 (2): 179-185.
- LEZAMA G., R.; HAMM J.J.; MOLINA O., J.; LÓPEZ E., M.; PESCADOR R., A.; GONZÁLEZ R., ;; STYER E. L.. 2001. Occurrence of entomopathogens of *Spodoptera frugiperda*(Lepidoptera: noctuidae) in the Mexican States of Michoacán, Colima, Jalisco and Tamaulipas. *Florida Entomologist*. (Estados Unidos). 84 (1): 23 – 30.
- LÓPEZ N., J.C. 2002. Nematodos parásitos de insectos y su papel en el control de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) *In: CURSO INTERNACIONAL teórico – práctico, sobre entomopatógenos, parasitoides y otros enemigos de la broca del café*. Sección II. Parasitoides y otros enemigos de la broca del café. Cenicafé, Chinchiná, Colombia, marzo 18 al 22, 2002. Memorias. Chinchiná, Cenicafé. p. 39–70.
- MONTUFAR, E.. 1993. Efecto de tres concentraciones del nematodo *Steinernema carpocapsae* y del cubrimiento del plato radicular con raquis en el control del barrenador de raíces (*Sagalassa valida* W) de palma africana de Tumaco. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía. Universidad de Nariño, Pasto (Colombia). 105 p.
- MOLINA A., J.P.; LÓPEZ N., J.C. 2002. Desplazamiento y parasitismo de entomonematodos hacia frutos infestados con la broca del café *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). *Revista Colombiana de Entomología*, 28 (2): 145 – 151.
- MOLINA A., J.P.; LÓPEZ N., J.C. 2003. Supervivencia y parasitismo de nematodos entomopatógenos para el control de *Hypothenemus hampei* Ferrari (Coleoptera: Scolytidae). *Boletín de Sanidad Vegetal. Plagas* (España). 29: 523 – 533.
- ORTIZ, L.E. 1994. Control microbiano de *Sagalassa valida* Walker (Lepidoptera: Glyphipterigidae) con el nematodo *Steinernema carpocapsae* en Tumaco Nariño. Tesis Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Bogotá, Bogotá (Colombia). 97 p.
- POINAR, G.O., Jr; LINARES B. 1985. *Hexamermis dactylocerus* sp. n (Mermithidae: Nematoda), a parasite of *Aenolamia varia* (Cercopidae: Homoptera), in Venezuela. *Review of Nematology*, 8(2): 109-111.

- PREMACHANDRA, W.T.S.D.; BORGEMEISTER, C.; BERNDT O.; EHLERS R.U.; POEHLING H.M.. 2003. Combined releases of entomopathogenic nematodes and the predatory mite *Hypoaspis aculeifer* to control soil-dwelling stages of western flower thrips *Frankliniella occidentalis*. *Biocontrol*, 48: 529 - 541.
- RENN, N.. 1995. Mortality of immature houseflies (*Musca domestica* L.) in artificial diet and chicken manure after exposure to encapsulated entomopathogenic nematodes (Rhabditida: Steinernematidae, Heterorhabditidae). *Biocontrol Science and Technology*, 5: 349 - 359.
- RICCI, M., GLAZER, I., CAMPBELL, J.F., GAUGLER, R. 1996. Comparison of bioassays to measure virulence of different entomopathogenic nematodes. *Biocontrol Science and Technology*, 6: 235-245.
- SÁENZ, A.A. 1998. *Steinernema feltiae* Filipjev, 1934 cepa Villapinzón (Rhabditida: Steinernematidae): ciclo de vida, patogenicidad y métodos de cría. Tesis M.Sc. en Entomología. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Bogotá. Bogotá (Colombia). 130 p.
- SÁENZ A.; LUQUE J.E.. 2000. Ciclo de vida del entomonematodo *Steinernema feltiae* Filipjev. *Agronomía colombiana* (Colombia). 17 (1- 3): 17 - 24.
- SMART G., C.. 1995. Entomopathogenic nematodes for the biological control of insects *Journal of Nematology* 27 (4S): 529-534.
- SMITS, P.H. 1997. Insect Pathogens: their suitability as biopesticides. Capítulo 1. *In: Microbial Insecticides: Novelty or Necessity?*. Symposium proceedings No. 68. Farham British Crop Protection Council. 302p.
- TANADA, Y.; KAYA, H. K.. 1993. Nematodes, nematomorphs, and plathelminthes. Capítulo 13. *In: Insect pathology*. San Diego (Estados Unidos), Academic Press, 666p.
- VELEZ A, R. 1997. Plagas agrícolas de importancia económica en Colombia bionomía y manejo integrado. Editorial Universidad de Antioquia Ciencia y Tecnología. Segunda Edición. Medellín. (Colombia). 482p.
- WASSINK, H.; POINAR, JR., G. O. 1984. Nematological Reviews-Resenas nematologicas use of the entomogenous nematode, *Neoplectana carpocapsae* Weiser (Steinernematidae: Rhabditida), in Latin America. *Nematropica*. (Estados Unidos). Vol. 14, No. 1.
- ZULUAGA C., C. A.. 2003. Identificación de chizas (Col: Melolonthidae) asociadas a pasto "Kikuyo" (*Pennisetum clandestinum* Hoechst) y papa (*Solanum tuberosum* Linneo) y sus posibles enemigos naturales en Cundinamarca. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Bogotá. Bogotá (Colombia). 52 p.

## La comunicación en insectos. ¿Reciben mensajes de las plantas?: El caso de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari)

Alex Enrique Bustillo Pardey, Ing. Agr., Ph. D.

Investigador Principal I, Disciplina de Entomología, Cenicafé, correo e: alexe.bustillo@cafedecolombia.com

### Resumen

Los insectos se pueden comunicar entre sí y con otros organismos en muchas formas a través de la liberación de semioquímicos, visualmente, produciendo sonidos, o a través de órganos sensoriales que poseen en su integumento. Sin embargo es la comunicación química la que actualmente llama poderosamente la atención de los investigadores por las implicaciones que pueden tener estos sistemas en el manejo de insectos plagas. Los insectos son capaces de mandar señales químicas a otros insectos a las plantas o recibir mensajes de estas, como mecanismos de defensa del ataque de otros insectos. Estos mecanismos se basan en la liberación de metabolitos secundarios volátiles que atraen o repelen ciertas especies de insectos. Aunque esta estrategia puede parecer contraproducente, en efecto, atrae solo insectos que predan sobre los organismos que son dañinos a la planta. A su turno, este mecanismo provee una protección a la planta y una fuente de alimentación al insecto que preda sobre el herbívoro.

Los compuestos volátiles son aquellos de estructura química que les permiten evaporarse fácilmente en el aire. Una vez en el aire, las sustancias volátiles les proporcionan señales a los predadores de los herbívoros sobre su existencia, por lo cual estos ofrecen protección a la misma planta. Los volátiles químicos más comunes que han sido caracterizados son los compuestos de la familia de los Terpenoides y el Indole, un producto de la vía sintética del ácido shikímico. Varias especies agrícolas han mostrado poseer las vías de defensa responsables de la producción de estos compuestos. En este escrito se pretende informar sobre los avances recientes en esta novedosa área del conocimiento y cómo estos hallazgos pueden llevarse a la práctica para el beneficio de los agricultores. Se discute también el uso de estas herramientas para el caso del manejo de la broca del café, *Hypothenemus hampei*.

### La comunicación en insectos

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

Recientemente se ha acuñado el término **Semioquímicos** del griego *semeon* que significa señal y se consideran bajo esta denominación todos los productos químicos que sirven de intermediarios en las interacciones entre organismos. Los semioquímicos se pueden subdividir dependiendo de si las interacciones son interespecíficas y se denominan **aleloquímicos** o si éstas son intraespecíficas y reciben el nombre de **feromonas**. Los aleloquímicos provocan reacciones

en individuos de una especie diferente a la especie que los origina. Los aleloquímicos están subdivididos en varios grupos dependiendo de si la respuesta del receptor es adaptativamente favorable al emisor pero no para el receptor (**alomonas**), si es favorable al receptor pero no al emisor (**kairomonas**) o si es favorable tanto para el emisor como para el receptor (**sinomonas**). Las **feromonas**, término del griego *phereum* que significa, llevar y *horman*: estimular, las libera un miembro de una especie para causar una respuesta en otro miembro de su misma especie. (Jones y Lewis, 1981).

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

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

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

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

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

## Producción de olores y quimo-recepción

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

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

## Características de las feromonas

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

## Enfoques sobre el uso de feromonas en MIP

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

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

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

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

## Productos Naturales - (Metabolitos Secundarios)

Las plantas producen una gran variedad de compuestos orgánicos que no se encuentran involucrados directamente en procesos primarios metabólicos de crecimiento y desarrollo. Los papeles que juegan estos productos naturales o metabolitos secundarios en las plantas se están analizando recientemente desde un punto de vista de su contexto analítico. Los productos naturales parece que funcionan primariamente en defensa contra predadores y patógenos y en proveer ventajas reproductivas como atrayentes de polinizadores y en la diseminación de semillas. Ellos pueden también actuar creando ventajas competitivas como venenos para especies rivales.

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

Los **Terpenoides** (más de 25.000 compuestos) son compuestos que se derivan del precursor isopentenyl diphosphate (IPP), denominado isopreno que está formado de cinco unidades de carbono, los cuales son sintetizados vía acetato/mevalonato o vía gliceraldehido 3-phosphato/pyruvato. Muchos terpenoides de plantas son tóxicos e inhiben la alimentación a herbívoros ó actúan como atrayentes de varios insectos.

Los **Alcaloides** (cerca de 12.000 compuestos) se sintetizan principalmente de los aminoácidos. Estos compuestos que contienen nitrógeno protegen plantas de una gran variedad de animales herbívoros, y muchos poseen actividades farmacológicas importantes.

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

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

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

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

### **Atracción de insectos a las plantas**

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

Se ha encontrado que muchas plantas producen una mezcla de volátiles por las hojas como en el caso del algodón, los cuales juegan un papel muy importante en la orientación de los insectos hacia estas plantas. Estos compuestos que permiten que el insecto oviposite, se alimente y encuentre refugio en las plantas son principalmente monoterpenos. Los monoterpenos son de naturaleza lipofílica y derivados de la condensación del ácido mevalónico. Estos volátiles de las plantas son principalmente secreciones glandulares, que pueden actuar como atrayentes, inhibidores, y estimulantes de la oviposición. En la planta de algodón se han encontrado principalmente monoterpenos: como pinene, myrcene, limonene, y ocimene, que son una señal para insectos como *Popilia japonica*, *Anthonomus grandis* para encontrar esta planta (Shahida *et al.* 2001).

### **Defensas de las plantas**

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

Los compuestos volátiles son aquellos de estructura química que les permiten evaporarse fácilmente en el aire. Una vez en el aire, las sustancias volátiles les dan señas a los predadores de los herbívoros sobre su existencia y proveen protección a la misma planta. Los volátiles químicos más frecuentemente caracterizados son los compuestos de la familia de los terpenoides y el Indole, un producto de la vía sintética del ácido shikímico. Estudios recientes muestran que varias especies agrícolas han mostrado poseer las vías de defensa responsables de estos compuestos. Estas especies incluyen maíz, algodón, frijol, y col de Bruselas, sin embargo se considera que a medida que estos mecanismos se estudien en otras plantas se podrá ampliar mucho más nuestro conocimiento al respecto.

Turlings *et al.* (1990) presentaron resultados de un experimento conducido en maíz, en el cual encontró que los compuestos volátiles de la clase de Terpenoides e Indole eran los atrayentes primarios. En este caso en particular, el herbívoro eran larvas de *Spodoptera exigua*, que dañan la mazorca del maíz y se incrementa la liberación de volátiles en el aire que atraen *Cotesia marginiventris* para que ataquen las larvas. El daño infringido a la mazorca del maíz. Los autores concluyeron que los compuestos volátiles: terpenoides e Indole producidos sirvieron como un mecanismo directo de defensa de la planta.

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

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

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

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



Algo similar a lo anterior encontraron Alborn *et al.* (2003) con el gusano cachón del tabaco *Manduca sexta*. Los componentes de la regurgitación de este insecto, que incitan a la liberación de volátiles se identificaron como: N-linolenoyl-L-glutamine (18:3-GLN) y N-linolenoyl-L-glutamic acid (18:3-GLU).

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

Los componentes de la mezcla terpenos volátiles liberados por la planta de algodón varían notablemente a través del fotoperiodo. Algunos componentes se emiten por lo menos en cantidades 10 veces más grande durante la fotofase que durante la escotofase, mientras que otras se liberan continuamente, sin un patrón especial, durante todo el tiempo que las plantas están sometidas al ataque del herbívoro (Loughrin *et al.* 1994).

### **Especificidad de las defensas inducidas por herbívoros**

Además de las defensas directas inducidas las plantas se pueden defender ellas mismas indirectamente mejorando la efectividad de los enemigos de los herbívoros. Las plantas pueden responder a los artrópodos herbívoros con la producción de una mezcla de volátiles que atraen a los predadores y/o parasitoides de los herbívoros. Los artrópodos carnívoros pueden discriminar entre plantas infestadas y plantas mecánicamente heridas y entre plantas infestadas por diferentes especies de herbívoros. Las mezclas de volátiles emitidas por diferentes especies de plantas infestadas por la misma especie de herbívoro muestran grandes diferencias cualitativas, mientras que mezclas emitidas por plantas de la misma especie, pero infestadas por diferentes especies de herbívoros son en su mayoría cualitativamente similares con variación en la cantidad. Los carnívoros pueden discriminar entre mezclas que difieren cualitativamente y/o cuantitativamente. Sin embargo, es aún desconocido que diferencias en las mezclas son usadas por los artrópodos carnívoros en esta discriminación. Señales para vías de transducción involucradas en la inducción de defensas directas e indirectas parece que se traslapan. Las defensas directas e indirectas pueden interferir con la efectividad de una u otra. Para la aplicación en la agricultura de estas defensas directas e indirectas, es importante comparar la relativa importancia de estos dos tipos de defensa en la misma especie de planta. (Dicke 1999).

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

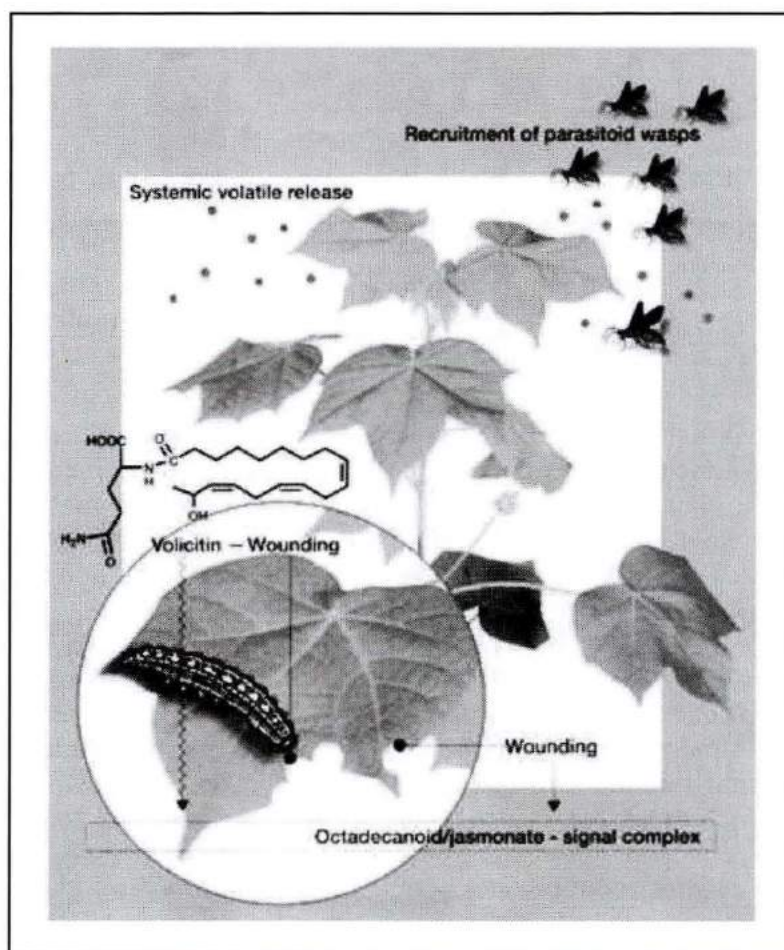
El ácido salicílico (AS) induce la floración, inhibe la toma de K<sup>+</sup> y P<sup>+</sup>, e inhibe la síntesis de etileno. Probablemente es un antagonista del ácido jasmónico. El AS incita la respuesta sistémica adquirida (RSA) y puede mover a grandes distancias el componente de una señal a través de la vía de

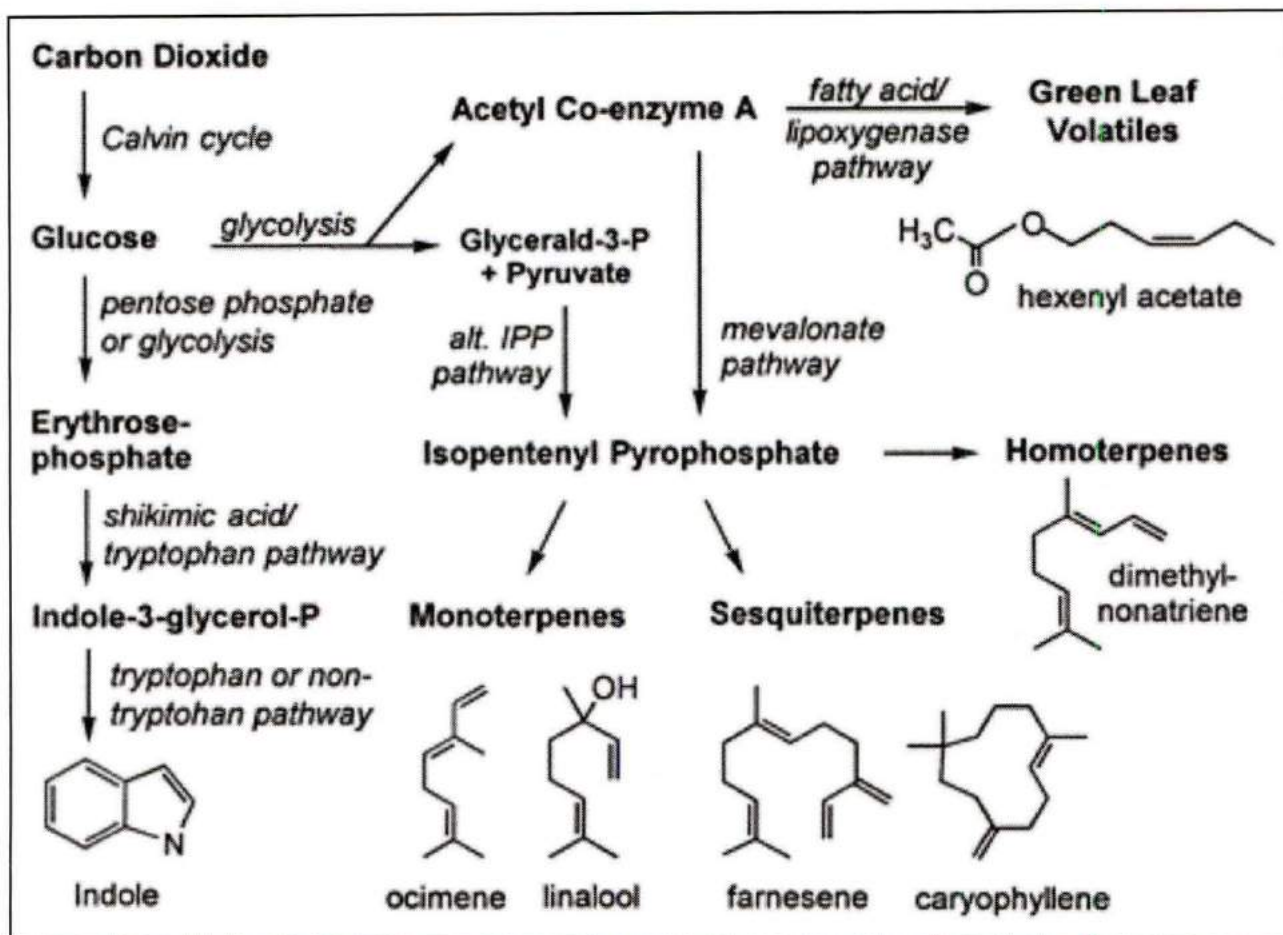
transducción. SA induce las proteínas PR-1, PR-2, PR-5, beta-1,3-glucanase, y glutathione S-transferasa relacionadas con patogénesis. AS participa en RSA y en las respuestas hipersensitivas (HR) localizadas. e induce vías de respiración alternas.

### Vía Metabólica del Ácido Shikimico y del Ácido Jasmónico

La vía metabólica del ácido shikimico es la base de la síntesis de proteínas; además esta directamente relacionada con el crecimiento y salud de las plantas. Se ha demostrado que esta vía metabólica produce phenylalanina a través del uso de la enzima EPSP synthase. El ácido Phosphoenolpyruvico, creado durante la glycolisis, se combina con D-Erythrose- 4 phosphate, un producto de la vía metabólica del pentose phosphate, para iniciar la formación del ácido shikimico. El ácido shikimico continúa a través de la vía metabólica produciendo tryptophano, tyrosina y phenylalanina. La vía metabólica del ácido shikimico no existe en el reino animal y estos tres aminoácidos deben ser consumidos en la dieta de los animales. Estos tres aminoácidos son ingredientes esenciales para la síntesis de proteína. Se ha encontrado una enzima clave que usa phenylalanina para sintetizar metabolitos secundarios, la Phenylalanina Ammonia- lyase (PAL) es la enzima activa en la vía metabólica de phenylpropanoide. La vía metabólica del phenylpropanoide es una extensión de la vía del ácido shikimico creando metabolitos secundarios en presencia de PAL. En presencia de grandes concentraciones de PAL más phenylalanina se producen más metabolitos secundarios. (Paré y Tumlinson 1999).

**Representación esquemática indicando un incremento en la liberación de compuestos volátiles por las plantas, en respuesta a la alimentación de los insectos mediada por un elicitor como volicitin producido por las secreciones orales de insectos herbívoros que dañan el tejido de las plantas. Los semioquímicos volátiles son luego utilizados por los enemigos naturales, tales como avispitas parásitas, para localizar sus huéspedes. (Tomado de Paré y Tumlinson 1999).**



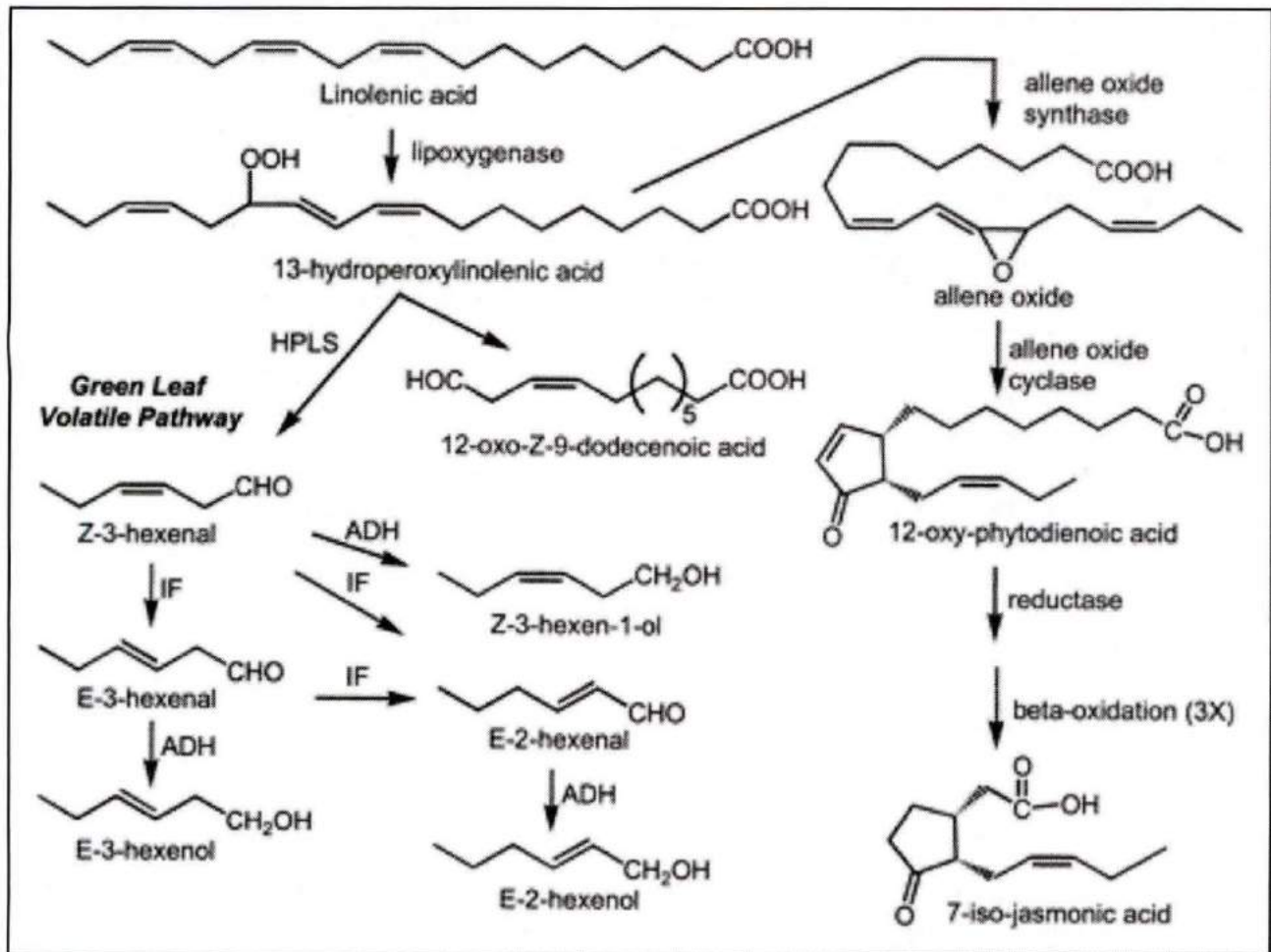


Vías metabólicas que conducen a la síntesis de volátiles en plantas.  
(Tomado de Paré y Tumlinson 1999).

La vía del phenylpropanoide que se inicia con la producción de phenylalenina de la vía metabólica del ácido Shikimico y que usa PAL, orienta varias reacciones para producir ácido Cinnamico. El ácido Cinnamico es el punto de partida de muchos metabolitos secundarios, produciendo taninos, flavonoides, ligninas, y fenolicos sencillos. El aumento de PAL se ha correlacionado en plantas de tabaco con un aumento en resistencia a virus, bacterias, hongos e insectos herbívoros.

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

Las plantas producen dos formas de ácido jasmónico. El ácido jasmónico soluble se usa como una defensa directa a herbívoros, activando los genes para la producción de PAL que cataliza metabolitos



**Intermediarios en la conversión metabólica del ácido linolénico a ácido jasmónico y una serie de hexenyl o volátiles de hojas verdes catalizados por las enzimas hydroperoxidase (HPLS), isomerización (IF), y alcohol dehidrogenasa (ADH) (Tomado de Blee, 1998).**

secundarios que incluyen proteínas inhibidoras, que disminuyen los beneficios nutricionales a los herbívoros que se alimentan de la planta. Las plantas también producen una defensa indirecta en la forma de un volátil Methyl Jasmonato (MeJA). MeJA ha sido recientemente descubierto como un volátil que da señales a las plantas. Se ha encontrado que MeJA incita a la producción de AJ en plantas a su alrededor aunque ellas no estén siendo atacadas por herbívoros.

### Encubrimiento bioquímico para evadir enemigos naturales por un insecto herbívoro

Las interacciones entre plantas y herbívoros proveen ejemplos muy bien estudiados de coevolución, pero poco se conoce acerca de como estas interacciones son influenciadas por un tercer nivel trófico. Un estudio llevado a cabo por De Moraes y Mescher (2004) demostró que las larvas del herbívoro *Heliothis subflexa* reducen su vulnerabilidad a enemigos naturales a través de la

adaptación de un hecho muy notable y previamente desconocido de su planta huésped *Physalis angulata*. Los frutos de esta planta adolecen de ácido linoleico (AL), que es requerido por la mayoría de los insectos para su desarrollo.

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

### **Posibilidades de desarrollos comerciales**

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

Se están llevando a cabo experimentos para evaluar aplicaciones de ácido jasmónico en varios cultivos con el fin de inducir la acumulación de defensas en la planta y así reducir el ataque de los herbívoros en situaciones de campo (Karban 1999). Por otra parte avances en la bioquímica y genética molecular para la síntesis de terpenos, hacen posible pensar en la producción de plantas transgénicas que liberen terpenos para atraer los enemigos de los herbívoros. (Degenhardt *et al.* 2003).

### **La comunicación en la broca del café**

La broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari), es atraída a trampas cebadas con una mezcla de alcoholes y los datos de las capturas muestran que estas trampas localizadas en los cafetales sirven como una herramienta de alerta para los caficultores para conocer cuando la broca está volando en busca de nuevos frutos (Dufour 2002, Posada *et al.* 2003, Bustillo y Jiménez 2003). Lo anterior es una consecuencia de estudios previos en los que se ha demostrado la atracción que ejercen mezclas de alcoholes sobre adultos de broca los cuales en los cafetales provienen de los procesos metabólicos de la maduración de los frutos de café (Mendoza 1991, Cárdenas, 2000).

En experimentos sobre libre escogencia, las hembras adultas de la broca del café prefirieron las cerezas rojas sobre las verdes y fueron más atraídas a volátiles emitidos por las cerezas rojas. (Giordanengo, *et al.* 1993, Mendoza *et al.* 1999). Esto se ha podido confirmar con el estudio de Ortiz *et al.* (2004) en donde al analizar la emisión de volátiles de frutos de café, encontraron un incremento en su concentración durante el desarrollo de los frutos de verde a sobre maduro, donde la composición de volátiles esta dominada por ésteres y alcoholes. (Ortiz *et al.* 2004). Ellos destacan el acetaldehído, ácido acético, ethyl ester, ketonas (p.e., 2-propanone y 3-methyl-2-butanone), alcoholes (p.e., 1-propanol y 2-methyl-1-propanol) y en menor proporción los monoterpenos, aunque detectaron por primera vez en café, el 2-methyl furan. Otros investigadores han encontrado en frutos de café monoterpenos tales como:  $\beta$ -myrcene, 1-phellandrene,  $\alpha$ -terpinene,  $\beta$ -ocimene y (+)-2-carene (Mathieu *et al.*, 1998). Recientemente Rojas *et al.* (2005) encontraron 33 compuestos volátiles en frutos de café principalmente terpenos, y anotan que los frutos infestados liberan mayor cantidad de  $\alpha$ - pineno, comparado con los frutos sanos y dañados mecánicamente. Existen más trabajos que muestran resultados contradictorios sugiriendo una gran complejidad en los procesos de comunicación química de *H. hampei* y su planta huésped el café.

Un laboratorio americano en asocio con investigadores de Cicafé en Costa Rica ha desarrollado un difusor para los atrayentes de la broca del café que permite una liberación de la mezcla de alcoholes a una tasa de 186 mg / día (Borbón *et al.* 2002). Este dispositivo utilizado con un nuevo diseño de la trampa es muy eficiente como lo demuestran las evaluaciones hechas en Nicaragua, Costa Rica y ahora en Colombia. El difusor es fabricado con una membrana plástica a través del cual se disemina el cebo que permanece activo durante ocho semanas, es decir que su liberación toma cerca de dos meses, tiempo al cual se debe cambiar por uno nuevo. Evaluaciones hechas en Colombia muestran que estas nuevas trampas con este difusor capturan más brocas que las convencionales que se venían evaluando, multiplicándose las capturas por factores de 200.

Estudios recientes en cafetales han demostrado la gran atracción que este tipo de trampas ejercen sobre las poblaciones de broca en los cafetales (Bustillo 2004).

### **Uso de trampas para la captura de brocas**

Las trampas cebadas con atrayentes para la captura de la broca del café son una herramienta importante para estudiar la dinámica de los vuelos de broca en los cafetales. A través del registro ordenado de su captura se pueden determinar los patrones de vuelo de la broca en una finca o también en una región si estos se consolidan. Esta información es importante para que el cafetero pueda tomar medidas de manejo para la broca más eficientes al poder decidir sobre el momento más oportuno de control contra la broca que en un momento dado esté tratando de perforar nuevos frutos (Bustillo 2004).

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

En las localidades en donde la cosecha principal es en el segundo semestre del año se observa como la frecuencia de los vuelos de la broca y su proporción es mayor entre enero y mayo que en el resto del año. Los mayores picos se logran entre marzo y abril. Si se logra establecer una red de

trampas en una región y se centraliza el análisis de la información, esta se puede convertir en un mecanismo de alerta para el caficultor en las diferentes regiones cafeteras.

Resultados de experimentos realizados en Cenicafé entre marzo de 2002 y septiembre de 2004 sobre la captura de brocas en trampas se muestran en las figuras 1 a 9 para las cuatro localidades en que se realizó el estudio. Los datos de captura de adultos en las trampas cebadas con atrayentes para la broca del café se analizaron por años en los diferentes sitios (Figs. 1 - 4), en relación con la precipitación (Figs. 5 - 8). La figura 9 muestra los datos sobre distribución de la cosecha y la captura de la broca.

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

El patrón de distribución de las capturas de adultos de broca que se puede expresar como la época de vuelo de estos insectos muestra un comportamiento bastante similar para cada uno de los sitios de estudio en relación con los tres años evaluados, sin embargo comparativamente se ve en las figuras que las cantidades de insectos capturados pueden variar. En las localidades de El Rosario, La Catalina y Naranjal (Figs. 1, 2, 3) se puede ver como la frecuencia de estos vuelos y su proporción es mayor en el primer semestre que en el segundo. La mayor cantidad de capturas se logra entre los meses de febrero a abril, después de mayo las capturas son mínimas. Durante el periodo de evaluación las mayores capturas de brocas se concentran en los meses de marzo, abril y mayo con 78.6%, 71.2% y 69.6% para El Rosario, La Catalina y Naranjal respectivamente, en el caso de Paraguaicito no se observó tendencia de un mes en particular.

La distribución de la cosecha (Fig. 9) en estos sitios es muy similar lo que probablemente induce a que la actividad de la broca también sea similar. Una excepción a esto ocurrió en la Catalina para el año 2003 cuando en noviembre y diciembre se incrementaron las capturas posiblemente resultantes de caída de frutos infestados con broca en el lote durante la cosecha. La localidad Paraguaicito muestra un comportamiento atípico lo que se considera que es resultado de la distribución de la cosecha en donde en esta zona es muy pareja en los dos semestres, presentándose picos de capturas de broca tanto en el primero como en el segundo semestre (Fig. 4).

Al analizar los datos de capturas de broca en relación con la precipitación (Figs. 5 a 8) durante las épocas del estudio, no se encontró ninguna relación directa, sin embargo se conoce muy bien que desde que existan adultos de broca en los frutos tanto en el árbol como en el suelo estos inician su emergencia como respuesta a un incremento en la humedad relativa.

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

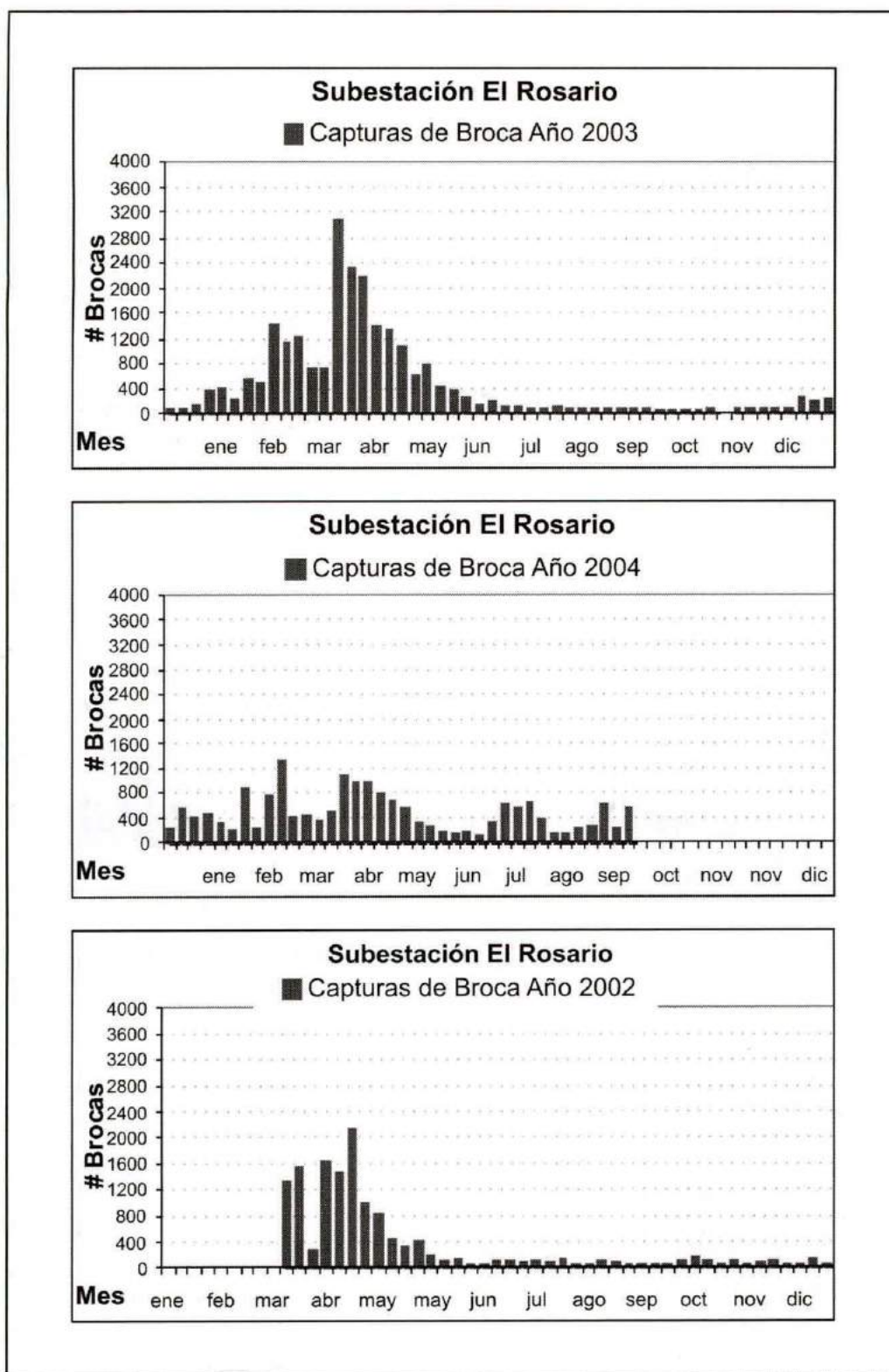


Figura 1. Total de capturas de adultos de brocas en la Subestación El Rosario. Años 2002, 2003 y 2004.



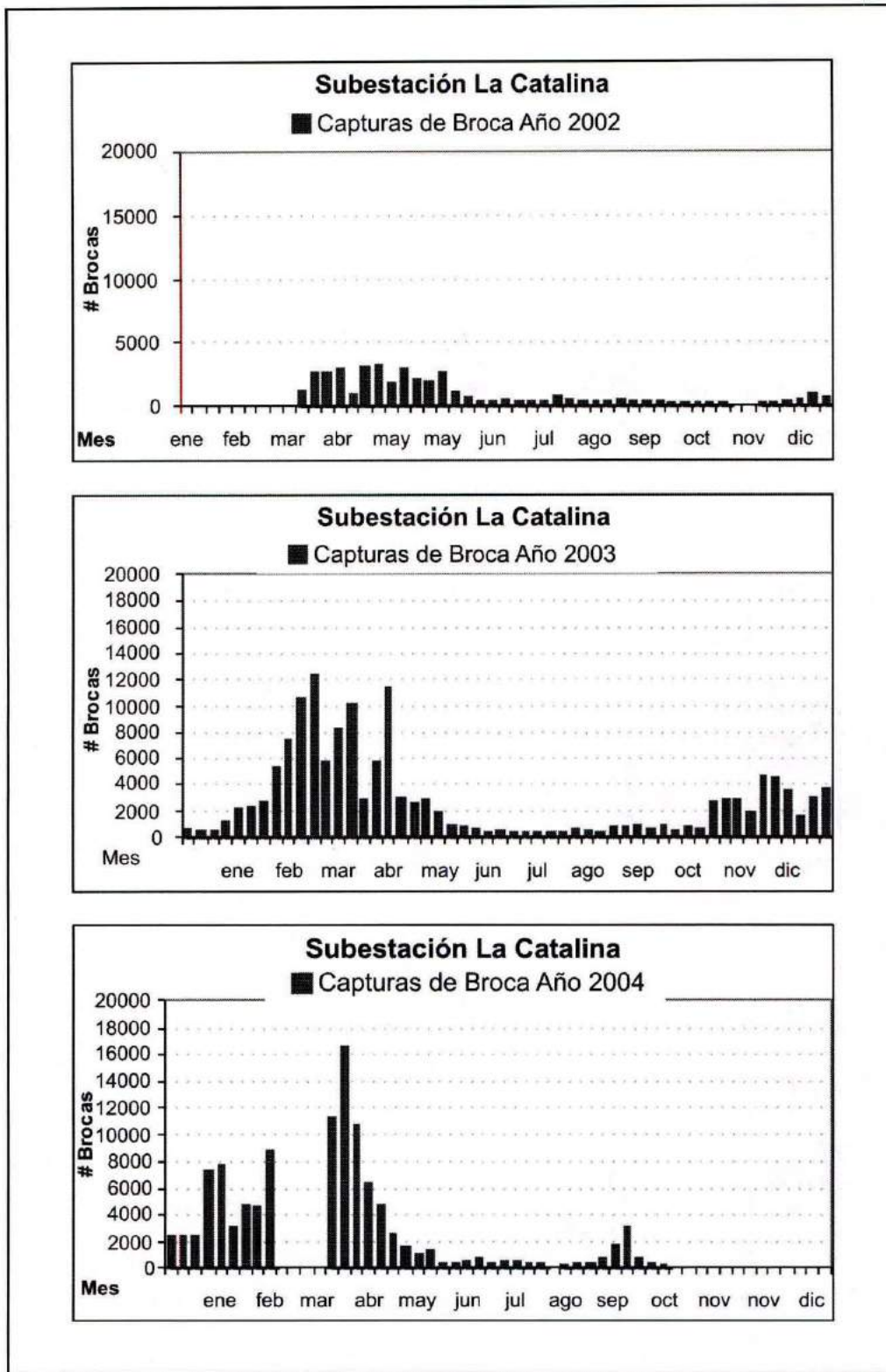


Figura 2. Total de capturas de adultos de brocas en la Subestación La Catalina. Años 2002, 2003 y 2004.

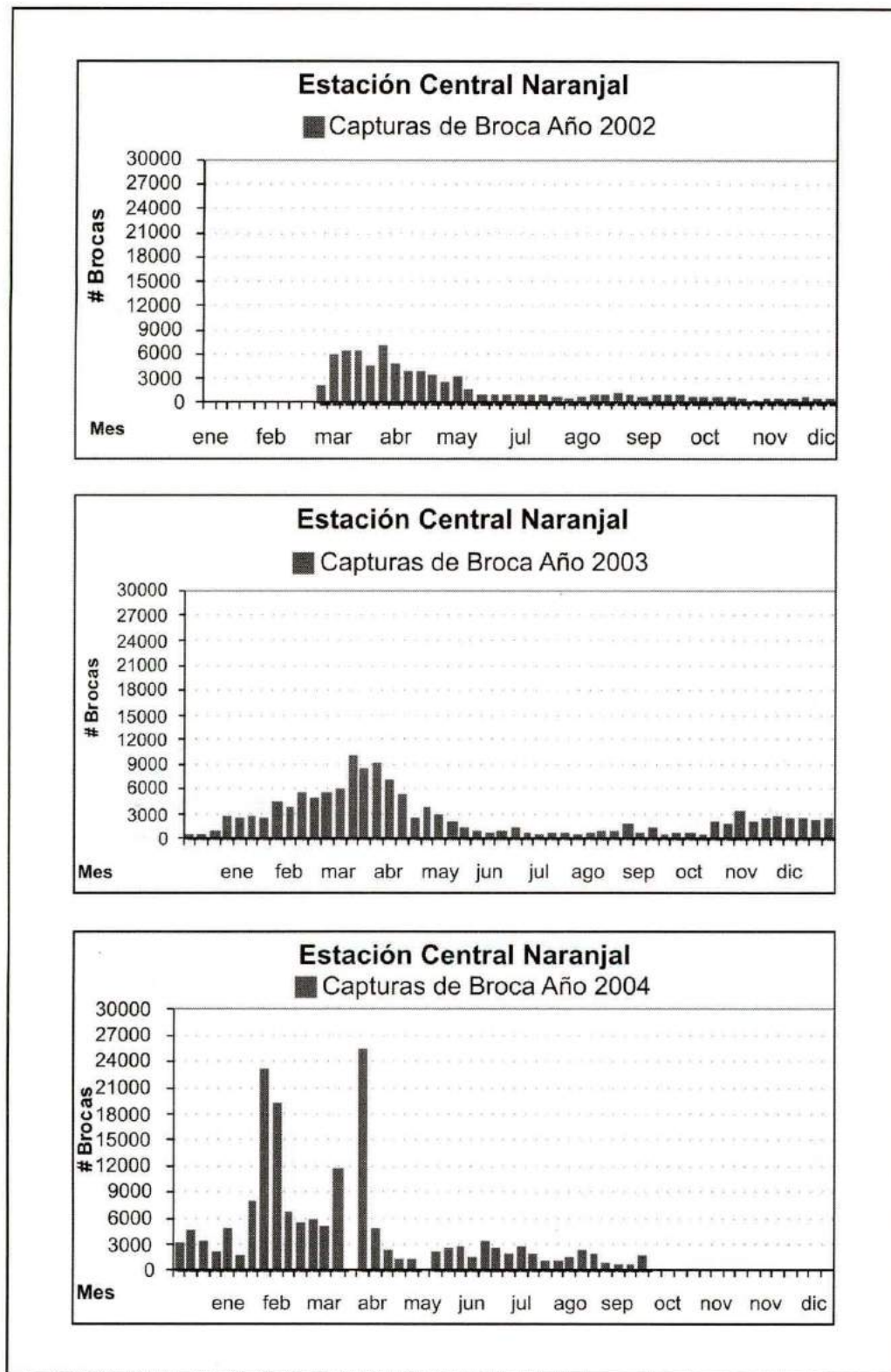


Figura 3. Total capturas de adultos de brocas en la Estación Central Naranjal para los años 2002, 2003 y 2004.

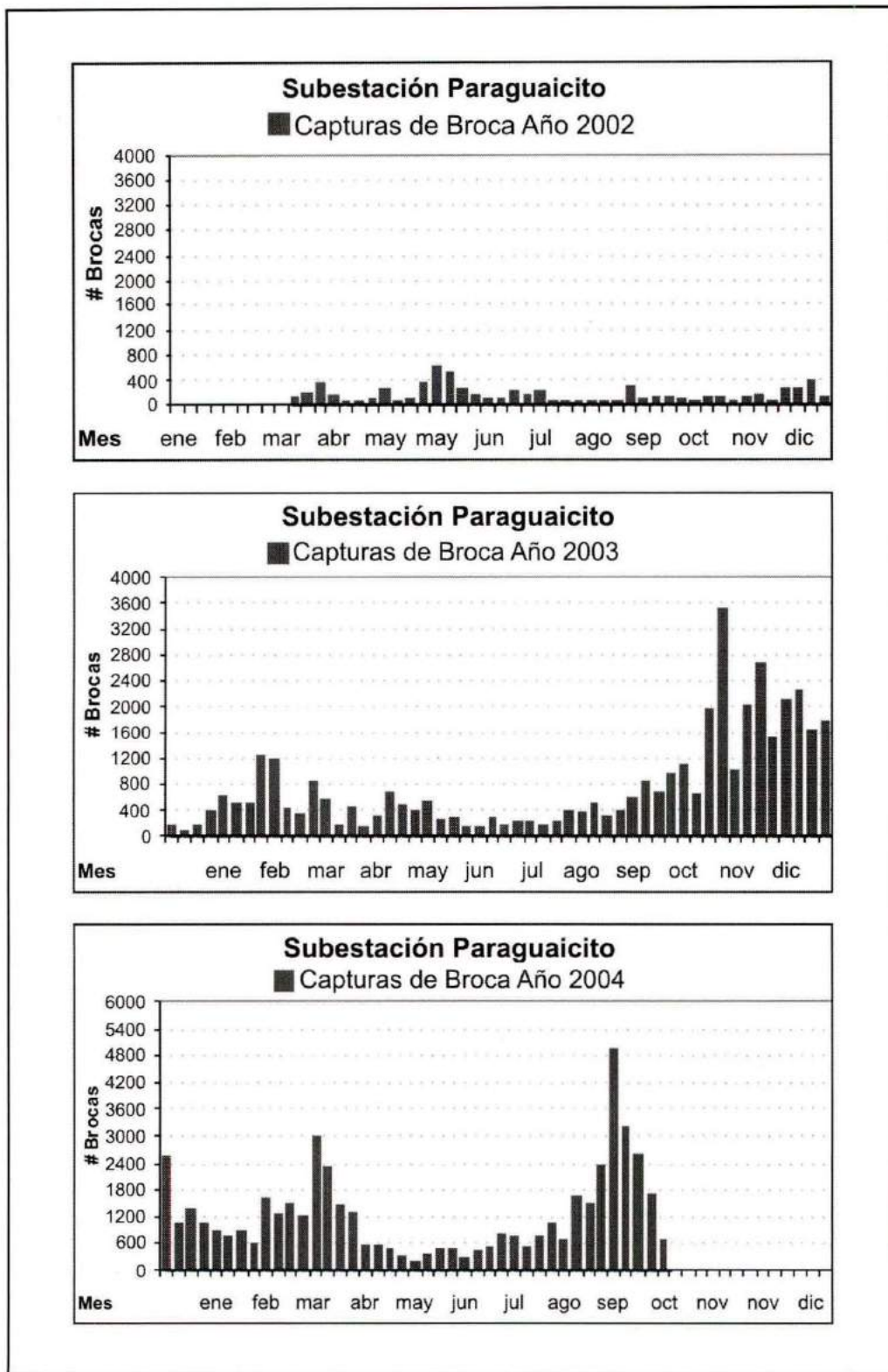


Figura 4. Total de capturas de adultos de brocas en la Subestación Paraguaicito. Años 2002, 2003 y 2004.

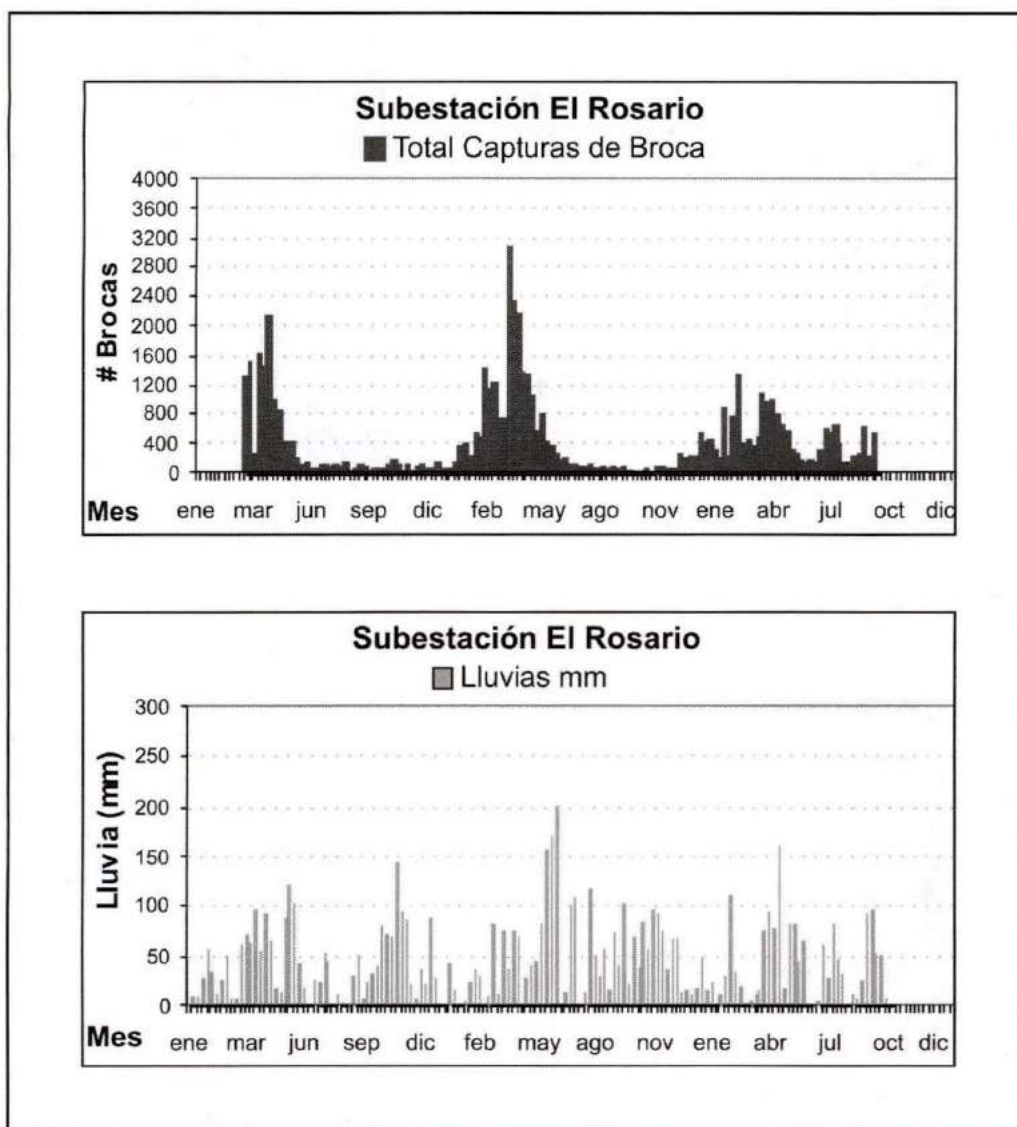


Figura 5. Capturas de brocas a través del tiempo (arriba) y precipitación abajo en la Subestación El Rosario, entre marzo 2002 y septiembre 2004.

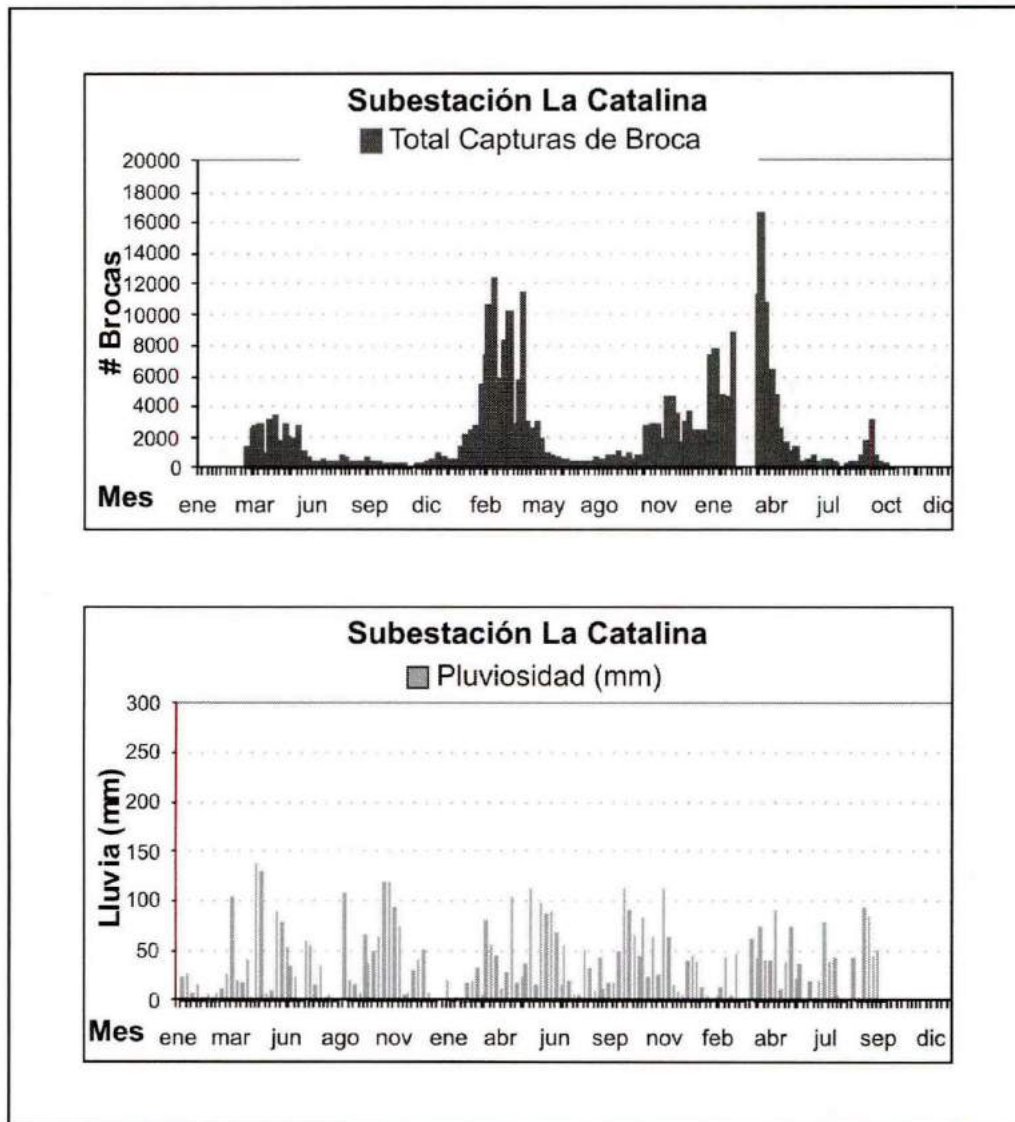


Figura 6. Capturas de brocas a través del tiempo (arriba) y precipitación abajo en la Subestación La Catalina entre marzo 2002 y septiembre 2004.

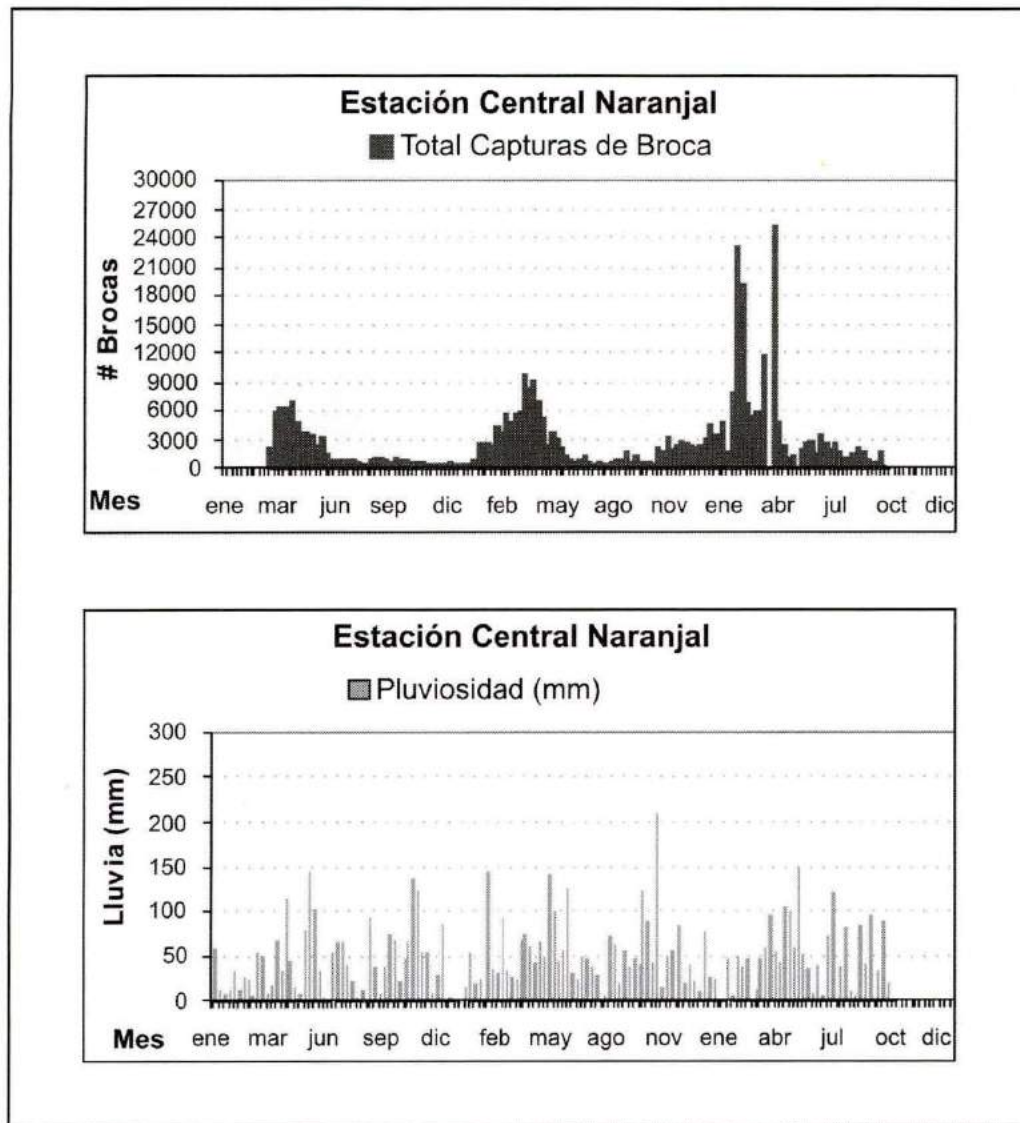


Figura 7. Capturas de brocas a través del tiempo (arriba) y precipitación abajo en la Estación Central Naranjal, entre marzo 2002 y septiembre 2004.

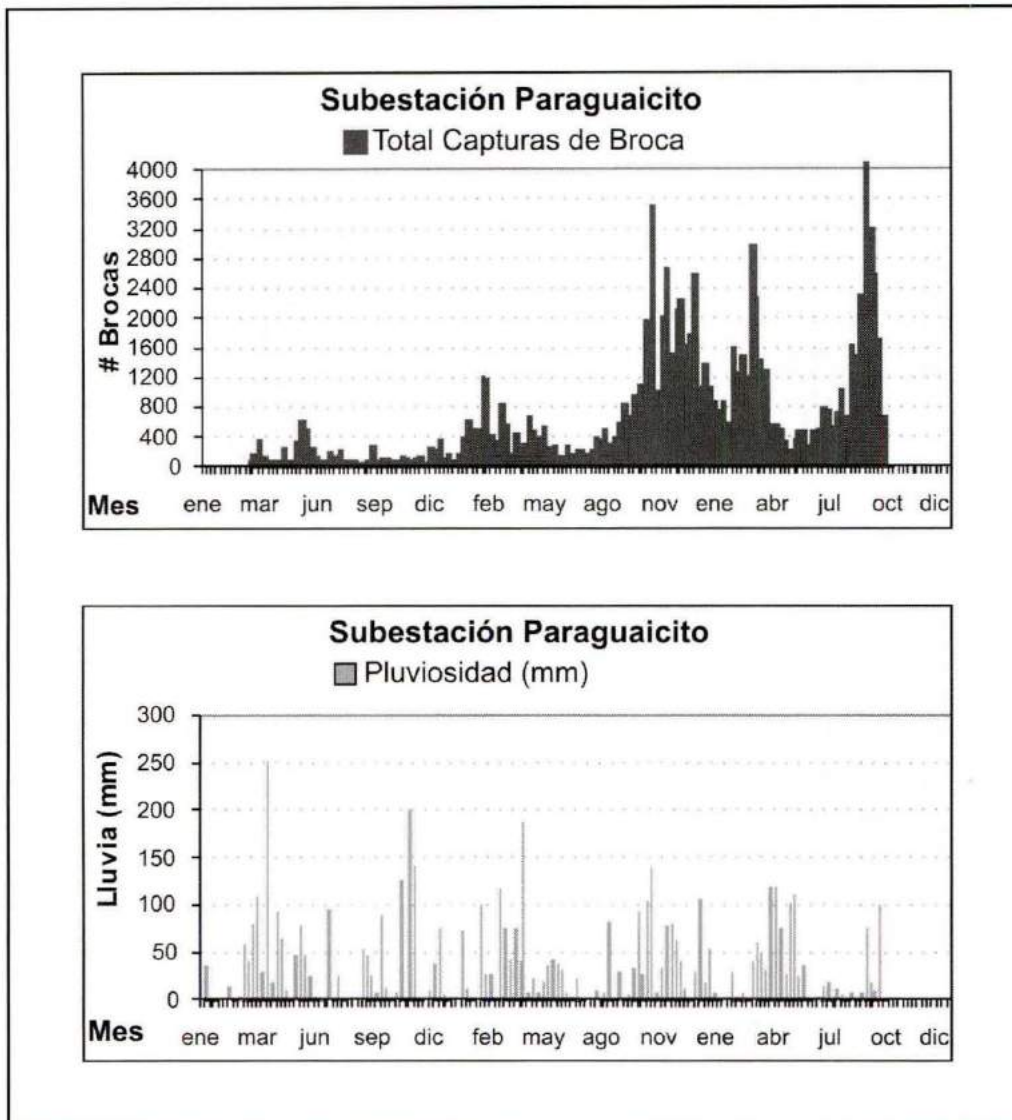


Figura 8. Capturas de brocas a través del tiempo (arriba) y precipitación abajo en la Subestación Paraguaicito entre marzo 2002 y septiembre 2004.

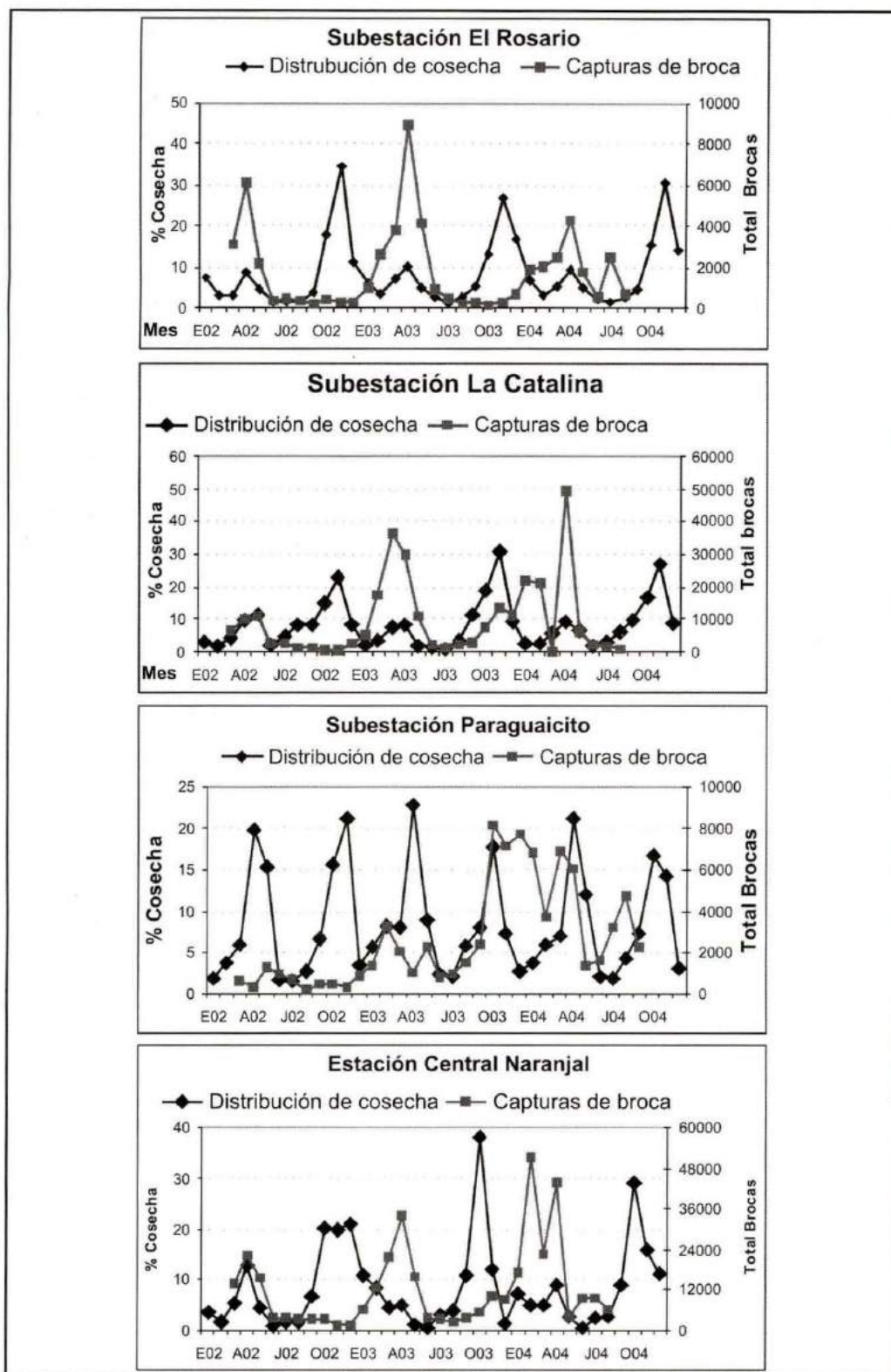


Figura 9. Capturas de brocas en los diferentes sitios de estudio en relación con la distribución de la cosecha.



## Conclusiones

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

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

En el caso de la broca del café, esta ha desarrollado mecanismos de detección de volátiles provenientes del proceso metabólico del desarrollo del fruto de café, a los cuales responde para encontrar su huésped. Estos son mezclas de compuestos de alcoholes y posiblemente monoterpenoides. Se desconoce la producción de estos volátiles una vez el fruto es atacado por el insecto, pero se supone que la producción se intensifica y más brocas llegan a estos sitios, lo cual se traduce en los cafetales en "focos" o sitios de concentración de ataques de broca. En relación con los enemigos de la broca se conoce muy poco sobre sus interacciones con la planta de café para encontrar su huésped. Existen evidencias sobre la atracción que ejercen los volátiles provenientes de los desechos alimenticios y fecales de la broca sobre *Phymastichus coffea*, *Cephalonomia stephanoderis* y *Prorops nasuta* (Rojas 2005), lo cual da lugar a un campo muy interesante de investigación.

## Literatura Citada

ALBORN H.T.; BRENNAN, M.M, TUMLINSON, J.H. 2003. J. Chem. Ecol. 29(6):1357-72.

BLEE E. 1998 Phytooxylipins and plant defense reactions. Prog Lipid Res., 37: 33-72

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

BUSTILLO, A. E. 2004. Un nuevo modelo de trampa para la captura de adultos de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari). Nota Científica. Entomólogo (Colombia), 32 (97): 2 - 4.

- BUSTILLO, A. E.; JIMÉNEZ, M. 2003. Captura de adultos de la broca del café en trampas con atrayentes. Cenicafé. Brocarta No. 36. Diciembre de 2003. 2p.
- CÁRDENAS, R. 2000. Trampas y atrayentes para monitoreo de poblaciones de broca del café. *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Col., Scolytidae). In: SIMPOSIO Latinoamericano de Caficultura, 19. San José (Costa Rica), Octubre 2-6, 2000. Memorias. ICAFE-PROMECAFE, p. 369-379.
- DE MORAES, C.M.; MESCHER M. C. 2004. Biochemical crypsis in the avoidance of natural enemies by an insect herbivore. Proc Natl. Acad. Sci. U S A. Jun 15;101(24):8993 - 8997.
- DEGENHARDT J, GERSHENZON J, BALDWIN IT, KESSLER A. 2003. Attracting friends to feast on foes: engineering terpene emission to make crop plants more attractive to herbivore enemies. Curr Opin Biotechnol. 2003 Apr;14(2):169-76.
- DENT, D. 1993. Integrated insect pest management.. En: Insect Pest Management. Dent, D. [ed.]. CAB International, Wallingford, UK. p. 439-533
- DICKE M. 1999. Specificity of herbivore-induced plant defences Novartis Found Symp. 223:43-54;
- DIETRICH, R. A., LAWTON, K., FRIEDRICH L., CADE R., WILLITS M., MALECK K. 1999. Novartis Agribusiness Biotechnology Research Inc., Novartis Found Symp.;223:205-216.
- DUFOUR, B. 2002. Importance du piégeage pour la lutte intégrée contre le scolyte du café, *Hypothenemus hampei* (Ferr.). Plantations, Recherche, Development, mai 2002, 5p.
- FREY M, STETTNER C, PARE PW, SCHMELZ EA, TUMLINSON JH, GIERL A. 2000. An herbivore elicitor activates the gene for indole emission in maize. Proc Natl Acad Sci U S A. 2000 Dec 19;97(26):14801-6
- GIORDANENGO, P., L. O. BRUN, B. FRÉROT. 1993. Evidence for allelochemical attraction of the coffee berry borer *Hypothenemus hampei*, by coffee berries. J. Chem. Ecol. 19:763-769.
- FLINT, H.; DOANE C. C. 1996. Understanding Semiochemicals with Emphasis on Insect Sex Pheromones in Integrated Pest Management Programs. In: E. B. Radcliffe and W. D. Hutchison [eds.], Radcliffe's IPM World Textbook.
- JONES, D. A.; LEWIS, W. J. 1981. Semiochemicals: their role in pest control. Nordlund, [eds.] John Wiley & Sons, Nueva York, NY, 306 p.
- KARBAN R. 1999. Novartis Found Symposium; 223:223-33; discussion 233-8.
- LOUGHRIN J.H, MANUKIAN A, HEATH R.R, TURLINGS T.C, TUMLINSON J.H. 1994. Diurnal cycle of emission of induced volatile terpenoids by herbivore-injured cotton plants. Proc. Natl. Acad. Sci., USA.91(25):11836-11840.
- MATTHEWS, R. W.; MATTHEWS, J. R. 1978. Insect behavior. John Wiley and Sons, Inc. 507 p.
- MATTIACCI L, DICKE M, POSTHUMUS M.A. 1994. Induction of parasitoid attracting synomone in brussels sprouts plants by feeding of *Pieris brassicae* larvae: role of mechanical damage and herbivore elicitor. J. Chem. Ecol. 20: 2229-2247
- MATTIACCI L, ROCCA B.A., SCASCIGHINI N., D'ALESSANDRO M., HERN A, DORN S. 2001. Systemically induced plant volatiles emitted at the time of "danger". J. Chem. Ecol. (11):2233-52

- MENDOZA, J. R. 1991 Reposta da broca-do-café, *Hypothenemus hampei*, a estímulos visuais e semiquímicos. Tese Magister Scientiae, Universidade Federal de Viçosa, Brazil. 44p.
- MENDOZA, J. R., J.-O. GOMES DE LIMA, E. F. VILELA, AND C. J. FANTÓN. 1999. Atractividade de frutos à broca-do-café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari): estímulos visuais e olfativos. Anais. Londrina (Brasil), UFPR-IAPAR-IRD, 2000. p. 313-31
- ORTIZ A., A. ORTIZ, F. E. VEGA; F. POSADA. 2004. Volatile composition of coffee berries at different stages of ripeness, and their possible attraction to the coffee berry borer *Hypothenemus hampei*. Coleoptera: Curculionidae). J. Agric. Food Chem. 52: 5914-5918.
- PARÉ, P.W.; TUMLINSON, J.H.1997 *De novo* biosynthesis of volatiles induced by insect herbivory in cotton plants. Plant Physiol 114: 1161-1167
- PARÉ, P. W.; TUMLINSON, J. H.1998. Cotton volatiles synthesized and released distal to the site of insect damage. Phytochemistry 47: 521-526
- PARÉ, P.W.; TUMLINSON, J.H.1999. Plant volatiles as a defense against Insect herbivores Plant Physiol, 121: 325-332
- POSADA, F. J.; BUSTILLO, A. E.; JIMÉNEZ, M. 2003. Seguimiento y captura de brocas usando trampas en cafetales. Cenicafé. Brocarta No. 35. Septiembre de 2003. 2p.
- ROJAS, J. 2005. Ecología química de la broca del café y sus parasitoides. Simposio sobre Situación Actual y Perspectivas de la Investigación y Manejo de la Broca del Café en Costa Rica, Cuba, Guatemala y México. J.F. Barrera (ed.). Sociedad Mexicana de Entomología y El Colegio de la Frontera Sur Tapachula Chiapas, México, p. 14-21.
- SHAHIDA PERVEEN S., T.M. QAISRANI, F. SIDDIQUI, R.PERVEEN; S.H.M. NAQVI. 2001. Cotton Plant volatiles and insect's behavior. Pakistan Journal of Biological Sciences 4 (5): 554-558.
- TURLINGS T.C., TUMLINSON J.H., LEWIS W. J. 1990. Exploitation of herbivore-induced plant odors by host-seeking parasitic wasps. Science 250: 1251-1253
- WALLING, L. L . 2000. The Myriad plant responses to herbivores. J. Plant Growth Regul. Jun;19 (2):195-216

## Investigación participativa en el manejo integrado de la broca del café <sup>1</sup>

Luis Fernando Aristizábal A., Ing. Agr.

Esp. Agroecología Tropical Andina. Disciplina Entomología, Cenicafe, Cenicafe, Chinchiná. Actualmente: Asistente Técnico Bioprotección, Chinchiná,

### Introducción

Desde 1998 Cenicafe y FNC dieron inicio a las primeras experiencias en investigación participativa con agricultores IPA, con el propósito de facilitar los procesos de adopción y transferencia de tecnologías relacionadas con el manejo integrado de la broca del café MIB. A través del convenio con el ICO – CFC – CABI Bioscience, se realizó el primer trabajo en investigación participativa entre los años 1998 y 2001. Posteriormente gracias al convenio con Colciencias, la Disciplina de Entomología de Cenicafe desarrollo la segunda experiencia en esta línea de investigación. En ambos proyectos se adelantaron estudios de caso en fincas de caficultores de los departamentos del Eje Cafetero, para evaluar los diferentes componentes del MIB (control cultural, control biológico, control químico, control en el beneficio y métodos de muestreo), hacer estimativos de los costos del MIB y hacer ajustes de las prácticas agronómicas que permitirán adaptar las tecnologías a las condiciones culturales, socioeconómicas y agroecológicas de los caficultores. Igualmente se desarrollaron estudios de caso para evaluar nuevas alternativas de manejo de la broca, con los controladores biológicos: *Phymastichus coffea*, *Heterorhabditis sp.* y *Steinernema sp.*

La segunda experiencia se realizó gracias al convenio Colciencias - Cenicafe- FNC, con la participación de 47 pequeños caficultores de cinco veredas: El Porvenir de Viterbo, El Crucero de Belalcázar (Caldas), Morelia Alta y Naranjal de Quimbaya (Quindío) y La Cancha de Balboa (Risaralda). Adicionalmente se conformó un grupo con 10 caficultores tipo empresarial, localizados en las veredas La Libertad y Betania en Risaralda (Caldas). Este grupo en particular surgió como sugerencia de los caficultores y el Servicio de Extensión del Comité de Cafeteros de Caldas, quienes vieron la necesidad de trabajar con Cenicafe, para buscar soluciones al problema de la broca del café en sus fincas. Uno de los objetivos del proyecto fue evaluar el manejo integrado de la broca del café en los predios de los caficultores y mejorar la adopción de prácticas de manejo integrado a través de la investigación participativa.

Para Cenicafe, esta experiencia fue muy valiosa, ya que se logró hacer ajustes a las prácticas del manejo integrado de la broca, debido a la evaluación de los componentes del MIB bajo las condiciones del caficultor (culturales, socioeconómicas y agroecológicas), por tanto, se logró demostrar las bondades del control cultural, el control biológico (hongos, parasitoides y entomonematodos), el control en el proceso del beneficio y la importancia de los muestreos de broca para la toma de decisiones.

Se hizo seguimiento a los parasitoides *Phymastichus coffea* y *Prorops nasuta* en el campo y se evaluó el uso de entomonematodos (EN) para combatir la broca presente en los frutos del suelo.

<sup>1</sup> Apartes del. Proyecto "Investigación Participativa con pequeños agricultores para el Manejo Integrado de la Broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari)". Proyecto Ent 0308 Cenicafe. Convenio COLCIENCIAS – FNC - Cenicafe. Código: 2251-07-12103 Contrato No. 263-2002 COLCIENCIAS. (Noviembre 2002 – Noviembre 2004).

Según los resultados esta alternativa de control natural con (EN) puede ser utilizada en el futuro. Sin embargo, se requieren más estudios de campo que permitan hacer ajustes para mejorar su eficacia. Se han validado diferentes planes de muestreo para diagnosticar las poblaciones de broca, encontrándose el "Método de la Medida", como un método práctico y eficaz que le ahorra tiempo al caficultor y le sirve para la toma de decisiones. Se han evaluado las trampas cebadas con alcoholes, encontrándose favorables para el monitoreo de las poblaciones de broca a través del tiempo, ya que ayudan a detectar las épocas de mayor vuelo de broca.

## Antecedentes

La broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari), es una plaga de carácter mundial y difícil de controlar debido a su hábito de permanecer oculta dentro de los frutos del café (Baker 1999). En Colombia la broca tiene alimento todo el año, está escondida en el interior de los frutos, lo cual dificulta su control con insecticidas y con el uso de enemigos naturales, ataca directamente el fruto y su manejo es costoso (Baker 1999). Para solucionar el problema, Cenicafé ha desarrollado investigaciones tendientes a consolidar un programa de manejo integrado de la broca, con la combinación de los controles agronómicos, culturales, biológicos y químicos (Bustillo *et al.* 1998). La parte agronómica contempla una visión general del manejo integrado de la finca y de toda las prácticas tendientes a mejorar el cultivo del café como selección de variedades, renovación de cafetales, división de la finca por lotes, trazados bien definidos, manejo de arvenses, fertilizaciones, recolección oportuna del café, el beneficio ecológico, etc., que facilitan su control y ayudan a disminuir las poblaciones de broca (Bustillo 2002).

Entendiendo el componente socioeconómico que representa la caficultura colombiana es de vital importancia realizar procesos de generación, desarrollo y transferencias de tecnologías del manejo de la broca del café y del cultivo, que le permita a los caficultores y a Colombia continuar produciendo un café de muy buena calidad, competir con los mercados internacionales y sostener una caficultura a largo plazo que permita el desarrollo socioeconómico de las familias cafeteras, manteniendo un equilibrio agroecológico de las zonas cafeteras del país.

FNC con el propósito de facilitar el proceso de adopción de las prácticas del manejo integrado de la broca del café, adelantó en Cenicafé dos proyectos de Investigación Participativa con Agricultores: 1- Convenio ICO – CFC – CABI BioScience – FNC entre 1998 y 2002, al cual se vincularon cerca de 120 pequeños caficultores del Eje Cafetero. 2- Convenio COLCIENCIAS – FNC – Cenicafé, entre 2002 y 2004, al cual se vincularon cerca de 45 pequeños caficultores y 10 caficultores tipo empresarial, en municipios de Caldas, Quindío y Risaralda (Bentley *et al.* 2002; Aristizábal *et al.* 2003, Aristizábal *et al.* 2004).

Los estudios de investigación participativa realizados por Cenicafé, demuestran que es posible implementar prácticas para el manejo integrado de la broca en forma amigable con los agroecosistemas cafeteros, a través de prácticas culturales, la introducción a los cafetales de agentes de control biológico (hongos, parasitoides y entomonematodos) y el seguimiento de las poblaciones a través de muestreos para ayudar en la toma de decisiones de control acertadas.

En general las ideas, los comentarios, el punto de vista, las fortalezas y las debilidades que tienen los caficultores del país pocas veces se han tenidos en cuenta para la generación, validación, adaptación y transferencia de tecnologías. Son ellos quienes tendrán que poner en práctica las

recomendaciones dadas sobre el manejo integrado de la broca del café y por lo tanto para Cenicafé, ha sido muy satisfactorio compartir los conocimientos técnicos modernos con los conocimientos empíricos y tradicionales de los caficultores, aprender de ellos y aportar conjuntamente con ideas que ayudan a mejorar la eficacia y la aplicabilidad de los componentes del manejo integrado de la broca bajo las condiciones reales que vive el caficultor.

### **Etapas de la investigación participativa con agricultores (IPA)**

Dentro del esquema de IPA se desarrollaron las siguientes etapas: 1)- Diagnóstico participativo. Sirve para identificar en conjunto con los caficultores las dificultades relacionadas con la implementación del MIB. Se realizó mediante encuestas personales tipo semi estructuradas y mediante reuniones veredales. A partir de esta información se plantean las posibles soluciones y alternativas de mayor interés por parte de los caficultores y técnicos. 2)- Nivelación de conocimientos. Sirve para facilitar una mayor comprensión y entendimiento de los componentes del MIB que son objeto de evaluación. Se realizó a través de talleres teórico prácticos utilizando la metodología "Aprender haciendo". 3)- Planeación de los estudios. Se realizaron diferentes estudios de caso para evaluar los diferentes componentes del MIB, según el diagnóstico participativo. Se llevaron a cabo estudios en control cultural, controladores biológicos (hongos entomopatógenos, parasitoides y entomonematodos), métodos de muestreo, monitoreo con trampas a base de alcohol y control en el beneficio. Los estudios de caso se realizaron en las fincas de los caficultores, con la participación directa de ellos en todas las etapas del proceso de investigación participativa. Dentro de la planeación se tuvieron presente los siguientes aspectos: tema de evaluación, objetivos, caficultores participantes, localización de las fincas, metodología, materiales, descripción de tratamientos, variables a medir, cronograma de actividades y los análisis estadísticos y económicos. 4)-Ejecución y evaluación. Etapa en la cual se realizaron los montajes de los diferentes estudios de caso, y las correspondientes mediciones de las variables evaluadas. 5)- Análisis de resultados. Mediante reuniones veredales, intercambios veredales y encuentros de caficultores experimentadores, se realizó la discusión y el análisis de los resultados obtenidos para cada uno de los componentes del MIB evaluados por los caficultores. 6)- Conclusiones y recomendaciones. Fue la fase final del proceso, en la cual se sintetizó toda la información obtenida en los estudios de caso, teniendo muy presente los comentarios realizados por los caficultores, en relación con las prácticas del MIB evaluadas por ellos en sus propias fincas.

### **Aplicaciones del hongo *Beauveria bassiana* para el control de broca en frutos del suelo**

Este estudio se realizó con el propósito de evaluar la eficacia de las aplicaciones del hongo *B. bassiana* en forma granular y líquida para el control de la broca presente en los frutos del suelo. El estudio se ejecutó en seis fincas. Se establecieron dos tratamientos: 1- Parcela testigo. 2- Parcela con aplicación de hongo. Durante varios meses de evaluación se presentó menor población de broca en el lote con hongo frente al testigo. Situación que se reflejó en todas las fincas del estudio. En general se puede afirmar que el efecto del hongo *B. bassiana* se evidenció en todas las fincas, al observarse una reducción en el número de estados biológicos de la plaga. La apreciación que se tenga del efecto del hongo sobre las poblaciones de broca puede variar, según las condiciones particulares de cada localidad y la metodología de evaluación (Posada *et al.* 2003). Según estos resultados el hongo *B. bassiana* continúa siendo un agente de control natural muy importante que ayuda a regular las poblaciones de broca.

## **Evaluación de entomonematodos (EN) para el control de la broca en frutos del suelo**

Para el control de las poblaciones de broca presente en los frutos del suelo, se realizó un estudio con los entomonematodos (EN) *Heterorhabditis* sp. y *Steinernema* sp. Se seleccionaron lotes comerciales de café en cinco fincas. Los lotes se dividieron en dos parcelas: 1. Testigo y 2. Aplicación de (EN). En general se observó reducción en el número de estados de broca por efecto de las aplicaciones de (EN). Se evidenció la presencia de los (EN) después de las aplicaciones encontrándose en promedio entre 5,1 y 17,3% de parasitismo. Estudios realizados en Cenicafé sobre el uso de entomonematodos han demostrado su efecto regulador sobre las poblaciones de broca presente en los frutos del suelo (López 2004; Lara *et al.* (2004). Los resultados obtenidos en esta investigación, demuestran el potencial de estos entomonematodos. Sin embargo, es necesario hacer más estudios que permitan ajustar dosis, frecuencias y épocas de aplicación para mejorar su eficiencia y poderlos incorporar dentro del MIB.

## **Establecimiento del parasitoide *Phymastichus coffea* en el campo**

Se seleccionaron 12 fincas en las cuales se realizaron las liberaciones del parasitoide *Phymastichus coffea*. En cada finca se seleccionó un lote productivo de café para hacer las liberaciones y el seguimiento a las poblaciones de broca y del parasitoide. El promedio de infestación de broca inicial para todas las fincas fue de 4.5% (n = 12). El promedio de infestación correspondiente a los demás meses evaluados (2003 y 2004) fue 2.5% (n = 162). En todos los lotes evaluados, se observó una reducción de las infestaciones de broca, debido a las labores oportunas de recolección de frutos maduros y a las liberaciones del parasitoide. Los parasitismos más altos se presentaron durante los meses de agosto y septiembre del 2003. A pesar de observarse la presencia de *P. coffea* en todos los lotes en los cuales se liberó, los parasitismos presentados fueron bajos 3,5% en promedio. Sin embargo, la presencia del parasitoide varios meses después de su liberación, indica que este agente de control biológico de origen africano, se está adaptando a las condiciones agroecológicas de la zona cafetera.

## **Liberación y recuperación del parasitoide *Prorops nasuta***

Las liberaciones se realizaron en 12 fincas. Se seleccionó un lote por finca en el cual se liberó el parasitoide *P. nasuta*. Se colectó mensualmente una muestra de frutos infestados para determinar el parasitismo. En cuatro fincas del estudio, se instalaron jaulas de recuperación del parasitoide, con el propósito de comparar el parasitismo obtenido frente a las demás fincas. El manejo de la broca del café, se fundamentó en recolecciones oportunas de frutos maduros cada 15 a 20 días y en liberaciones del parasitoide. Los parasitismos de *P. nasuta* oscilaron entre 0 y 44%. En las fincas con jaulas de recuperación se observaron valores entre 5 y 13%, con un promedio de 8,2% (n = 44). En las demás fincas entre 4 y 5%, con un promedio de 4,1% (n = 73). Los resultados sugieren que las jaulas de recuperación pueden favorecer el establecimiento de los parasitoides y aumentar su parasitismo.

## **Evaluación de métodos de muestreos de poblaciones de broca**

Con el propósito de comparar dos planes de muestreo se adelantó el estudio en 11 fincas. Se seleccionaron lotes comerciales de café de diferentes edades y se estimaron las infestaciones por broca, durante 2003 y 2004 usando dos planes de muestreo: 1)- Método de las 30 ramas y 2)- Métodos de la medida: (Promedio de la distancia en centímetros correspondientes a 50 frutos verdes

contenidos en una rama, promedio de 100 ramas). Se realizaron 155 evaluaciones y se observó que ambos planes de muestreo fueron similares, encontrándose en promedio  $3,24 \pm 0,28$  E.S. y  $3,06 \pm 0,25\%$  para los planes de muestreo 1 y 2 respectivamente. En relación con los diferentes niveles de infestación de broca encontrados en cada finca se observó un comportamiento similar entre los dos métodos propuestos, tanto en fincas con infestaciones bajas como altas. El método de la medida presentó valores similares frente al método de las 30 ramas. Las 11 fincas presentaron lotes de café completamente heterogéneos en variedad, densidad, edad de cosecha, altitud, localidad, etc.; por lo tanto, el método de la medida resultó ser igual al tradicional con la ventaja de que se realiza empleando en promedio un 30% menos de tiempo.

### **Evaluación biológica y económica del control cultural**

En la finca La Esperanza de Quimbaya (Quindío), el manejo de la broca del café se basó en las recolecciones oportunas de frutos maduros cada 15 a 20 días y en recolecciones sanitarias de frutos secos hacia el final de las cosechas (travesía y principal) lo cual el caficultor ha denominado Re – Re sanitario para el control de la broca. Las infestaciones permanecieron bajas durante la mayor parte del tiempo, con valores inferiores a 4% en el campo y 1,8% en el café pergamino seco vendido. El promedio de infestación por broca durante 20 meses fue de 2,2%. La infestación por broca en café pergamino seco fue de 1,4%. La eficacia de la recolección presentó en promedio 6,1 frutos dejados por árbol. El precio de venta fue de \$31.724 / @ en promedio durante el año 2003 y hasta el mes de septiembre de 2004 se vendió a \$ 33.813. Los resultados demuestran que en una finca pequeña es posible producir café exportable de buena calidad realizando en forma eficiente y oportuna las labores de recolección de frutos maduros y secos. El costo del control de broca se estimó en \$475 / @.

### **Monitoreo de las poblaciones usando trampas**

Con el propósito de realizar el seguimiento a las poblaciones de broca, mediante la utilización de trampas con cebos con alcohol como atrayente, se planteó el siguiente estudio. Se seleccionaron 16 fincas: 11 en fincas de pequeños caficultores y 4 fincas de caficultores de tipo empresarial. En cada finca se seleccionó un lote productivo de café, en el cual se instalaron entre 5 y 10 trampas. En general se puede afirmar que las trampas de alcohol están capturando un número considerable de brocas, especialmente en las fincas del municipio de Risaralda (Caldas), debido especialmente a las condiciones climáticas de la región, las cuales favorecen la reproducción de la plaga. En las fincas de los pequeños caficultores también se están capturando las brocas, pero las cantidades son inferiores. Al observar picos con mayor número de capturas, esto indica que se está presentando una época de tránsito de broca y por tanto, se debe de hacer una evaluación de infestación de broca y de posición para analizar que tipo de medida de control se debe tomar. En general, las trampas de alcohol pueden servir como un termómetro que indique las épocas de mayor vuelo de broca en los cafetales, lo cual puede facilitar el manejo de la plaga.

### **Consideraciones sobre los alcances del proceso IPA**

A través del proyecto de investigación participativa los caficultores lograron mejorar la eficacia de las prácticas agronómicas tendientes a controlar la broca del café y en consecuencia lograron producir cafés de mejor calidad, vendiendo el café pergamino seco con bajos niveles de infestación por broca y a buenos precios. La mayoría de ellos vendieron café bonificado, es decir un café exportable de



muy buena calidad y mayor precio. Ellos consideran que la broca del café no es el único factor que afecta el grano, que existen otros aspectos en el manejo del cultivo y en el proceso de beneficio.

Los caficultores han manifestado su interés por conservar los recursos naturales, ya que entienden la importancia que estos representan en el sostenimiento y en la sostenibilidad de las fincas. Por tanto, los caficultores están más motivados hacia la producción de una caficultura más amigable con el medio ambiente, que les permita simultáneamente conservar los recursos naturales y producir café en forma rentable.

A través del proceso IPA los pequeños caficultores vieron la importancia de trabajar en grupos y la necesidad de mejorar las organizaciones comunitarias, para identificar los problemas de las veredas y para buscar alternativas que permitan solucionarlos. En este sentido uno de los logros más importantes del proyecto fue contribuir a la formación de líderes comunitarios que tengan propuestas para el desarrollo rural de sus veredas.

Los procesos de investigación participativa deben ser vistos con una mirada integradora de varios componentes: humano, social, económico, agroecológico, ambiental, tecnológico, investigativo y de transferencia. Se entiende como componente humano al agricultor y a su familia, sus tradiciones culturales, sus conocimientos empíricos, su forma de vida, sus dificultades y oportunidades en relación a su entorno local. En el componente social se encuentran las relaciones entre las familias de la vereda, los grupos asociativos, la organización comunitaria, las actividades integradoras de la comunidad y los proyectos de autogestión que se adelanten, entre otros. En lo económico se busca la optimización de los recursos, el aprovechamiento de subproductos, la disminución de pérdidas, el mejoramiento de la calidad en los procesos de producción, etc. En relación con el componente agroecológico se tiene el clima, los suelos, la topografía, los cultivos, etc. En el aspecto ambiental se tienen los recursos naturales, la biodiversidad, los conceptos de conservación y sostenibilidad. En relación con el componente tecnológico se tiene el conocimiento moderno especializado, diferentes metodologías, las innovaciones tecnológicas, etc. que han sido desarrolladas por los investigadores y que son difundidas por los extensionistas con el propósito de buscar la adopción.

Las experiencias en investigación participativa realizadas por la Disciplina de Entomología de Cenicafé (Bentley *et al.* 2002; Aristizabal *et al.* 2003; Aristizabal *et al.* 2004) son un claro ejemplo de los beneficios que presenta esta nueva metodología en la generación, adaptación, validación y transferencia de tecnologías relacionadas con el manejo integrado de la broca del café, lo cual permite afirmar que la investigación participativa es una nueva alternativa de cambio en la investigación y en la transferencia de tecnologías destinadas hacia los agricultores. Los pequeños caficultores cuentan con mayores conocimientos para continuar afrontando el problema de la broca. Los técnicos del Servicio de Extensión consideran que es importante continuar fortaleciendo más y mejores experiencia en investigación participativa. Consideran que es una buena oportunidad para validar comercialmente los resultados tecnológicos presentados por Cenicafé en todos los aspectos relacionados con el cultivo del café.

El proyecto le indica a la Disciplina de Entomología, la necesidad de desarrollar procesos más económicos para la cría masiva de parasitoides y de entomonematodos, para que puedan ser asequibles a los caficultores. Finalmente el proyecto le indica a Cenicafé, la necesidad de continuar realizando investigaciones con la participación de los caficultores en otros temas tan importantes como: cafés especiales y orgánicos, cultivos asociados al café, problemas fitosanitarios, beneficio

ecológico, manejo de coberturas, biodiversidad, reducción de costos de producción y mejoramiento de la calidad del café entre otros.

## Literatura Citada

- ARISTIZÁBAL A., L. F.; JIMÉNEZ Q. M., TRUJILLO E. H.I. 2003. Memorias IV Encuentro de Caficultores Experimentadores. Manejo integrado de la broca del café a través de investigación participativa. Convenio Colciencias – Cenicafé- Federacafé. Fundación Manuel Mejía, Chinchiná, diciembre 10 y 11 de 2003. 42 p.
- ARISTIZÁBAL A., L. F.; BUSTILLO P., A. E.; JIMÉNEZ Q. M., TRUJILLO E. H. I. 2004. Memorias V Encuentro de Caficultores Experimentadores. Manejo integrado de la broca del café a través de investigación participativa. Convenio Colciencias – FNC - Cenicafé. Fundación Manuel Mejía, Chinchiná, Septiembre 21 y 22 e 2004. 70 p.
- BAKER, P. S. 1.999. La broca del café en Colombia; Informe final del proyecto MIP para el café DFID – Cenicafé – CABI Bioscience (CNTR 93/1536 A). Chinchiná (Colombia), DFID. 154p.
- BENTLEY W. J.; BAKER S. P.; ARISTIZÁBAL A. L. F.; CAMPOS O.; CHILAN W.; GARCIA A.; JARQUÍN R.; MEJÍA C. G.; MUÑOZ R., LARCO A., SALAZAR E. H. M. 2002. Manual for collaborative research with smallholder farmers. "What we learned from the CFC IPM coffee project". CABI Commodities. Egham, Surrey TW20 9 TY UK. May 2002.).
- BUSTILLO P., A. E.; CÁRDENAS M., R.; VILLALBA G., D. A.; BENAVIDES M., P.; OROZCO H., J.; POSADA F., F. J. 1.998. Manejo integrado de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) en Colombia. Centro Nacional de Investigaciones del Café CENICAFÉ. Chinchiná (Colombia). 134 p.
- BUSTILLO P., A. E. 2002. El manejo de cafetales y su relación con el control de la broca del café en Colombia. Boletín Técnico Cenicafé. No. 24. Centro Nacional de Investigaciones del Café, CENICAFÉ. Chinchiná (Colombia). 40 p.
- FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. 1.997. Sistema de información cafetera. SICA, Santafé de Bogotá., FEDERACAFÉ. 178 p.
- LARA G. J. C.; LOPEZ N. J. C.; BUSTILLO P. A. E. 2004. Efecto de entomonematodos sobre poblaciones de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae), en frutos en el suelo. Revista Colombiana de Entomología 30 (2): 179–184.
- LOPEZ N. J.C. 2004. Nematodos parásitos de insectos, control a implementar contra la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari). MEMIRIAS XXXI Congreso de la Sociedad Colombina de Entomología, Socolen. Bogotá, julio 28 al 30 de 2004. p. 211 – 214.
- POSADA F. F.; SALAZAR E. H. M.; ARISTIZÁBAL A., L. F.; MEJÍA M., C. G.; JIMENEZ Q. M. 2003. Taller de evaluación de *Beauveria bassiana* con caficultores experimentadores para el control de *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). Revista Colombiana de Entomología 29 (1): 63 - 70.



## SIMPOSIO Problemática y manejo de plagas en arroz Coordinadora: Luz Ángela Mendoza

### Presencia de *Steneotarsonemus spinki* Smiley en el cultivo de arroz en Colombia

Cristo Rafael Pérez, Ing. Agr., M. Sc.  
Investigación y Transferencia de Tecnología. Fedearroz, Cauca. Correo e: [cristopcor@edatel.net.co](mailto:cristopcor@edatel.net.co)

#### Introducción

Los ácaros fitófagos tienen mucha importancia por que son organismos potenciales para causar daño, debido al rápido incremento de sus poblaciones en épocas secas, son muy prolíficos, la facilidad de dispersión, el pequeño tamaño y la gran capacidad para adquirir resistencia a la mayoría de los acaricidas comerciales.

El ácaro blanco o del vaneamiento del arroz *Steneotarsonemus spinki* Smiley (Prostigmata : Tarsonemidae) , se encuentra ampliamente distribuido en Asia Tropical. Se ha reportado en República Dominicana, Haití, Cuba, Costa Rica y recientemente en Panamá. En el 2005 se registra este ácaro en Colombia, detectándose en la zonas del Casanare y el Tolima, pero posiblemente se introdujo mucho antes.

Este artrópodo es considerado como de alerta máxima o plaga grave por su consideración cuarentenaria, es una plaga seria en los países asiáticos, siendo responsable de daños en la décadas de 1970-1980. Ocasiona dos tipos de daños. Directo, cuando al alimentarse de la planta de arroz, extrae el contenido de la vaina de las hojas produciendo deshidratación y la muerte del tejido. Además, se alimenta de los granos en formación, impidiendo su llenado, causando vaneamiento.

El daño indirecto se origina cuando el ácaro en el proceso de alimentación, inyecta toxinas a las células que provocan deformaciones en el tejido vegetal, especialmente en el grano, originando el síntoma conocido como "pico de loro". Este ácaro tiene la capacidad de transportar en su cuerpo al hongo *Sarocladium oryzae*, el cual es inoculado por el al romper el tejido vegetal, provocando una sintomatología con panículas anormales con granos vanos y manchados.

El control de este ácaro se dificulta por la ubicación en el interior de las vainas de las hojas y su mayor concentración en las bases de las mismas, que hacen difícil la acción de los productos químicos y biológicos. Los ácaros han demostrado gran capacidad de adaptación y habilidad para desarrollar resistencia a diferentes productos.

Cuando una especie plaga se introduce en un país, puede tener ventajas para alcanzar relevancia económica en poco tiempo. El efecto del daño producido por los ácaros, se intensifica cuando se incrementa la frecuencia de las aplicaciones de insecticidas, por que muchos de ellos presentan poca o nula acción acaricida, lo que ha facilitado en forma indirecta el desarrollo de altas poblaciones de ácaros fitófagos. Esto ha favorecido el desarrollo de la resistencia en muchas especies después de varios años a la exposición de esos productos.

Los brotes de plagas en los cultivos, indican que los mecanismos implicados en el crecimiento y desarrollo de las poblaciones, están actuando de forma irregular. Los factores bióticos y abióticos pueden inducir cambios en el equilibrio de las poblaciones.

Con las anteriores consideraciones este documento brinda información sobre aspectos bioecológicos, la expresión de la dinámica, formas de dispersión, enemigos naturales de *S. spinki* asociado al cultivo de arroz, con el fin de diseñar estrategias de manejo integrado que contribuyan a disminuir las poblaciones de este artrópodo y se atenúen los daños ocasionados al agroecosistema arrocero.

## Los ácaros Tarsonemidae

Los ácaros tarsonemidos, presentan hábitos muy diversos, que van desde fitófagos fungívoros e insectívoros. Esta familia es primordialmente tropical y subtropical (Beer, 1954 citado por Ochoa *et al.*, 1991.)

Son por lo general de colores claros, de blanquecinos a amarillentos y brillantes. Tienen el gnatosoma en forma de cápsula, a veces elongado y por lo general es visible desde arriba. Los palpos son diminutos, con los quelíceros estiletiformes y parcialmente retráctiles. Las patas IV de las hembras están ausentes o son más pequeñas y delgadas que las II y III; los machos tienen tres o cuatro pares de patas; el IV para está modificado para que les ayude a agarrar a la hembra durante la cópula.

Estos ácaros miden entre 100 y 300 micrómetros. Se caracterizan por el desarrollo de apodemas en la porción ventral del cuerpo. Su integumento es relativamente duro en las formas maduras y presenta una superficie brillante. El cuerpo se divide en tres porciones definidas: el gnatosoma, el propodosoma y el histerosoma. Las partes bucales consisten de fuertes palpos, con segmentación indistinta, insertados en la porción apical del gnatosoma y de los quelíceros pares, delgados estiletiformes, cuya base se inserta en la parte media de la base de los palpos (Flechtmann 1977, Krantz 1978, Lindquist 1986, citados por Ochoa, et al 1991).

Las hembras poseen órganos en forma de vejiguilla o mazo (órganos pseudoestigmáticos), localizados dorsolateralmente entre las coxas I y II. Tienen seis pares de setas dorsocentrales. Los tarsonemidos presentan diformismo sexual, los machos son más pequeños que las hembras y el contorno del cuerpo es marcadamente diferente. Los machos son más obtusos en la región posterior del cuerpo y están equipados en su parte caudal con una estructura singular, llama cápsula genital (Beer 1954, Flechtmann 1977, Lindquist 1986 citados por Ochoa, et al 1991).

## Origen y distribución geográfica

El ácaro *S. spinki* se reporta desde inicios del siglo XX. Este artrópodo es originaria del Asia, donde se presenta en China, Corea, Filipinas, India, Sri Lanka, Tailandia y Taiwán. En América central está presente en Costa Rica, Cuba, Haití, Nicaragua, República Dominicana y en Panamá. En Norte América, se registra en Louisiana y E.E.U.U.

## Identificación

Los caracteres diagnósticos para la separación de *S. spinki* de las demás especies de *Steneotarsonemus* se refiere a las setas de la pata de los machos: la pata III con una seta en forma de espora, robusta y corta en la tibia; pata IV con un par de setas en forma de puñal, sin fémur ni genus (Smiley, 1967 ).

Las hembras presentan órganos pseudoestigmáticos ovoides, con pequeñas proyecciones en forma de esporas en la superficie. Los machos muestran apodemas III y IV bien desarrollados, haciendo que las extremidades anteriores de los apodemas IV no se extiendan hasta el nivel de los apodemas III (CHO *et al.*, 1999).

### **Aspectos biológicos**

El ácaro es transparente. El macho se distingue de la hembra por el tamaño del cuerpo. El último par de patas en el macho se utiliza para apretar y defenderse, mientras que en la hembra son reducidas y de menor tamaño. El huevo es de forma ovoide, blanco u opaco. Son colocados individualmente en el interior de las vainas. Una hembra puede ovipositar 50 huevos en cinco días. La ninfa de forma alargada se diferencia del adulto, porque posee tres pares de patas. El adulto presenta 4 pares de patas. El cuerpo es transparente. La hembra es más grande que el macho.

Las hembras de *S. spinki* miden 274  $\mu\text{m}$  de ancho y 108 $\mu\text{m}$  de largo y el macho 217x 121 $\mu\text{m}$ . Tanto las hembras como los machos presentan el cuerpo elongado, siendo más largo en la región del histerosoma (Ramos y Rodríguez, 1998).

La duración del ciclo biológico del ácaro depende mucho del comportamiento de las temperaturas, la humedad relativa y la fenología del cultivo. Con temperaturas medias de 20, 24 y 34 °C, el ácaro tiene un ciclo de 11.33; 7.77 y 4.88 días respectivamente (Gutiérrez, 2000). En las condiciones de Cuba se producen dos generaciones en el período de enero -febrero, mientras que en los meses de julio y agosto puede producir hasta nueve generaciones en un mes.

### **Hábitat del ácaro**

El ácaro vive en la vaina de las hojas. En Panamá las poblaciones más altas se han observado en la tercera y cuarta vaina, ubicándose en la mitad de esta, mientras que en Cuba, se registra en la segunda y tercera vaina, prefiriendo la segunda vaina. El ácaro solamente se aprecia con una lupa que aumente su tamaño diez veces (10X). El ácaro vive en las semillas pero las plantas se infestan desde los primeros 20 o 30 días de germinadas y se presenta con más frecuencia en las vainas de las hojas. El control de este ácaro se dificulta por la ubicación en el interior de las vainas de las hojas y su mayor concentración en las bases de las mismas, que hacen difícil la acción de los productos químicos y biológicos.

### **Factores que influyen en los brotes**

Los ácaros fitófagos dependen poblacionalmente de una serie de interrelaciones, debido a su gran capacidad de adaptación, variabilidad y distribución entre las diferentes especies y el medio en el cual se encuentran. El potencial biótico de la especie, la influencia de las condiciones ambientales, la susceptibilidad del hospedero, la competencia entre especies, las adaptaciones estructurales y químicas, la ausencia de enemigos naturales y el uso inadecuado de plaguicidas, son factores importantes para entender el comportamiento de sus poblaciones.

Las características biológicas de la especie y las condiciones favorables, inciden en el poder de expresión de *S. spinki*. Este ácaro cuyo huésped específico es el arroz, presenta ciclo biológico muy corto. El éxito inicial para establecerse la ubicación en el interior de las vainas, la velocidad de dispersión y la dinámica de la población que coincide con la formación de la panícula, ayudan a las implicaciones económicas en zonas con altas temperaturas y humedad relativa alta.

## Síntomas y daños

En edades tempranas y toda la fase vegetativa de la planta de arroz, no se observan a simple vista síntomas que indiquen la presencia de la plaga. Camargo *et al.* (2006) indican que los síntomas generales consisten en panículas vanas, algunas con curvaturas anormales del pedúnculo (pico loro) y en la fase de maduración permanecen erectas. Presencia de granos vanos o parcialmente llenos, algunos con curvaturas y manchados con tonalidades desde pardo claro hasta negro, afectando la calidad molinera del grano. La vaina de la hoja bandera muestra una pudrición visible a lo largo de los bordes de esta, observándose desde el punto de salida de la panícula. En el interior de las vainas se presentan puntos o zonas necrosadas con altos niveles de población de huevos, ninfas y adultos del ácaro (Gutiérrez, 2000).

Se pueden encontrar panículas vanas sin afección del hongo, pero cuando están presentes ambos se incrementa el daño. La afección del complejo ácaro - hongo, impide o restringe la emergencia de la panícula, causa manchas oblongas o irregulares de color café grisáceo, además vaneamiento y manchado del grano. Estos síntomas también pueden ser provocados por otros microorganismos incluyendo las bacterias oportunistas que se incorporan al complejo. *Sarocladium oryzae* es un hongo oportunista que aprovecha los daños del ácaro. Las plantas atacadas por el complejo ácaro-hongo registran más de 30% de granos vanos, llegando en ocasiones a causar vaneamiento total de la panícula.

## Fluctuación poblacional

Investigaciones realizadas para identificar la fase fenológica de mayor susceptibilidad del cultivo, reporta que a medida que las plantas se acercan a la fase reproductiva: emergencia de la panícula-crecimiento del grano, se registra un incremento apreciable en la densidad de los ácaros por planta y el número de plantas infestadas. En promedio se observaron 9 ácaros /planta y el 70% de plantas infestadas.

La población del ácaro se incrementa a partir de la fase de inicio del primordio floral hasta la emergencia de la panícula. Después de la formación de la panícula, los factores del clima favorecen el incremento y reproducción del ácaro, ya que se presentan las mejores condiciones de la planta de arroz para que este tarsonemido alcance sus máximas poblaciones y exprese su mayor daño.

En la etapa vegetativa es común observar ninfas y hembras, mientras que de floración a maduración se registra mayor presencia de machos con una relación de 4 machos x 1 hembra (Quiroz 2005, comunicación personal).

## Dispersión

En condiciones naturales a cortas distancias este ácaro se disemina a través del viento, el agua de riego o los insectos asociados al cultivo de arroz (Almaguel et al 2003). La intensidad del viento puede dispersar el ácaro a largas y/o cortas distancias. Los implementos agrícolas utilizados por el hombre son importantes agentes de diseminación.

En arroz de riego *S. spinki* puede diseminarse de un campo a otro a través de restos de cultivos que son transportados en las corrientes de agua. Se han colectado especímenes de este ácaro en pequeños pedazos de tejido vegetal que viajan en las corrientes de agua.

Las hembras son las que migran, para sobrevivir hasta que aumentan las condiciones favorables para su desarrollo. Pueden desplazarse hasta 100 metros y sobrevivir a períodos de inundación hasta de 92 horas. La diseminación del ácaro en el cultivo, varía con la hora del día. Investigaciones realizadas en condiciones de campo, han demostrado que el mayor número de ácaros se diseminan en el período de 12:00 a 15:00 p.m.

### **Control biológico de *Steneotarsonemus spinki***

Los ácaros depredadores son, en general los enemigos naturales más efectivos de ácaros fitófagos. La familia Phytoseiidae, constituyen un componente significativo en el manejo integrado de ácaros. Los fitoseidos son más eficientes como depredadores que los insectos para controlar los ácaros fitófagos, debido a que ellos presentan corto tiempo generacional, habilidad de sobrevivir y reproducirse a bajas densidades de presa, elevada capacidad de búsqueda y otras características que muestran la importancia de estos ácaros como efectivos reguladores de ácaros dañinos aun cuando su presa está escasa.

En Panamá se ha identificado a al fitoseido *Proprioseiopsis sp* y se reporta como un eficiente depredador de *S. spinki*, ayudando a mantener las poblaciones por debajo de los niveles de daño económico.

Evaluaciones realizadas por el IDIAP con bioplaguicidas a base de *Beauveria bassiana*, *Paecilomyces lilacinus*, *Metarhizium anisopliae*, *Lecanicillium (Verticillium) lecanii* y *Bacillus thuringiensis var. kurstaki*, indican que se registraron entre 89 y 98% de control a los 36 días después de la aplicación de los productos.

Los fitoseidos depositan sus huevos a lo largo de las nervaduras del envés de las hojas, prefieren vivir en la fase inferior de superficies horizontales y muestran cierta preferencia por superficies pilosas y rugosas, donde encuentran lugares apropiados para refugiarse y alimentarse (Flechtmann, 1983). Viven y ovipositan entre las colonias de ácaros fitófagos, consumiendo huevos, larvas, ninfas y adultos. Una hembra puede ovipositar en promedio de 30 a 70 huevos durante el período de preoviposición.

Dentro de los insectos, se reportan como promisorios los trips de la familia Phlaeothripidae, en la cual sobresalen las especies *Leptothrips mali* (Fitch) y *Haplothrips laurei* Hood.

### **Manejo integrado de *Steneotarsonemus spinki***

El control integrado es la forma más racional de luchar contra los insectos y ácaros fitófagos en los cultivos, con el fin de mantenerlos en niveles que no produzcan daños económicos. La fenología del cultivo, la preferencia del ácaro, la prevención y manejo del complejo (prácticas culturales), monitoreos del ácaro y las medidas de control ( varietal, biológico y químico) y el manejo agronómico son componentes fundamentales para disminuir las poblaciones del ácaro.

La capacitación y el entrenamiento de un práctico de campo dedicado a los monitoreos de la población y daño, permite establecer la presencia del ácaro en los estados tempranos, para retrasar la llegada del ácaro a los lotes. Dentro de las medidas se indican el uso de semilla certificada, la eliminación e incorporación de los residuos de la cosecha anterior, para limitar los focos de infestación. Manejar

épocas de siembras similares entre los agricultores de una misma zona, para evitar la presencia de hospedero y alimento permanente del ácaro.

La nutrición balanceada de las plantas ayuda a tolerar las poblaciones de los ácaros. El nitrógeno se debe aplicar de acuerdo a los resultados de investigación obtenidos en cada zona arrocera y fraccionado acorde con la variedad y fenología de la planta de arroz. El exceso del nitrógeno y las densidades de siembra altas, pueden incrementar los efectos del ácaro y de otros problemas fitosanitarios como la Piricularia y la Rhizoctonia, por que se ayuda a la infestación temprana del ácaro y se predispone la planta para el desarrollo de los fitopatógenos.

La acción de los controladores naturales mantiene la densidad de las poblaciones de los ácaros a un nivel más bajo del que podría ocurrir en su ausencia. Este propósito es más factible cuando se combina el control biológico con la utilización de variedades resistentes y la implementación de prácticas culturales.

La rotación de cultivos, destrucción de plantas hospederas, limpieza de los canales de riego, inspecciones periódicas al cultivo para determinar focos y la eliminación oportuna de los residuos de cosecha anterior, son prácticas que limitan el desarrollo de los ácaros y ayudan a disminuir su dispersión.

### **Anotaciones finales**

El ácaro necesita un vector para la diseminación: viento, aves y material vegetal transportado por el hombre, así que suponemos que el intercambio de germoplasma y semilla provenientes de otros países haya facilitado la introducción a Colombia.

Los brotes que se presenten en algunas zonas como el Casanare, se deben a la interacción de factores bióticos y abióticos que sumados al uso inadecuado de plaguicidas, han contribuido a la presencia de *S. spinki*, que como plaga exótica encontró un hábitat sin la presencia de enemigos naturales. El corto ciclo biológico y la alta tasa de dispersión, explican el éxito ecológico que ha tenido esta plaga en otros países de Centroamérica. Estos factores han contribuido al aumento de las poblaciones, en las zonas donde se registren condiciones de altas temperaturas y humedad relativa y se siembra permanente el cultivo de arroz, sin rotación con otros cultivos.

Para la presencia del ácaro es fundamental los factores que lo favorecen como el ambiental y el manejo agronómico del cultivo. Este artrópodo tiene mucha relación con la fenología del cultivo. Las dificultades para el manejo se deben a su comportamiento o sea la ubicación en el interior de las vainas de las hojas del arroz y a su detección oportuna Este aspecto dificulta el control químico.

El manejo de esta plaga es en forma integrada, utilizando estrategias para prevenir la entrada, diseminación y multiplicación en los lotes. El monitoreo del ácaro es fundamental para detectar la presencia en los estados iniciales del cultivo. Los muestreos se deben efectuar desde los 25 días de germinación del cultivo. Para ello se deben tomar 30 tallos distribuidos en 10 puntos al azar. Se cortan las hojas de los tallos y se ubican en papel periódico húmedo y bolsas plásticas, luego se transportan al laboratorio en neveras refrigeradas. Las vainas se observan en el estereoscopio, revisando desde la base hasta el ápice. Cuando se conoce el ácaro, se puede observar en el campo con lupas 20X o 30X.



El control químico no es la única alternativa. Hay que evitar y retardan la entrada del ácaro al lote realizando un manejo integrado del cultivo con prácticas culturales que disminuyan las poblaciones de este tarsonemido. Los ácaros han demostrado gran capacidad para desarrollar resistencia a diferentes productos. Se ha comprobado la existencia de mecanismos de resistencia cruzada especialmente frente a compuestos organofosforados y carbamatos.

La gran biodiversidad de los fitoseidos asociados al cultivo de arroz, muestran la importancia de estos ácaros predadores, como reguladores de las poblaciones de ácaros fitófagos. Se debe entonces minimizar el uso de acaricidas e insecticidas de amplio espectro, para mantener y preservar el número de ácaros benéficos presentes en el agroecosistema arrocero.

## Literatura Citada

- ALMAGUEL, L. 2004. Metodología de señalización, registro control de *Steneotarsonemus spinki* en arroz. Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal (INISAV), Cuba. 12p.
- CAMARGO *et al.* 2005. Manual técnico para el manejo integrado del complejo ácaro (*Steneotarsonemus spinki* Smiley) – hongo (*Sarocladium oryzae* Sawada) en el cultivo de arroz. Instituto de Investigaciones Agropecuarias de Panamá (IDIAP). 21 p.
- DORESTE, E. 1988. Acarología. 2da. ed. San José, Costa Rica: IICA. 410p.
- FEDEARROZ. 1983. Insectos y ácaros plagas y su control en el cultivo del arroz en América Latina. Santafé de Bogotá, Colombia. Pp 48-49.
- FERNANDEZ *et al.* 1999. Acaros benéficos asociados a *Schizotetranychus oryzae* Rossi De Simmons en el cultivo del arroz en Córdoba. En: ARROZ. Santafé de Bogotá. Vol. 48 no. 420. Pp 20-24.
- GUTIERREZ, A. 2000. Nueva plaga del arroz en el Caribe. En: Foro arrocero latinoamericano. FLAR. Vol. 6 No. 1. pp 18-19.
- MORAES, G. J. 1986. Control biológico de ácaros fitófagos.. En: Revista ASIAVA. Edición No. 19. Palmira, Colombia. Pp 19-23.
- OCHOA, R., AGUILAR, H.; VARGAS, C. 1991. Ácaros fitófagos de América Central: Guía Ilustrada. 251p.
- PEREZ, C. R. 2003. Manejo integrado de ácaros fitófagos en el cultivo de arroz en Colombia. En: ARROZ. Vol. No. pp.
- RAMOS, M.; RODRIGUEZ, J. 2001. Aspectos biológicos y ecológicos de *Steneotarsonemus spinki* en arroz en Cuba. Revista Manejo Integrado de Plagas. Costa Rica. 61:48-52.
- REISSIG, W.H. *et al.* 1986. Illustrated guide to integrated pest management in rice in Tropical Asia. IIRI, Los baños, Philippines. pp 228-232.
- SANTOS, R.; NAVIA, D.; CABRERA, R. 2004. *Steneotarsonemus spinki* Smiley (Acari:Prostigmata: Tarsonemkidae) una ameaca para a cultura do arroz no Brasil. Brasilia : EMBRAPA Recursos Genéticos e Biotecnología. 54 p.

## Evaluación de materiales al daño mecánico de *Tagosodes orizicolus* (Muir) y al virus de la hoja blanca en arroz, *Oryza sativa* L.

Luis Antonio Reyes Herrera; Lee Calvert  
Ing. Agr., Proyecto Arroz, CIAT. Correo e: L.REYES@cgiar.org, Virólogo, Líder Proyecto Arroz, CIAT.  
Correo e: lcalvert@cgiar.org, respectivamente

*Tagosodes orizicolus* (Muir) (Homoptera: Delphacidae), o sogata, es una de las plagas más importantes del arroz en la zona tropical de América. El insecto daña la planta directamente al alimentarse en el floema y mesófilo de la hoja e indirectamente al transmitir la enfermedad del virus de la hoja blanca (VHB). En las zonas arroceras de Colombia el daño mecánico normalmente no ha sido un problema aun en variedades susceptibles, ya que el insecto es bien controlado por parasitoides y predadores presentes en el ecosistema arrocerero. Sin embargo el problema se presenta cuando los agricultores realizan aplicaciones indiscriminadas de insecticidas para controlar el vector del VHB, las cuales no son efectivas pero causan resurgencia y llevan al daño mecánico donde sogata no era problema y en estos casos puede destruir los lotes de arroz.

El virus de la hoja blanca del arroz (VHB) es transmitido por *Tagosodes orizicolus*. El primer reporte de VHB en Colombia fue en 1935 (Gálvez, 1974). Las epidemias de virus se han documentado a partir de 1935, 1939, 1956-1961, 1982, 1990 y 1996 presentándose en forma recurrente. Las pérdidas en rendimiento de los campos arroceros pueden alcanzar al 90%. Las mayores epidemias se presentaron en la década de 1950 y las pérdidas en Bluebonnet 50 en Colombia alcanzaron entre 80 a 90%. En 1982 la variedad Cica 8 presentó pérdidas entre un 50 a 70% en algunos campos de arroz (Vargas, 1985). En la década de los años noventa se presentaron epidemias en Perú, Costa Rica, Colombia, República Dominicana y Venezuela.

El uso de variedades resistentes al insecto y al virus es fundamental en el manejo integrado de este complejo. Las evaluaciones de material genético se realizan de acuerdo a las necesidades de los fitomejoradores en determinar el nivel de resistencia al daño causado por la oviposición y alimentación de *T. orizicolus* y a la infección por el VHB.

En el Proyecto de Arroz del Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT, de Palmira en Colombia, se han establecido metodologías tanto en invernadero como en campo que facilitan la evaluación de materiales por resistencia al daño mecánico y al VHB. Estas evaluaciones son parte de las estrategias de mejoramiento usadas por el CIAT, FLAR, FEDEARROZ, productores comerciales de semillas (Coprosem, Aceituno, Semillano, Improarroz) y muchos programas nacionales (Tabla 1).

### Evaluación a daño mecánico

El daño mecánico causado por las ninfas y los adultos de *T. orizicolus*, al alimentarse del mesófilo y floema, ocasiona senescencia amarillamiento y necrosis acelerada de las hojas, desde el ápice y los bordes hacia la parte basal de las mismas; disminuye el crecimiento y puede causar la muerte de las plantas afectadas. Generalmente el daño efectuado por las hembras es mayor que el de los machos debido a la alimentación y oviposición (Zeigler *et al.*, 1994).

Esta evaluación se estableció por Jennings *et al.* 1981 y se realiza en condiciones de invernadero. Los materiales se siembran en bandejas de plástico de 53 x 27 x 7 cm con suelo esterilizado y en

**Tabla 1. Número de líneas de arroz evaluadas a *T. orizicolus* en invernadero y al virus de hoja blanca en el campo. (CIAT, 2001-2005).**

EVALUACIÓN	AÑO	TOTAL DE LÍNEAS
<i>T. orizicolus</i>	2001	6316
<i>T. orizicolus</i>	2002	1589
<i>T. orizicolus</i>	2003	1982
<i>T. orizicolus</i>	2004	2698
<i>T. orizicolus</i>	2005-A	3500
VHB	2001	13545
VHB	2002	20055
VHB	2003	19255
VHB	2004	21843
VHB	2005-A	18000

surcos de 10 plantas cada uno espaciados a 3 cm. Los materiales sembrados en las bandejas se colocan en jaulas de 2 x 1 x 1 m, forradas con malla fina para evitar el escape de los insectos.

Dependiendo del objetivo del fitomejorador se pueden utilizar dos metodologías:

1. Evaluación con Bluebonnet 50. Utilizada por el Fondo Latinoamericano de Arroz de Riego (FLAR) y programas nacionales donde las plantas de 15 días después de siembra (dds) son transferidas a jaulas y se infestan con ninfas de *T. orizicolus* con un promedio de diez insectos no virulíferos por planta permitiendo a los insectos alimentarse sobre las plantas hasta la muerte de Bluebonnet 50 lo cual es normalmente 8 días después de infestación para evaluar los materiales. Los testigos resistentes (Makalioka) e intermedio (Cica 8) se siembran al azar en cada una de las bandejas.
2. Evaluación con IR 8. Utilizada por los fitomejoradores cubanos en la cual las plantas de 17 dds son transferidas a jaulas y se infestan con cinco adultos no virulíferos por planta, para asegurar la emergencia de una nueva generación y el daño tanto por alimentación como por oviposición. Los materiales se evalúan cuando IR 8 muere. Los testigos resistentes (Makalioka) e intermedio (Cica 8) se siembran al azar en cada una de las bandejas. La evaluación de cada metodología se hace en forma visual con la escala de evaluación estándar del IRRI (1996). (Tabla 2).

Para los fitomejoradores del FLAR la evaluación se realiza tan pronto como Bluebonnet 50 muere. Se cuenta el número de plántulas muertas de acuerdo a la siguiente escala: resistente de 0-1 plantas muertas; intermedia de 2-5 plántulas muertas y susceptible de 6-10 plántulas muertas.

Los fitomejoradores por muchos años se abstendían de utilizar materiales altamente resistentes, cuando no presentaban plantas muertas por el miedo a antibiosis, prefiriendo materiales con reacción intermedia, por ejemplo con 1 a 5 de plántulas muertas. Con la liberación de la variedad Fedearroz 50 en Colombia y al no presentarse evidencia de evolución de biotipos de sogata permanece la opción de seleccionar materiales similares a Fedearroz 50 o Makalioka o que no presenten plántulas

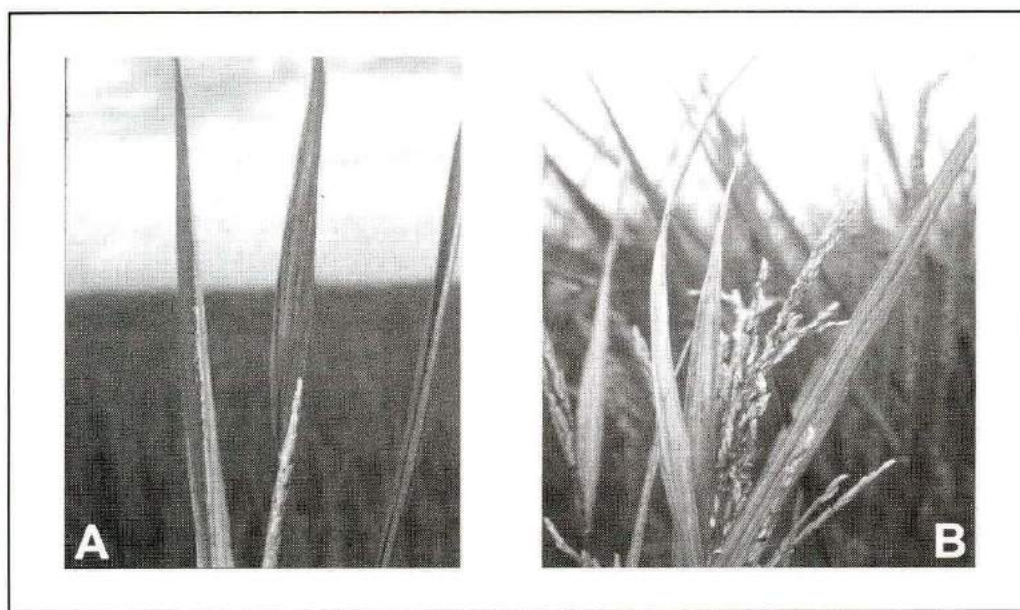
**Tabla 2. Escala de evaluación del daño mecánico de sogata.**

Escala	Nivel de daño	Reacción
1	Daño leve o decoloración foliar	Altamente Resistente
3	Leve amarillamiento de la 1ª y 2ª hoja . 10 a 20% de las plantas muertas	Resistente
5	Amarillamiento de hojas. Menos del 50% de las plantas muertas	Intermedia
7	Amarillamiento de hojas severo Mas del 50% de las plantas muertas.	Moderadamente susceptible
9	Todas las plantas muertas	Susceptible

muertas. Después de la evaluación los fitomejoradores pueden evaluar los materiales a pruebas adicionales de mecanismos de resistencia como: antixenosis, antibiosis y tolerancia.

### **Evaluación al virus de la hoja blanca**

Los síntomas del virus en la planta son bandas cloróticas que se fusionan haciendo que las hojas se tornen blanquecinas. La enfermedad se caracteriza por estrías cloróticas o completa clorosis sobre las hojas y tallos jóvenes. Cuando las plantas son infectadas en edades tempranas presentan enanismo y en casos severos, necrosis y muerte. Si la infección es tardía puede afectar las paniculas y reducir la calidad y número de granos y predispone la planta a ataque de patógenos secundarios (Figura 1).



**Figura 1. Virus de hoja blanca. A: síntomas en hoja. B: infección tardía.**

## Evaluación al VHB en Condiciones de Campo

El método de evaluación de materiales de arroz por resistencia al VHB consta de cuatro etapas básicas: 1. Formación de colonias vectoras; 2. Cría masiva de las colonias; 3. Pre-screening de las colonias sobre los testigos; 4. evaluación de materiales según su reacción a la incidencia del VHB.

Para formar colonias de *T. orizicolus* vectoras se efectúan cruces entre machos y hembras vectores, para alcanzar de un 70 a 95% de eficiencia de transmisión del VHB (Zeigler, et al 1988) . Las colonias se multiplican sobre la variedad Bluebonnet 50 en invernadero. Luego se realiza un pre-screening para determinar la reacción de los testigos a diferentes dosis de insectos virulentos y la colonia a utilizar en la evaluación de materiales en campo. (Fig. 2). Con los datos del pre-screening

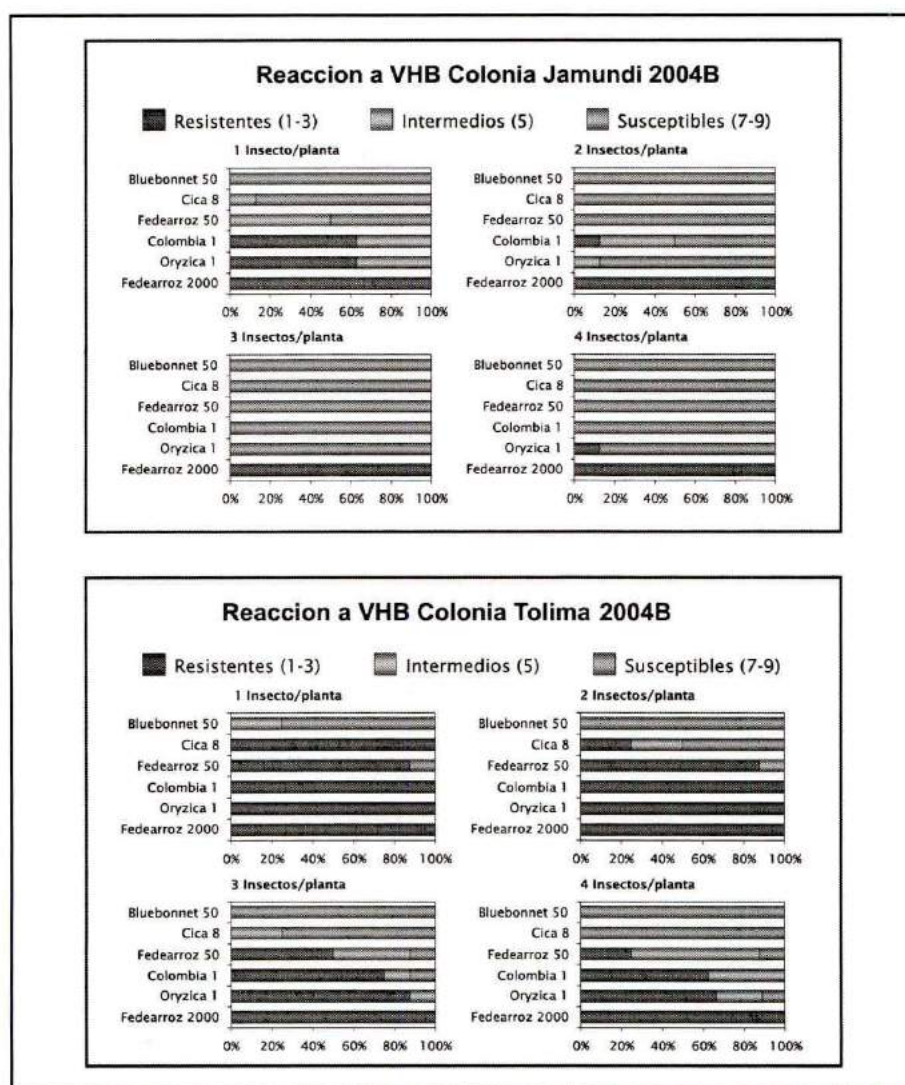


Figura 2. Pre-screening de colonias de Jamundi y Tolima con diferentes dosis de insectos vectoras, Ciat 2004.

se determina la dosis de los insectos a liberar en campo. Luego los insectos son llevados al lote de campo en jaulas de 2x1x1 mt. donde se multiplican por 25 días. La infestación de los insectos se realiza a los 18 días después de siembra de los materiales y se les permite a los insectos alimentarse sobre los materiales por 6 días.

La evaluación a VHB se realiza de 30 a 40 días después de la infestación y se seleccionan los materiales que estén entre el rango de Fedearroz 2000 (testigo altamente resistente) y Colombia 1 (testigo resistente).

Teniendo en cuenta que la metodología en campo utiliza un sistema biológico complejo el cual depende de las condiciones ambientales (temperatura, humedad, brillo solar), número de insectos por planta, estado del insecto (ninfa, adulto), concentración del virus en los insectos, edad de la planta etc, los resultados pueden diferir de un semestre a otro. Sin embargo a partir del 2004-B se ha actualizado la metodología de evaluación (disminución en la densidad de siembra, movimiento de los insectos después de la liberación, cambio en la fertilización, pre-screening) permitiendo obtener resultados mas consistentes en los testigos.

Los materiales son evaluados de acuerdo a la siguiente escala:

<b>Escala*</b>	<b>Porcentaje de infección</b>	<b>Reacción</b>
1	1- 10% de plantas con síntomas	Altamente Resistente
3	11-30% de plantas con síntomas	Resistente
5	31-50% de plantas con síntomas	Intermedia
7	51-70% de plantas con síntomas	Moderadamente susceptible
9	71-100 % de plantas con síntomas	Susceptible

### **Evaluación al VHB en Condiciones de Invernadero**

Los materiales avanzados de arroz que son de interés para el fitomejorador después de realizar la evaluación al virus en condiciones de campo se pueden reconfirmar en condiciones de invernadero.

- Sembrar 10 semillas del material en 10 materos de 10 cm de diámetro para completar 100 plantas por material.
- Sembrar en igual cantidad los tres testigos: Colombia 1, Oryzica 1 y Bluebonnet 50 (resistente, intermedio y susceptible, respectivamente).
- Infestar el material con 15 días de siembra (dds) en forma masal en jaulas de 2x1x1 m con un promedio de 5 insectos vectores por planta de una colonia vectora con capacidad de transmisión entre el 70% al 90% criada en condiciones de invernadero (27 grados centígrados y 80% humedad relativa).
- Dejar las ninfas de segundo instar alimentando sobre el material durante 5 días. Cada dos días se sacuden las plantas para distribuir bien los insectos. Al cabo de los cinco días, se aplica un insecticida sistémico.
- Evaluar a los 25 días después de la infestación de los insectos con base al número de plantas con síntomas del virus/ número total de plantas y se expresa como el porcentaje de plantas enfermas.

La evaluación anterior en porcentaje se puede llevar a la escala visual del Sistema de Evaluación Estándar del IRRI y se clasifican los materiales de acuerdo con su grado de resistencia (Cuevas et al 1992). Esta escala indica el porcentaje de plantas infectadas pero no incluye severidad (intensidad de síntomas).

La liberación de variedades resistentes al VHB y a *T. orizicolus* permite la eliminación de las aplicaciones de insecticidas químicos por los agricultores, lo cual impacta directamente en una agricultura más sustentable y competitiva.

### Literatura Citada

- CUEVAS, F., BERRIO, L.E., LEMA, G., RUBIANO, M. (1992). Caracterización de variedades de arroz ante virus de hoja blanca. *Turrialba* 42, 249-257.
- GALVEZ, G.E., THURSTON, H.D.; JENNINGS, P.R. 1974. Host range and insect transmission of the hoja blanca disease of rice. *Plant Disease Rep.* 45: 949-953.
- GALVEZ, G.E. 1968. Transmission studies of the hoja blanca virus with highly active, virus-free colonies of *Sogatodes oryzicola*. *Phytopathology* 58: 818-821.
- IRRI, 1996. Sistema de evaluación estándar para arroz. International Rice Research Institute, Manila, Filipinas. 4a edición.
- JENNINGS, P.R.; COFFMAN W. R.; KAUFFMAN H.E. 1981. Mejoramiento de arroz. Cali, Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT. 233 p.
- VARGAS, J. P. (1985). La hoja blanca: descabro de CICA-8. *Arroz*, Bogota Colombia 34:18-19.
- ZEIGLER, R., RUBIANO, M.; PINEDA, A. 1988. A field screening method to evaluate rice breeding lines for resistance to the hoja blanca virus. *Annals Applied Biology* 112:151-158.
- ZEIGLER, R. S., PANTOJA, A., DUQUE, M. C.; WEBER, G. 1994. Characteristics of resistance in rice to rice hoja blanca virus (RHBV) and its vector. *Annals Applied Biology* 124:429-440.

## Control del virus de la hoja blanca (RHBV) mediante plantas transgénicas y algunos aspectos sobre bioseguridad en el trópico

Luisa Fernanda Fory, M. Sc.

Asociada de Investigación. Correo e: lffory@hotmail.com. Centro Internacional de Agricultura Tropical. CIAT.  
A.A. 6713 Cali, Colombia.

El virus de la Hoja Blanca del Arroz (RHBV) es una de las principales enfermedades que afectan el cultivo de arroz *Oryza sativa* L en América tropical (Morales y Niessen 1983). Las pérdidas en el rendimiento pueden alcanzar hasta un 80 % del valor de la cosecha y la incertidumbre de una epidemia hace que los agricultores recurran al empleo masivo de químicos para combatir al vector del virus, un insecto saltahoja conocido como *Tagosodes orizicolus* (Muir). A mediados de los años noventa, el CIAT con la colaboración de FEDEARROZ en Colombia y DANAC en Venezuela, desarrollaron variedades con resistencia a la enfermedad de la hoja blanca entre las cuales se destacan Fedearroz 2000 y Fedearroz Victoria 1. La resistencia a este virus es conferida por uno o dos genes pero las plantas que poseen el gen de resistencia son susceptibles antes de los 15 días de edad.

Paralelamente, en el CIAT se comienza a diseñar estrategias de resistencia al virus mediante ingeniería genética en variedades comerciales de arroz sembradas en América latina. El genoma del virus (RHBV) esta compuesto de cuatro especies de ARN de cadena sencilla. La caracterización molecular ha permitido establecer las secuencias del ARN3 y ARN4 del RHBV y determinar que estos genomas codifican dos genes cada uno de manera ambisentido (Ramírez *et al.* 1993). La secuencia del ARN3 del RHBV codifica para la nucleoproteína (N), la cual se refiere en otros tipos de virus como proteína de la cubierta. La expresión de esta proteína en plantas transgénicas ha demostrado ser un mecanismo útil para producir resistencia viral en arroz. En plantas transgénicas la protección conferida por el gen de la N-proteína fue detectada como una reducción significativa en el progreso y severidad de la enfermedad. Los resultados bajo condiciones de campo indican que la resistencia transgénica al RHBV puede ser utilizada para complementar las fuentes naturales de resistencia al virus. Estos resultados sugieren que la protección conferida por el transgen RHBV se expresa independientemente de la edad de la planta y su composición genética. Por tanto el transgen puede ser utilizado para complementar las fuentes naturales de resistencia. Actualmente se adelantan estudios que incluyen ensayos de rendimiento de las mejores líneas transgénicas (Lentini *et al.* 2003).

Antes de la liberación de plantas transgénicas de arroz, es necesario un análisis cuidadoso del impacto potencial del flujo de genes desde plantas transgénicas en la genética de poblaciones de especies silvestres y malezas compatibles con el cultivo. Para esto, se deben diseñar estrategias que permitan un uso seguro y duradero del arroz transgénico en el Neo-Trópico. El arroz maleza parece estar compuesto por especies anuales del género *Oryza* con características silvestres que incluyen pericarpio rojo y desgrane de semilla. Reportes iniciales han indicado que genes de variedades de arroz podrían transferirse rápidamente hacia el arroz maleza (Langevin *et al.* 1990). La introgresión supone proximidad física del cultivo a su parientes silvestre/maleza(s), solapamiento en la floración, compatibilidad entre el donador de polen y el receptor, al igual que la habilidad competitiva del híbrido derivado (Gealy *et al.* 2003).

En el CIAT actualmente se está desarrollando un proyecto dirigido a analizar el flujo de genes desde arroz no transgénico o transgénico hacia las especies parientes silvestres/malezas en el Neotrópico,



y su efecto sobre la estructura poblacional de las especies receptoras. Este proyecto inicio con la colecta de arroz rojo en campos de las principales zonas arroceras de Colombia. Los tipos de arroz maleza representantes de la biodiversidad encontrados en estas poblaciones fueron usados para el análisis de flujo de genes desde arroz hacia el arroz maleza bajo condiciones de campo. En este trabajo se utilizó un diseño de bloques al azar, donde el arroz transgénico se encuentra sembrado con el arroz maleza en una proporción del 20%, simulando las condiciones que reflejan el umbral económico para la infestación de arroz maleza en Colombia. Al evaluar 55.000 plantas utilizando secuencias microsátélites, se registraron tasas de hibridación desde 0.00% hasta 0.39%. Con la utilización de microsátélites se ha optimizado una metodología que involucra el sistema de "bulks de ADN", el cual permite el análisis simultaneo de un gran número de muestras. Esta metodología es útil en el monitoreo de flujo de genes a gran escala en campos de agricultores y zonas de contacto del cultivo con poblaciones de arroz maleza y especies silvestres.

### Literatura Citada

- GEALY, D.; MITTEN, H.; RUTGER, J. 2003. Gene flow between red rice (*Oryza sativa*) and herbicide-resistant rice (*O. sativa*): implications for weed management. *Weed Technology* 17: 627-645.
- LANGEVIN, S.; CLAY, K.; GRACE, J. 1990. The incidence and effects of hybridization between cultivated rice and its related weed red rice (*Oryza sativa* L.) *Evolution* 44: 1000-1008.
- LENTINI, Z.; LOZANO, I.; TABARES, E.; FORY, L.; DOMÍNGUEZ, J.; CUERVO, M.; CALVERT, L. 2003. Expression and inheritance of hypersensitive resistance to rice hoja blanca virus mediated by the viral nucleocapsid protein gene in transgenic rice. *Theoretical and Applied Genetics* 106: 1018-1026.
- MORALES, F. J.; NIESSEN, A. I. (1983). Association of spiral filamentous virus like particles with rice hoja blanca. *Phytopathology* 73: 971-974.
- RAMIREZ, B.C.; LOZANO, I.; CONSTANTINO, L. M.; HAENNI, A. L.; CALVERT, L. (1993). Complete nucleotide sequence and coding strategy of rice hoja blanca virus RNA4. *Journal of General Virology* 74: 2463-2468.

## Umbral de acción de artrópodos fitófagos en el cultivo del arroz

Harold Bastidas López, Ing. Agr.  
Fondo Nacional del Arroz, Fedearroz, Villavicencio, Meta.

En el cultivo del arroz los insectos juegan un papel importante en los problemas fitosanitarios, algunos por ocasionar daños directos y otros por ocasionar daños indirectos. Los sistemas de producción riego o secano también influyen en la población y permanencia de los mismos, por ejemplo en secano el chinche de la raíz *Blissus* sp es mucho más agresivo que en cultivo bajo riego, el caso de los gorgojitos de agua *Lissorhoptrus* sp es mucho más agresivo en riego que en secano. Las condiciones ambientales favorecen o desfavorecen la agresividad y la incidencia de estos organismos, por ejemplo las épocas secas pueden favorecer a los ácaros *Schizotetranychus oryzae* y su población se incrementa en forma significativa, el ácaro del vaneamiento del arroz *Stenotarsonemus spinki* incrementa su población con humedad relativa y temperatura altas.

Las prácticas culturales como niveles de fertilización, preparación del terreno, sistema de siembra y densidad de siembra. Las densidades de población altas pueden favorecer el ataque de algunos insectos como *Tibraca*, *Euchistus*, *Salbia* y las densidades bajas pueden favorecer la oviposición del minador del arroz *Hydrellia* sp. El control de malezas, cuando hay presencia de malezas gramíneas en los lotes antes de la floración se favorece el establecimiento y se incrementan las poblaciones de chinches de espigas *Oebalus* spp. Cuando se controlan enfermedades del tallo a tiempo se evita que algunos insectos puedan diseminar e incrementar la incidencia en los cultivos. Los controles químicos sobre un insecto A pueden causar el incremento de poblaciones y daño de un insecto B, alterando así su comportamiento y poblaciones normales en un ambiente determinado. El ejemplo clásico en arroz es la utilización de organofosforados para el control de *Spodoptera* spp el cual puede ocasionar resurgencia de poblaciones de sogata, *Tagosodes orizicolus* Muir, ocasionando riesgos de daño mecánico e incrementando la población de vectores del virus de la hoja blanca.

Los artrópodos fitófagos en el cultivo del arroz son un tema complejo, todas las condiciones mencionadas anteriormente están directamente relacionadas con los umbrales de acción, estos son una herramienta básica en el manejo integrado de plagas la cual es desconocida por algunos técnicos y se opta por aplicaciones tipo calendario o las llamadas aplicaciones preventivas o de seguridad o de por si de pronto hay problema si en realidad no ha sido detectado.

Los umbrales de acción requieren de un monitoreo constante y preciso para no derivar en posibles errores, la llamada tendencia a la reducción de costos en el cultivo del arroz está estrechamente relacionada con la aplicación de plaguicidas, prácticamente en Meta y Casanare el 70% de los agricultores realizan más de tres aplicaciones de insecticidas, al reducir este promedio se entra en la franja de reducción de costos pero ¿en realidad este número de aplicaciones es necesaria?. Existen agricultores en la misma zona con cero o una aplicación, estas labores deben ser determinadas por los umbrales de acción.

El manejo orgánico y ecológico del cultivo del arroz con la utilización de enemigos naturales, liberación de parasitoides, aplicación de hongos entomopatógenos y extractos repelentes de plantas, la utilización de corredores biológicos, plantas albergue, cultivos trampa, plantas barrera y plantas repelentes requieren de monitoreo constante y deben estar directamente relacionada con umbrales económicos de artrópodos para de esta manera ganar eficiencia en el manejo del cultivo.

Las plagas de arroz que atacan la raíz han sido desconocidas por estudios de hábitos, biología y umbrales económicos, entre estos insectos tenemos los gorgojitos de agua como *Lissorhoptrus*, según Pantoja (1997), en Colombia se han reportado tres especies *L. bosqui*, *L. oryzophilus* y *L. oryzophagus*. Según Bastidas (2002), en el cultivo de arroz en Castilla La Nueva se encuentra el gorgojito *Ochetina* sp. Pérez *et al.* (2001) sostienen que el umbral de acción es la presencia de plantas con enanismo, raspaduras causadas por adultos en un 20%, Meneses *et al.* (2001), afirma que el umbral de acción para este insecto es la presencia de cuatro adultos en 20 plantas, o si el 50% de las plantas tienen cicatrices en las hojas. Pantoja (1997), sostiene que el umbral de acción no ha sido determinado para América Latina, sostiene también que en Cuba se hace control cuando se presentan cuatro larvas por muestra. En los Llanos Orientales su presencia por lo general es en focos y empiezan a observar pérdidas económicas con el 15% de plantas con daño.

El chinche de la raíz, *Blissus* sp., oportunista de épocas seca y de los caballones en arroz riego es un insecto que ha tomado importancia en los últimos años en los Llanos Orientales Colombianos, Pérez *et al.* (2001) sostienen que su umbral de acción es 15% de plántulas afectadas y de 12 a 14 ninfas por planta. Andrew y Quezada (1989) sostienen que no existe método confiable de umbral de acción. En los Llanos Orientales con plantas de 10 días de emergidas el umbral de acción es del 5% de daño, con arroz de 15 días de emergido su umbral de acción es del 8% y en plantas superiores a 16 días su umbral de acción es del 10%, también se relacionó la población de adultos con promedios de captura de 8 en 10 pases dobles de jama es un nivel de control.

El cucarro *Eutheola bidentata* principal plaga de arroz en los Llanos Orientales por su alta incidencia y voracidad es un insecto en el cual se ha determinado su umbral de acción en 3 larvas / m<sup>2</sup> y 2 plantas trozadas / m<sup>2</sup> (Pantoja 1997). El umbral de daño para marranita insecto favorecido por suelos arenosos presenta umbral de daño similar al de cucarro. (Pérez *et al.* 2001). En los llanos Orientales para determinar el umbral es necesario dividir los lotes entre zonas altas y zonas bajas por lo general este insecto ataca las zonas altas, secas y arenosas en estas zonas el umbral es de 3 insectos / m<sup>2</sup> y en la zonas bajas de 5 insectos / m<sup>2</sup>.

Para el gusano ejército *Spodoptera*, como trozador se tolera el 5% de plantas trozadas y 15 % de daño en la hoja en arroz de secano, en riego se puede tolerar un poco mas de daño como trozador 85 y en hoja hasta el 20%, aunque el arroz pierde follaje lo recupera en términos de 15 días, en evaluaciones realizadas para materia seca. Algunos autores hablan de 30% de área foliar afectada (Pérez *et al.* 2001). Meneses *et al.* (2001) sostiene que los umbrales de este insecto fluctúan entre 1.03 y 13.84 larvas / m<sup>2</sup>.

Los chinches de tallo *Tibraca obscurata*, *Tibraca limbatriventris* y *Echistus* sp registrados por Guerrero y Luque (2003), se han incrementado en forma alarmante en zonas arroceras de Meta inclusive obligando a realizar aplicaciones de insecticidas. Las evaluaciones de umbrales realizadas en los Llanos Orientales son similares con la información de algunos autores los cuales aseguran que el umbral de acción es de 2 chinches/ m<sup>2</sup> y 5% de macollas afectadas por corazón muerto. Guerrero y Luque (2003) encontraron poblaciones en promedio superiores a los umbrales de acción en las zonas arroceras de Puerto López, Palmeras y Granada en el departamento del Meta.

El barrenador del arroz *Diatraea saccharalis*, ha incrementado en población en los últimos años y se está demostrando que el control químico no es la única solución al verdadero problema, las liberaciones de *Trichogramma* en los Llanos Orientales han sido una herramienta importante para disminuir la

incidencia de este insecto en los arrozales. Vélez (1997), sostiene que en arroz 4 corazones muertos / m<sup>2</sup> es el umbral de acción, Pérez *et al.* (2001) sostienen que 5% de corazón muerto. En nuestro trabajo en los Llanos Orientales se encontró que en la fase vegetativa el umbral de acción es del 6% y en estado reproductivo esté entre el 2 y 3 % dependiendo de la variedad de arroz.

En cuanto a sogata, su importancia radica en el potencial de su daño y la transmisión del virus de la hoja blanca, se ha discutido mucho sobre los umbrales de acción, dependen en si de la variedad de arroz que se siembre, en trabajos realizados en los Llanos oscila entre 100 y 200 insectos / 10 pases dobles de jama. Pantoja (1997), sostiene que el umbral de acción está entre 200 y 400 insectos por 100 pases de jama. Meneses *et al.* (2001), sostienen que 9 sogatas por pase de jama en etapa de germinación a hijamiento y 28 sogatas de hijamiento a cambio de primordio.

En los Llanos Orientales se identificaron los chinches de espiga *Oebalus ornatus* y *Oebalus ypsilon* (Castro y Gómez, 2002), el umbral de acción establecido fue de 5 chinches / m<sup>2</sup> para *O. ornatus* y 3 chinches / m<sup>2</sup> para *O. ypsilon* griseus en estado de grano lechoso, algunos autores sostienen que el nivel de daño es de 6 chinches / m<sup>2</sup> (Perez *et al.* 2001), para Meneses *et al.* (2001), el umbral de acción es de 2.2 chinches por pase de jama en floración, 0.67 chinches por jama en estado lechosos y para granos cerosos 4.34 chinches por pase de jama.

Los umbrales de acción deben ser tomados en cuenta por técnicos y agricultores como una herramienta básica en la toma de decisiones y deben ser concisos y lo más preciso posible, porque en algunos casos se habla de chinches pero entre especies puede haber diferenciación, implementar todos los elementos del manejo integrado de plagas es fundamental para poder ser competitivo y rentable en estos momentos en que el cultivo esta amenazado por precisiones comerciales y políticas que se salen de las manos y la preocupación radica en nuestra tradición arrocería y que el arroz es la base del sustento de muchas familias en este país.

## Literatura Citada

- CASTRO C; GÓMEZ, N. 2002. Reconocimiento e incidencia de chinches pentatomidos en estado de espigamiento en el cultivo del arroz en el municipio de Villavicencio. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias agropecuarias. Universidad de Los Llanos. Villavicencio
- GUERRERO, Y; LUQUE A. 2003. Reconocimiento e incidencia de chinches tallo en el cultivo de arroz en tres localidades del departamento del Meta. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias agropecuarias. Universidad de Los Llanos. Villavicencio..
- MENESES, R; GUTIERREZ, A; GARCIA,A; ANTIGUA, G; GOMEZ, J; CORREA, F; CALVER, L. 2001. Guía para el trabajo de campo en el Manejo Integrado de plagas en arroz. IIA, CIAT y FLAR. 72 p.
- PANTOJA, A. 1997. Artropodos Plaga relacionados con el arroz en america latina. En: MIP en arroz. Fundación Polar, Fedearroz, Flar y CIAT. Caracas 1997.
- PÉREZ, C; CUEVAS, A; REYES, L. 2001. Manejo integrado de insectos en el cultivo del arroz. FEDEARROZ. 51p.
- SHANNON, P. J. 1989. Arroz . En: Manejo Integrado de plagas insectiles en la agricultura. Estado Actual y futuro. Editores Andrews K y Quezada Escuela Agrícola Panamericana. El Zamorano Honduras.568-586 p.
- VELEZ, A. 1997. Plagas agrícolas de impacto económico en Colombia bionomia y Manejo Integrado. E. Universidad de Antioquia.482 p .

## Insumos biológicos para el manejo de insectos fitófagos en el cultivo de arroz

Cristo Rafael Pérez, Ing. Agr., M. Sc  
Investigación y Transferencia de Tecnología. Fedearroz, Fondo Nacional del Arroz, Cauca.  
Correo e: cristopcor@edatel.net.co.

### Introducción

El empleo intensivo de agroquímicos en el cultivo de arroz está ampliamente difundido en Colombia y Latinoamérica, y su uso ha ocasionado consecuencias negativas como la reducción progresiva de los enemigos naturales, resurgencia de sogata, la aparición de insectos secundarios como el Thrips, *Salbia*, *Diatraea* y el gorgojito *Oechetina sp* y los ácaros, sumados al incremento de los costos de producción en el agroecosistema arrocerero y los efectos originados en la salud humana y animal y el medio ambiente.

El deseo de evitar o minimizar los problemas secundarios causado por los insecticidas, en especial su interferencia con el control biológico, ha sido en gran parte el responsable del desarrollo y aplicación de programas de control de plagas, en los cuales se han combinado todas las técnicas adecuadas en un sistema coordinado, unificado y flexible, para manejar las poblaciones de insectos en forma tal que se evite el daño económico y se minimicen los efectos adversos sobre los organismos y el ambiente.

Estudios realizados en el cultivo de arroz en Colombia muestran 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 por que a pesar del gran número de insectos fitófagos asociados al cultivo de arroz, solo el 10% de ellos son de importancia económica.

En este documento se enfatiza sobre la importancia de los enemigos naturales y las recomendaciones para el empleo en la regulación de los insectos fitófagos asociados al cultivo de arroz en Colombia.

### Parasitoides

En el cultivo de arroz se presenta una diversidad de parasitoides asociados con insectos fitófagos. Esta asociación muchas veces puede cambiar debido a la intensidad del manejo agrícola, especialmente por el uso inadecuado de insecticidas.

En este grupo sobresalen los ordenes de insectos Hymenóptera y Diptera. Las avispidas como *Trichogramma spp*, *Telenomus remus* y la mosca *Metagonistilum minense*, son ejemplos de parasitoides en el cultivo de arroz.

En Colombia, la densidad de huevos de la novia del arroz *Rupela albinella* es alta, pero en el campo hasta el 96% de estos huevos pueden ser atacados por parasitoides, que realizan un importante papel en la regulación de este insecto. Gracias a este alto parasitismo, la novia del arroz es un insecto de menor importancia económica en el país (Pantoja, 1997).

## Depredadores

Se alimentan de huevos, larvas, ninfas y adultos de las presas. En el estado inmaduro y/o adulto busca activamente y captura varias presas, las cuales consume parcialmente o totalmente.

La importancia de los predadores en el cultivo de arroz ha sido fundamentada en la regulación de muchos insectos fitófagos. Las arañas son excelentes predadores. En el agroecosistema arrocero se reportan más de 20 especies, siendo *Tetragnata*, *Oxyopes* y *Alpaida* las más importantes. Una araña puede capturar y matar diariamente más de 4 sogatas y de 3 a 5 loritos verdes (Pérez, 2002).

La disminución de la población de los predadores y eventualmente la desaparición, han facilitado la reproducción y desarrollo de insectos que antes estaban controlados naturalmente. Las bajas poblaciones de *Coleomegilla maculata* y la *Crysopa* sp, registrados en los estudios de fluctuación poblacional, explican algunos de los brotes por los áfidos y ácaros especialmente.

## Entomopatógenos

Son microorganismos que causan enfermedad en los insectos, producen deterioro de la función fisiológica normal y muerte del hospedero. Estos agentes atacan al insecto una vez son ingeridos o atraviesan la cutícula. Se multiplican rápidamente matando al hospedero por la producción de toxinas o por deficiencia nutricional. Los cadáveres de los insectos liberan millones de conidias individuales que son dispersadas por el viento y la lluvia.

Los insectos afectados se observan débiles, con poco movimiento, pérdida del apetito, cambian de color y mueren lentamente. Los cadáveres de los insectos afectados liberan millones de conidias que son dispersadas por el viento y la lluvia para infectar otros insectos fitófagos.

Los entomopatógenos más importantes son los hongos, bacterias y virus. Los hongos más comunes son *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Nomuraea rileyi*, *Paecilomyces*, *Entomophthora* y *Verticillium*. Los entomopatógenos causan grandes epizootias cuando la densidad de la plaga es alta. Se han observado incidencia del hongo *Myiophagus verainicus*, sobre *Spodoptera frugiperda* en poblaciones altas, especialmente en la zona de Urabá y el Bajo Cauca antioqueño, ejerciendo efecto regulador sobre este insecto.

## Especies biológicas en el cultivo de arroz

El control biológico en el cultivo de arroz está representado por parasitoides, predadores y entomopatógenos. Pérez, (1997; 2001) en un listado preliminar, registra 79 enemigos naturales asociados a los insectos fitófagos del cultivo de arroz en Colombia. De ellos los parasitoides representan el 51, 9%, seguido de los depredadores y entomopatógenos con 18,9 y 10,1 % respectivamente. Los parasitoides prefieren los estados inmaduros, mientras que los depredadores se encuentran atacando diferentes estados de los insectos fitófagos.

De los insectos de mayor importancia económica, *Spodoptera frugiperda* es el que más enemigos naturales registra, 20 en total, representados en 7 parasitoides, 7 depredadores, 3 hongos, una bacteria, un virus y un nematodo. Entre los parasitoides de larva se mencionan a *Meteorus laphygmae*, *Euplectrus* sp y *Chelonus texanus*. La avispa *Telenomus remus* actúa como parasitoide de huevo.

En los depredadores sobresalen la avispa *Polybia eritrocephala*, *Polistes canadensis* y el coccinellido *Coleomegilla maculata*. Atacando larva se señalan los entomopatógenos *Nomuraea rileyi*, *Myiophagus verainicus*, *Bacillus thuringiensis* y el nematodo *Hexameris* sp. (Tabla 1).

**Tabla 1. Algunos enemigos naturales en insectos de importancia económica del cultivo de arroz en Colombia.**

Insecto	Parasitoides	Predadores	Entomopatógeno	Total
<i>Spodoptera</i> spp.	7	7	6	20
<i>Tagosodes orizicolus</i>	4	4	1	9
<i>Diatraea</i> sp.	7	0	1	8
<i>Hydrellia</i> spp.	4	0	0	4
<i>Tibraca limbativentris</i>	1	1	2	4

Se presentan 4 parasitoides asociados con *Tagosodes orizicolus*. *Anagrus* sp., se reporta como parasitoide de huevo y a nivel de ninfa y adulto actúan *Elenchus* sp., *Haplogonatopus hernandezae* y *Atrichopogon* sp. Las arañas *Metazygia cerca gregalis*, *Tetragnata*, *Oxiopes salticus* y *Mecynogea* son los predadores más importantes de este insecto.

Sobre *Diatraea* spp., se han colectado 7 parasitoides y un hongo patógeno. Sobresalen *Trichogramma* spp como parasitoide de huevo y los tachinidos *Metagonistilum minense*, *Paratheresia claripalpis* y *Jayneleskia Jaynesi* y *Apanteles* sp. atacando larvas. Se registra el hongo *Beauveria bassiana* actuando sobre larvas de este barrenador.

En *Tibraca limbativentris* se han inventariado 4 organismos benéficos. Se señala a la avispa negra *Telenomus* sp., como parasitoide de huevo, la mosca Asilidae del género *Efferia* spp., actuando como depredador y los hongos entomopatógenos *Paecilomyces* sp., *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* atacando adultos de este chinche.

En *Hydrellia* se anotan 4 parasitoides, de ellos se mencionan como los más promisorios a *Opius* sp. y *Trybliographa* sp. atacando larvas. Cuevas (2001), reporta sobre el enrollador *Salbia* sp. los parasitoides *Horismenus* sp. y *Stanonia* sp., actuando a nivel de larva.

Pérez y Vergara (1999), en un estudio sobre la biodiversidad de hongos entomopatógenos, registran la incidencia de ocho hongos asociados con seis especies de insectos fitófagos del cultivo de arroz en el Caribe Húmedo de Colombia. Se encontraron dos cepas de *B. bassiana*; una de *M. anisopliae* sobre *Euetheola bidentata*; *Paecilomyces farinosus* y *Nomuraea rileyi* en *S. frugiperda*, *Verticillium* sp.; *Hirsutella* sp. y *Entomophthora* sobre loritos verdes. Recientemente se ha registrado a *Myiophagus verainicus* sobre *S. frugiperda*.

### Insumos biológicos utilizados en el cultivo de arroz

A pesar de la gran diversidad de organismos benéficos reportados en el cultivo de arroz, los estudios para la cría, multiplicación y comercialización se ha concentrado en unos pocos, siendo *Trichogramma*

Tabla 2. Especies biológicas utilizadas en el cultivo de arroz en Colombia.

ESPECIES	INSECTOS QUE ATACAN	ESTADO ATACADO
<i>Trichogramma exigum</i>	<i>Diatraea</i> spp.	Huevo
<i>Trichogramma pretiosum</i>	<i>Salbia</i> sp.	Huevo
<i>Telenomus remus</i>	<i>Spodoptera frugiperda</i>	Huevo
<i>Metagonistilum minense</i>	<i>Diatraea</i> spp.	Larva
<i>Paratheresia claripalpis</i>	<i>Diatraea</i> spp.	Larva
<i>Metarhizium anisopliae</i>	Cucarro, Sogata, Chinchas	Adultos
<i>Beauveria bassiana</i>	Chinchas, gorgojito,	Adulto, larva
<i>Bacillus thuringiensis</i>	<i>Spodoptera frugiperda</i>	Larva
	<i>Mocis latipes</i> , <i>Salbia</i> sp.	Larva

spp., *Telenomus remus*, *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* y los tachinidos, los más utilizados como controladores biológicos. A continuación se realiza una descripción de los aspectos biológicos y las recomendaciones de manejo de cada insumo biológico.

### ***Trichogramma* spp.**

Esta microavispa parasitoide de huevos de Lepidópteros, es utilizada para el control de *Diatraea* spp. Existen diversos laboratorios para la cría, comercialización y liberación de este entomófago. El *Trichogramma*, se encuentra distribuido por todo el mundo parasitando posturas (huevos) de aproximadamente 250 especies de insectos dañinos, especialmente del orden Lepidoptera

**Biología:** Los adultos de *Trichogramma* son diminutos, miden sólo 0.3 mm. de largo. La duración promedio desde la oviposición hasta la emergencia del adulto es de 8 días. Las hembras del *Trichogramma* ponen en promedio 30 huevos, 50% de estos son colocados en las 24 horas posteriores a su emergencia y el resto en los cuatro días después de alcanzar el estado adulto.

**Sistemas de liberación:** Se han implementado varios sistemas para la liberación de las avispietas en el campo, entre ellos los más usados son los porrones plásticos y bolsas de papel. A continuación se realiza una descripción de ellos.

**En bolsitas de papel.** Se colocan 2 pulgadas cuadradas de cartulina con los huevos parasitados próximos a su emergencia. Se espera la emergencia y se libera al día siguiente. Para la liberación, se coloca la bolsa amarrada a una estaca de 30 cm de altura, con los extremos inferiores perforados. Luego se ubica la estaca cada 20 pasos dentro del cultivo, esta operación se repite procurando que las estacas queden a 20 metros en cuadro. El alambre de la bolsa se impregna de grasa para evitar el daño de las hormigas y otros predadores.

**Sistema de porrón plástico de boca ancha.** Es el más ventajoso, puesto que se liberan los adultos de *Trichogramma* en forma masiva y homogénea en el campo, con el objeto de que estén cerca de las posturas de los lepidópteros.



**Dosis y época de liberación:** Se recomiendan liberaciones de 100 pulgadas por hectárea, fraccionadas en dos o tres aplicaciones. La primera a los 25 DDE cuando se observen los primeros adultos y posturas del insecto, y el resto 15 días después. En zonas como los Llanos orientales y el Caribe seco, se ha disminuido la población e incidencia del daño de del barrenador *Diatraea* con las liberaciones de este parasitoide. Este insumo biológico juega un papel importante en las siembras de la variedad Fedearroz 2000, debido a la susceptibilidad de este material al pasador.

**Modo de acción.** Las avispidas buscan huevos frescos de insectos como *Diatraea* y *Salbia*. Luego los parasitan y posteriormente las larvitas se alimentan de los nutrientes del huevo. Los huevos de los insectos dañinos no se desarrollan, evitando la emergencia de las larvas del barrenador. De estos huevos emergen nuevas avispidas controladoras.

### ***Telenomus remus***

La avispidita negra que actúa como parasitoide de huevos, se utiliza para el control de *Spodoptera frugiperda*. Se recomiendan liberaciones inundativas de 6000 especímenes por hectárea, repartidos en dos aplicaciones. La primera debe realizarse 8 días antes de la siembra por los bordes del lote y el resto una semana después de la emergencia de las plantas de arroz.

**Sistema de liberación:** Se utilizan bolsas de papel o el sistema de cono o vaso invertido para la liberación. Se han realizado aplicaciones en los Llanos orientales, Caribe Seco, Cúcuta y el Caribe Húmedo.

### ***Chrysoperla externa* Crysopa o León de los áfidos**

**Biología.** Las crisopas tienen metamorfosis completa. En condiciones del trópico tardan 16 a 20 días para completar su ciclo de huevo a adulto, la proporción sexual es 1:1 entre macho y hembra. La hembra coloca 600 huevos durante su vida adulta que es de 30 - 40 días.

**Ecología.** Las crisopas son depredadores con un alto grado de adaptabilidad, pues se encuentran en climas fríos, templados y tropicales. Su mayor actividad la realizan en la noche, son tolerantes a los carbamatos y a los insecticidas órgano-fosforados, sin embargo no deben liberarse inmediatamente después de cualquier tratamiento con insecticidas tóxicos (Jiménez, 2001).

**Empleo.** *Chrysoperla externa* es una especie apropiada para ser usada como agente de **Control Biológico** en programas de manejo de plagas en regiones tropicales y templadas de Centro y Sur América (Albuquerque et al 1.994, citado por Jiménez, 2001).

En general las crisopas en su estado larvario se alimentan de diferentes clases de insectos fitófagos como: áfidos, arañas rojas, ninfas de mosca blanca, trips, escamas blandas, cochinillas harinosas, ninfas de saltahojas (sogata y loritos verdes), huevos y larvas pequeñas de lepidópteros y muchos otros insectos de cuerpo blando.

**Sistema de liberación.** Por su hábito canibalístico, las crisopas deben liberarse cuando aún están en su primera fase larvaria, es decir hasta 24 horas después de su emergencia. Para la liberación es necesario utilizar un material que sirva de dispersante, por ejemplo cascarilla de arroz, de café o bagazo de caña.

**Dosis y época de aplicación:** Las dosis a liberar dependen del tipo de cultivo, clase e intensidad de la plaga a controlar. La distribución de las larvas de crisopas, se realiza cuando se observen las primeras posturas y colonias de áfidos o ácaros o con niveles de infestación bajos a moderados.

En el cultivo de arroz se recomiendan liberaciones inundativas de 10.000 larvas/hectárea. Se colocan 100 huevos de crisopa y de *Sitotroga* en bolsas de papel de un cuarto de libra, mezclados con cascarilla de arroz. En este estado se transportan hasta la finca y una vez emergidas las larvas se procede a la liberación. Para ello se distribuyen las bolsas en los caballones o a la altura de la segunda hoja, luego se rompe el empaque en su parte superior, permitiendo la salida de las larvitas, las cuales tienen un desplazamiento ascendente.

**Modo de acción:** La crisopa es un insecto que muestra alta voracidad en el estado de larva. Se alimenta de huevos y larvas pequeñas de lepidópteros como el *Spodoptera*. Una larva puede consumir hasta 60 áfidos en una hora.

Es un Insecto que muestra alta voracidad tanto en larva como en el estado adulto, se le ha registrado predando insectos como *Spodoptera* sp. y áfidos en cultivos de maíz, del pulgón de la caña de azúcar *Sipha flava* según Raigoza (1.993). Se han reportado diferentes especies de la familia Chrysopidae en la zona cañera del Valle del Cauca. (Vargas, 1.989).

La liberación de crisopa es un complemento ideal en programas de manejo de plagas donde se utilice la avispa *Trichogramma*, hongos entomopatógenos y extractos vegetales.

### ***Metarhizium anisopliae***

Este hongo se emplea en el cultivo de arroz contra el cucarro *Euethola*, sogata y los chinches *Tibraca* y *Euschistus*. Se utilizan cepas aisladas de diferentes hospederos, pero estas deben ser escaladas o reactivadas en las especies que se desea controlar. Se multiplica y comercializan en diferentes laboratorios.

**Dosis y épocas de aplicación:** Se recomiendan dosis de 100 a 200 gramos por hectárea, dependiendo del insecto a controlar. Para el caso del cucarro y el gorgojito de agua, se recomienda aplicarlo e incorporarlo 15 días antes de la siembra. Para sogata y los chinches, las aplicaciones se realizan con poblaciones bajas.

**Modo de acción.** Este hongo actúa por contacto. Los insectos afectados se observan con pocos movimientos, mueren lentamente y quedan momificados. En este proceso se tornan de color blanco y posteriormente se cubren de un micelio verde. El proceso de infección dura de 4-8 días dependiendo de las condiciones ambientales y la patogenicidad del inóculo. En la zona de los Llanos orientales y el Caribe Húmedo existen condiciones ambientales favorables como la humedad relativa alta, que ayuda a la acción y producción de epizootias con este hongo. Se han realizado aplicaciones en los Llanos orientales, Caribe Seco, Caribe Húmedo y Cúcuta.

### ***Beauveria bassiana***

Este hongo se utiliza en el cultivo de arroz para el control de las chinches, gorgojito de agua y larvas de *Spodoptera*.

**Tabla 3. Recomendaciones para el uso de insumos biológicos en el cultivo de arroz.**

Insumo biológico	Insecto	Dosis/ha	Epoca de aplicación
<i>Trichogramma exigum</i>	Diatraea	100 pulgadas	50pulg. 20-25 DDE y 50 pulg a los 40DDE
<i>Trichogramma pretiosum</i>	Salbia	100 pulgadas	Máx. macollamiento
<i>Telenomus remus</i>	Spodoptera	6000 avispas	3000 avispas, 8 días antes de la siembra y 3000 ,8 DDE.
<i>Metagonistilum minense</i>	Diatraea	30 moscas	45 DDE
<i>Paratheresia claripalpis</i>	Diatraea	30 moscas	45 DDE
<i>Apanteles</i>	Diatraea	1 gramo	45 DDE, repetir a los 8 días
<i>Chrysoperla</i>	Afidos, ácaros, Thrips	10.000 larvas	Cuando se observen los primeros focos y colonias.
<i>Metarhizium</i>	Cucarro, sogata	200 gramos	Al momento de la siembra y 15 DDE
<i>Beauveria</i>	Chinches	200 gramos	2 chinches/m <sup>2</sup>
<i>Bacillus thuringiensis</i>	Spodoptera, Mocis, Salbia	300 gramos	30 % de área foliar afectada. 12-15% de hojas raspadas

**Dosis:** Se recomiendan dosis de 100-200 g/Há. Cuando se utiliza para el gorgojito se debe aplicar e incorporar el hongo al suelo antes de la siembra. Para el caso de los chinches se debe aplicar con poblaciones bajas y 2% de corazón muerto.

**Modo de acción:** Los insectos afectados quedan momificados y se cubren de un micelio algodonoso de color blanco y consistencia polvosa. En la zona del Caribe Húmedo y los Llanos Orientales se han efectuado aplicaciones para el manejo de las chinches *Euschistus sp* y *Tibraca limbativentris*.

Pérez y Vergara (1988), estudiando la patogenicidad de los aislamientos Bb99 y Bb3 del hongo *B. bassiana* (Bals.) Vuilleman, sobre larvas de *S. frugiperda* (J.E. Smith) encontraron que ambos aislamientos presentaron patogenicidad sobre larvas de tercer instar. La cepa Bb99 fue más virulenta y produjo una mortalidad acumulada superior a Bb3 aún en concentraciones bajas. Con las dosis de  $5.4 \times 10^8$  conidias/ml se logró una mortalidad acumulada del 83.3%.

### Reflexiones finales

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 biológico juega un papel fundamental, como una estrategia básica para impulsar programas de manejo ecológico en diferentes cultivos.

En Latinoamérica se han logrado numerosos casos exitosos de control biológico, como en Colombia, Brasil y Cuba. Sin embargo es una región caracterizada por un desarrollo menor de esta técnica, en parte debido a que con excepción de Chile, los gobiernos no han establecido programas regulares para aplicarla. Una de las carencias más importantes es el financiamiento para apoyar la exploración de agentes de control biológico. Se requieren proyectos pilotos de control biológico, integrados a otras estrategias de control de insectos.

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 la Fedearroz 2000 hacia el insecto *Tagosodes orizicolus* y la implementación de prácticas culturales, han disminuido las poblaciones de insectos dañinos, favoreciendo la acción de los enemigos naturales.

En el cultivo de arroz en Colombia, se pueden utilizar diversas estrategias de control biológico como liberaciones inundativas de *Telenomus remus* y *Trichogramma sp* para el control de *Spodoptera frugiperda* y *Diatraea sp*. El control microbiológico de los hongos *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* para insectos como los chinches, gorgojito de agua, *Spodoptera*, sogata y *Euethola bidentata*. El *Bacillus thuringiensis* se utiliza comercialmente para el control de larvas de lepidópteros como *Spodoptera*, *Mocis* y *Salbia sp*. La biotecnología ha permitido incorporar esta bacteria en variedades de arroz, permitiendo el desarrollo de nuevas variedades resistentes a lepidópteros.

Estos insumos biológicos se deben adquirir en laboratorios idóneos, que garanticen la eficiencia de los parasitoides y predadores y la patogenicidad en campo de los hongos entomopatógenos recomendados para los insectos dañinos del cultivo de arroz.

El control biológico de insectos es una aplicación del conocimiento ecológico que ha permitido controlar a diversas plagas agrícolas y ofrece la posibilidad de controlar a otras en el futuro. En el cultivo de arroz los enemigos naturales deben desempeñar un papel importante en el control de los insectos fitófagos, mejorar los niveles de productividad y garantizar la estabilidad ecológica y económica del agroecosistema arrocero.

## Literatura Citada

- BARRERA, J. F. 1998. Introducción, filosofía y alcance del control biológico. En: Rodríguez, Luis y Leyva, Jorge (eds). Memoria. IX Curso Nacional de Control Biológico. Noviembre. México. pp 1-9.
- CUEVAS, A. 2001. El enrollador de la hoja del arroz *Salbia sp* (Lepidóptera:Crambidae). En: ARROZ. Vol. 49. No. 425. pp. 4-8.
- De BACH, P; ROSEN, D. 1991. The natural enemies. En: Biological control by natural enemies. Cambridge University Press. New York. Pp. 35-87.
- De BACH, P; ROSEN, D. 1991. Biological Control Ecology. En: Biological control by natural enemies. Cambridge University Press. New York. pp. 88-115.
- DOVE, R. D. 1995. Manual para la enseñanza del Control Biológico en América Latina. 1a. ed. Zamorano. Escuela Agrícola Panamericana. 187 p.

- ECHEVERRI, C., RODRIGUEZ, L., PEREZ C.; LOBATON, V. 2000. Dinámica poblacional y enemigos naturales de *Tagosodes orizicolus* en arroz secano. En: Revista Arroz. Santafé de Bogotá. Vol. 49. No. 428. pp. 36-43.
- MADRIGAL, A. 2001. Notas sobre Control Biológico de Plagas. 2ª. edición. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín. Facultad de ciencias. 228 p.
- PANTOJA, A. 1997. Manejo integrado de artrópodos plaga. En: MIP EN ARROZ. Artrópodos, Enfermedades y Malezas. FUNDACION POLAR -FEDEARROZ-FLAR-CIAT. pp. 11-29.
- PARADA, O.; SANCHEZ, G.; WEBER, G. 1988. MIP. Manejo Integrado de Plagas en el cultivo de arroz. En: El arroz colombiano. ASIAVA. Palmira-Valle. p. 83-86.
- PEREZ, Cristo *et al.* 2001. Manejo integrado de insectos en arroz. Fedearroz- Fondo Nacional del Arroz.
- PEREZ, C. *et al.* 2001. Control biológico como alternativa para el manejo integrado de insectos fitófagos. En: ARROZ. Vol. 50 No. 435. pp 35-37.
- TRUJILLO, J. 1998. Metodologías para desarrollo de programas de control biológico. En: Rodríguez, Luis y Leyva, Jorge (eds). Memoria. IX Curso Nacional de Control Biológico. Noviembre. México. pp. 67-75.
- VAN DRIESCHE, R.; BELLOWS, T. Jr. 1996. Pest, origins, pesticide and the history of biological control. En: Biological Control. Chapman & Hall. New York. pp. 3-19.
- VAN DRIESCHE, R.; BELLOWS, T. Jr. 1996. Kind of biological control, Targets, Agents and Methods. En: Biological Control. Chapman & Hall. New York. pp. 21-33.
- VERGARA, R. 1998. Aplicación del control biológico en el manejo integrado de plagas. En: Lizarraga, T.A. y Barreto, U y Hollands, J. (eds). Nuevos aportes del control biológico en la agricultura sostenible (Resultados del II Seminario Taller Internacional). RAAA. Lima, Perú. pp 21-43.
- VERGARA, R. 2001. El manejo Integrado de plagas. En: Fundamentos sobre Entomología Económica en Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín. pp. 174-204.
- VERGARA, R. 2001. Entomopatógenos: aspectos básicos e investigación en Colombia. En: Fundamentos sobre Entomología Económica en Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín. pp. 258-316.



**SIMPOSIO**  
**Problemática y manejo de plagas en algodón**  
**Coordinadora: Luz Angela Mendoza**

**Interacción insecto - planta: Caso del algodonoero**

Eduardo Barragán Quijano  
Ing. Agr., M. Sc Fisiología de cultivos

En los hábitats naturales, en si en todos los ecosistemas, las plantas están rodeadas por una gran cantidad de enemigos potenciales, tales como bacterias, virus, hongos, nematodos, ácaros, insectos, mamíferos y demás herbívoros. Por su naturaleza las plantas no pueden evitar patógenos o herbívoros desplazándose, por lo tanto deben protegerse de otras maneras.

En contraste con los ecosistemas naturales, la mayoría de los sistemas de producción agrícola de cultivos son ecológicamente inestables, no sostenibles, y dependientes de la energía. El ser humano, por medio de la domesticación de las plantas y las prácticas de cultivo ha interferido de muchas maneras con la diversidad de las especies y los mecanismos naturales de defensa de las plantas. Los cultivos domesticados se originaron de tipos de plantas genéticamente diversos. Sin embargo, las plantas de cultivo ahora son producidas en grandes poblaciones, genéticamente homogéneas, una práctica que reduce la diversidad genética y de especies y aumenta las probabilidades de infestaciones de insectos plagas económicamente significativas. Los mecanismos de defensa de las plantas son recreados en las plantas resistentes. Los mecanismos de defensa de las plantas incluyen escape en el tiempo y el espacio, asociaciones biológicamente incompatibles, barreras derivadas física y químicamente, y acomodación por reemplazo o reparación de las partes dañadas de las plantas. Al crear de nuevo las defensas de las plantas, la resistencia genética a los insectos plagas juega un papel vital en el intento de mejorar la estabilidad en los cultivos agrícolas, de una manera ecológicamente compatible.

La respuesta de la planta del algodonoero a su ambiente (biótico y abiótico) le permite una mejor distribución de los recursos para cumplir su ciclo y para defenderse frente a su interacción con organismos microbianos, herbívoros y otras especies de plantas el cual su efecto puede ser positivo, negativo o neutro.

En la célula vegetal se realizan procesos metabólicos comunes que conducen a la formación de compuestos esenciales para la vida celular y, por ende, para toda la planta. Estos procesos provienen del metabolismo primario y secundario. El metabolismo secundario desarrolla en la planta mediante rutas específicas, la formación de una gran cantidad compuestos orgánicos de diverso origen; al parecer estos no cumplen una función directa sobre el desarrollo de la misma. Estas sustancias se conocen como *metabolitos secundarios*, *productos secundarios* o *productos naturales*, a los cuales no se les reconoce un rol directo sobre procesos vitales en la planta como fotosíntesis, respiración, transporte de solutos, translocación de asimilados, síntesis de proteínas ó diferenciación celular.

La biosíntesis de los metabolitos secundarios está restringida a fases específicas del desarrollo de la planta y de las células especializadas a períodos de estrés, generados entre otros por deficiencias nutricionales, factores ambientales o *ataque de microorganismos*. Este fenómeno es dependiente

de la formación de enzimas, lo que significa que la expresión del metabolismo secundario se basa en un proceso de diferenciación. Las proteínas formadas como resultado de los procesos de diferenciación se pueden clasificar como proteínas del metabolismo primario o como proteínas de especialización. Según lo anterior, el metabolismo secundario se define como la biosíntesis, transformación y degradación de compuestos endógenos mediante proteínas de especialización.

Los metabolitos secundarios se dividen en tres grupos químicamente diferentes: terpenos, fenoles y compuestos nitrogenados. En la Figura 1 se muestra de forma simplificada la biosíntesis de metabolitos secundario

La propuesta de interacción como función defensiva con base en compuestos fitoquímicos entre la planta y microorganismos, se hizo realidad en 1941, cuando Müller y Börger bautizaron con el nombre de fitoalexinas, a los compuestos químicos del metabolismo secundario sintetizados por la planta en respuesta a una invasión microbiana. Siendo la pisatina el primer compuesto aislado reconocido por Cruickshank y Perrin en 1960 y caracterizado como un isoflavonoide pterocarpano.

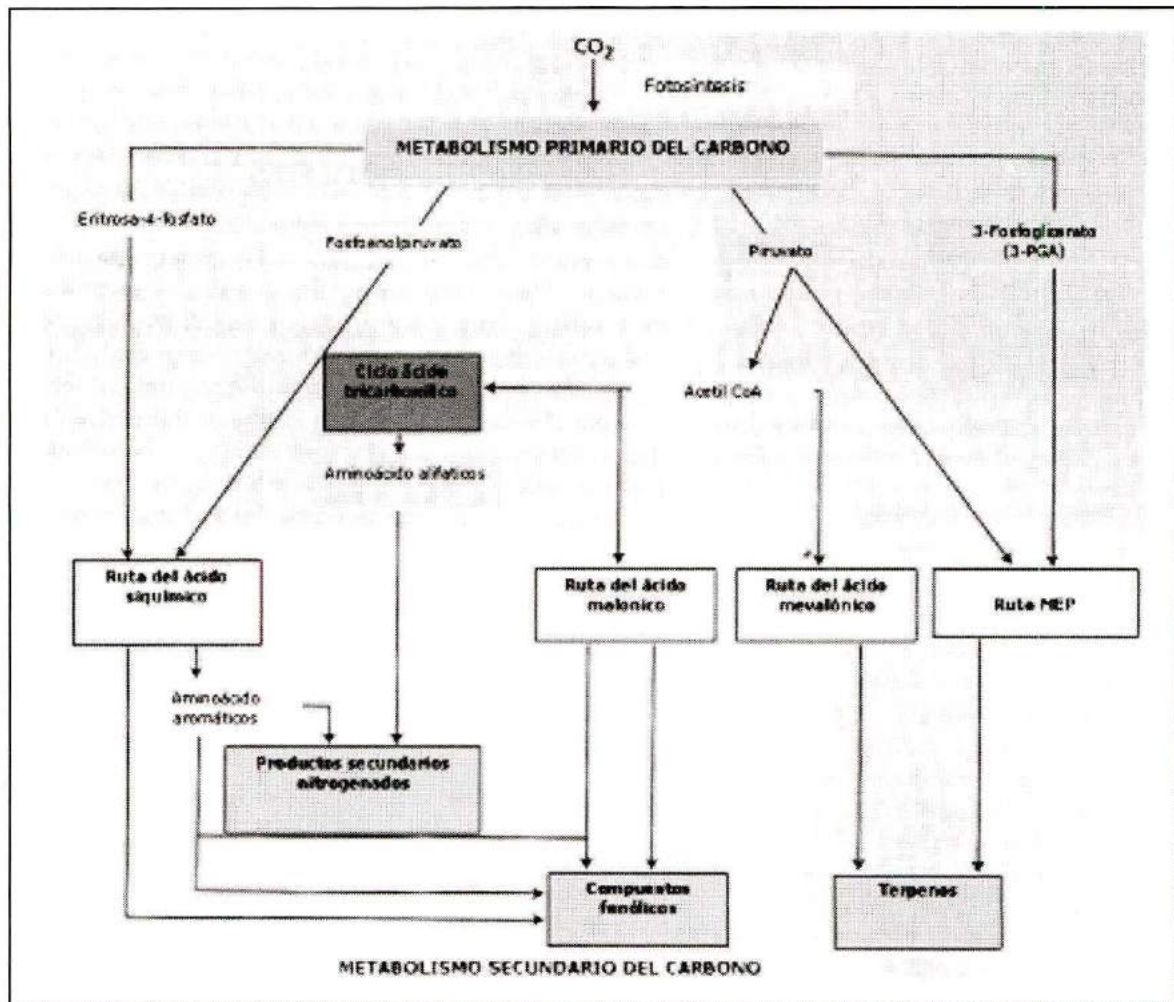


Figura 1. Biosíntesis de metabolitos secundarios (Taiz y Zeiger, 2002).

Los compuestos antipatogenos se encuentran principalmente en el exterior de los tejidos y órganos o en el interior de las vacuolas. Según la familia de planta cada una de ellas puede producir un tipo de fitoalexina, para el caso de las fabaceas (leguminosas) son isoflavonoides y para las solanáceas (papa, tomate) son sesquiterpenoides.

Otro mecanismo de defensa de la planta es la apoptosis o muerte celular programada en la zona que se ha detectado la penetración de un microorganismo patogénico es el de aislar al invasor.

La planta puede producir inductores (sistema de percepción de microorganismos invasores que activan los genes implicados en la respuesta defensiva) llamados hoy PAMP "patrones moleculares asociados a patógenos" los cuales se unen a receptores de reconocimiento de patrones (PRR) que operan en la transducción de genes de células vegetales comprometidos en las tareas de defensa. La respuesta de defensa se manifiesta en dos niveles, un nivel local, que implica la síntesis de fitoalexinas y luego sistémico es decir se manifiesta a distancia y las respuestas secundarias es preparar tejidos y órganos para defenderse de un proceso infectivo. Las vías de señalización de acción están identificadas por la producción de elementos volátiles que en su orden cronológico, son etileno, ácido salicílico y su ester metílico y el ácido jasmonico y su ester metílico.

En la interacción entre planta e insecto, y para el caso de la presencia de herbívoros la planta los detecta por las secreciones orales del artrópodo. También otros compuestos tienden a ser específicos por especie, encontrándose entre otros los que atraen depredadores o parásitos que destruyen los herbívoros agresores. Los flavonoides modulan la ingestión y el desarrollo de la oviposición de los insectos.

La planta puede diferenciar el daño mecánico (herida) y la mordida (insecto), encontrándose para el primer caso elevados niveles de salicato que inhiben la síntesis de ácido jasmonico y la capacidad de la planta para responder a la señal de herida y para el segundo es la sistemina el mensajero químico implicado en la transducción de esta señal igual que el ácido jasmonico esta presente en la acumulación de transcritos.

Los inhibidores de proteasas contribuyen a la defensa de las plantas contra insectos al bloquear la síntesis de proteasas intestinales, frenando su crecimiento y provocando la muerte por ayuno. Pero, igualmente los insectos eluden la defensa de la planta, incrementando su actividad proteolítica, induciendo enzimas proteolíticas insensibles a los inhibidores de proteasas.

Los herbívoros como resultado de la coevolución se han adaptado a la defensa de las plantas, así como: coleópteros (*Anthonomus grandis*) y lepidópteros sintetizan proteasas insensibles a los inhibidores. Otros detoxifican metabolitos secundarios mediante la monooxigenasa citocromo P450 y glutation S-transferasas. Otros insectos secuestran las defensas químicas y las aplican contra su depredadores (Mariposa monarca).

Las definiciones de planta resistente a insectos son muchas y variadas. En el sentido más amplio, resistencia de la planta se define como "la consecuencia de las cualidades heredables de la planta que resultan en que una planta sea relativamente menos dañada que una planta sin esas cualidades." En términos agrícolas prácticos, un cultivar de un cultivo resistente a un insecto es uno que rinde más que un cultivar susceptible cuando se enfrenta a la invasión de un insecto plaga. La resistencia de las plantas es relativa y se basa en la comparación con plantas que carecen de los caracteres de resistencia, es decir, las plantas susceptibles.



## Efecto de la Relación Insecto Plaga - Planta Hospedera

Las variedades de cultivos resistentes a insectos reducen la abundancia de insectos plagas o esas plantas aumentan el nivel de tolerancia al daño por las plagas. En otras palabras, las plantas resistentes a insectos alteran la relación que un insecto plaga tiene con su planta hospedera. La forma cómo la relación entre el insecto y la planta es afectada depende de la clase de resistencia, por ejemplo, antibiosis, antixenosis (no preferencia), o tolerancia.

**Antibiosis** es una resistencia que afecta la biología del insecto de modo que la abundancia de la plaga y el daño subsecuente se reducen en comparación con el que sufriría si el insecto estuviera en una variedad de cultivo susceptible. La resistencia por antibiosis a menudo resulta en aumento de la mortalidad o reducción en la longevidad y reproducción del insecto.

**Antixenosis** es una resistencia que afecta el comportamiento de un insecto plaga y usualmente se expresa como no preferencia del insecto por una planta no resistente en comparación una planta susceptible.

**Tolerancia** es una resistencia en la cual una planta es capaz de resistir o se puede recuperar del daño causado por una abundancia del insecto plaga igual a la que dañaría una planta sin los caracteres de resistencia (susceptible). La tolerancia es la respuesta de una planta a un insecto plaga. Entonces, la resistencia por tolerancia difiere de la resistencia por antibiosis y antixenosis en cómo afecta la relación entre el insecto y la planta. La resistencia por antibiosis y antixenosis causan una respuesta del insecto cuando el insecto trata de usar la planta resistente para alimento, oviposición, o refugio.

El uso de variedades de cultivos resistentes a insectos es económico, ecológica y ambientalmente ventajoso. Hay beneficios económicos porque los rendimientos de los cultivos escapan de las pérdidas causadas por los insectos plagas y se economiza dinero al no aplicar insecticidas que hubieran sido aplicados a variedades susceptibles. El concepto de MIP enfatiza la necesidad de usar tácticas múltiples para mantener la abundancia de los insectos plagas y su daño por debajo de los niveles de significancia económica. Entonces, una ventaja importante de usar las variedades de cultivos resistentes como componente del MIP surge de la compatibilidad ecológica y compatibilidad con otras tácticas directas de control. Los cultivares resistentes tienen sinergismo con los efectos de control de las prácticas de supresión de insectos natural, biológica y cultural. La protección "propia" de las plantas resistentes a insectos plagas funciona al nivel más básico, alterando la asociación normal del insecto plaga con su planta hospedera. El papel compatible y complementario que la resistencia de las plantas a insectos plagas juega con otras tácticas de control directo está, en la teoría y en la práctica, en concierto con los objetivos del MIP. Todos los cultivares de cultivos deberían contener resistencia a los insectos plagas.

El papel de la resistencia de plantas a insectos en MIP ha sido bien definido, al menos en teoría. Sin embargo, el papel específico que juega un cultivar resistente en una situación específica de MIP es crucial para el despliegue exitoso del cultivar resistente. El impacto del cultivar resistente en los métodos de control cultural estándar, biológico y con insecticidas debería estar bien definido. Del mismo modo, el impacto de cada una de estas tácticas de control sobre el cultivar resistente también debe estar definido.

Se han usado varias definiciones para dar a entender el nivel relativo de resistencia en una planta. Sin embargo, la posibilidad de cuantificar la resistencia continúa siendo un problema que influye en la aceptación por parte del agricultor de los cultivares resistentes a los insectos. Una mejor manera de definir los niveles de resistencia en cultivares resistentes mejorados agrónomicamente es mediante comparaciones cuantificadas del daño causado por el insecto plaga o la pérdida de rendimiento de la planta en cultivares susceptibles. Una vez que se han establecido las relaciones entre la abundancia del insecto plaga y el daño en rendimiento, se pueden determinar los umbrales de daño económico y se pueden combinar con factores tales como valor del cultivo y el control del insecto plaga, para desarrollar los umbrales dinámicos para uso por los productores. Los umbrales dinámicos brindan una descripción de la resistencia y pueden reducir el riesgo de pérdida en el cultivo porque se conocen las limitaciones y se puede tomar acción remedial cuando sea necesario. Al usar este sistema para definir las diferencias relativas entre cultivares para resistencia a insectos plagas, puede ser posible simplemente indicar que un cultivar resistente tiene un umbral económico más alto que un cultivar tradicional susceptible.

Como propuesta de perspectiva se debe trabajar en forma multidisciplinaria sobre la fisiología, genómica del insecto y sobre su genética poblacional.

## Literatura Citada

- ALMEIDA G., DELGADO M., ALTUNA B., ENG F., LEGRÁ S., ARMENTEROS S., 1999. Algunas consideraciones acerca de la utilización de fuentes carbonadas en la producción de ácido jasmónico. *Rev. Iberoam. Micol* 1999; 16: 146-148
- AZCÓN-BIETO J., TALÓN M. 2001. *Fundamentos de fisiología vegetal*. Edicions Universitat de Barcelona, McGraw-Hill Interamericana. España. 522 p.
- DEVOTO A., TURNER J. 2003. Regulation of jasmonate, mediated response in *Arabidopsis*. In *Annals of Botany*. 2003; 329-337.
- FARMER E., ALMÉRAS E., KRISHNAMURTY V. 2003. Jasmonates and related oxylipins in plant response to pathogenesis and herbivory. *Plant Biology* 2003; 6: 372-378.
- JOLIVET, P. 1998. Interrelationship between insects and plants. CRC Press. London. Chapter one and two 1-25 p
- SAADRAS, V, O. 1996. Cotton responses to simulated insect damage: radiation-use efficiency, canopy architecture and leaf nitrogen content as affected by loss of reproductive organs. *Field Crops Research*, Vol 48 2-3.
- SALISBURY B., ROSS C. 2000. *Fisiología de las plantas 2. Bioquímica vegetal*. Paraninfo S.A. España. 311-523 p
- SCHWEIZER P., BUCHALA A., SILVERMAN P., SESKAR M., RASKIN L., MÉTRAUX J-P. 1997. Jasmonate-inducible genes are activated in rice by pathogen attack without a concomitant increase in endogenous jasmonic acid levels. In *Plant Physiology* 1997; 114: 79-88
- SEO H., SONG J., CHEONG J., LEE Y-H., LEE Y-W., HWANG I., LEE J. 2001. Jasmonic acid carboxyl methyltransferase: A key enzyme for jasmonate-regulated plant responses. In *PNAS* 2001; vol. 98, no. 8: 4788-4793.
- TAIZ L., ZEIGER E. 2002. *Plant physiology*. Sinauer Associates, Inc. U.S.A. 690 p.
- TEETES, G- L. *Resistencia de las plantas a los insectos. Un componente fundamental de MIP*. Universidad de Texas A & M. College Station.
- VIJAYAN P., SHOCKEY J., LE'VEQUE C., COOK R., BROWSE J. 1998. A role for jasmonate in pathogen defense of *Arabidopsis*. *Plant Biology* 95: 7209-7214.

## Avances en la investigación para el manejo integrado de lepidópteros con énfasis en rosado colombiano, *Sacadodes pyralis* Dyar, en el algodónero del Valle Cálido del Alto Magdalena

Luz Ángela Mendoza Orjuela<sup>1</sup>, Eduardo Barragán Quijano<sup>2</sup> Guillermo Sánchez<sup>3</sup>

<sup>1</sup>. Ing. Agr., M. Sc. Investigador Entomología. Corpoica C.I. Nataima Espinal-Tolima

<sup>2</sup>. Ing. Agr., M. Sc. Investigador Corpoica, Fisiología U. Nacional

<sup>3</sup>. Ing. Agr., Ph. D. Entomología, Asesor Particular, Catedrático U. del Tolima.

### Introducción

La siembra del algodónero, en la región del Valle alto del Magdalena en los últimos años, se ha ido incrementando al pasar de 5.500 hectáreas en 1999 a 25.000 en el 2004, pero se redujo en un 30% para el 2005, debido a los precios internacionales. Sin embargo estos valores nos indican una leve recuperación en la confianza de los productores, textileros y confeccionistas en la producción regional de la fibra de algodón.

El principal de problema de plagas del cultivo del algodónero, en estos años, ha sido el gusano rosado colombiano, *Sacadodes pyralis*. Esta plaga, en 1975 dañó más del 75% de la cosecha de las zonas de Valledupar y Codazzi y en la cosecha del semestre A del 2000 en la zona del Espinal ocasionó pérdidas superiores al 40% a pesar de las aplicaciones de plaguicidas, que según el Consejo Asesor de Manejo Integrado de Plagas, fluctuaron entre 5 y 6 por cosecha. En la temporada 2001-2002, por su ineficiente manejo, ocasionó pérdidas en algodón semilla de 1000 kg/ha, con costos de control de 250 kg de algodón semilla ocasionando rangos entre 1 a 12 aplicaciones de insecticidas, en promedio 5 y de categoría I. (Mendoza *et. al.* 2002).

El ineficiente manejo de esta plaga se dio por factores como: el desconocimiento u olvido de la biología y comportamiento del insecto, que generó el mal uso de insecticidas químicos, la mala destrucción de socas, épocas de siembra demasiado largas (alrededor de 90 días donde los algodones tardíos tuvieron las mayores pérdidas) que ocasiono periodos de veda muy cortos de menos de 150 días entre otros. La Introducción de las nuevas variedades de crecimiento semideterminado hizo que en el proceso de investigación de Corpoica (financiado por Conalgodon, FFA y el Minagricultura) se retomaran los conceptos de biología del insecto y se estudiara el comportamiento frente a estas variedades para determinar aspectos como niveles de daño y otros que generaran alternativas de manejo integrado más rentables, conservacionistas y con enfoque de manejo integrado del cultivo.

### Niveles de daño

Como información básica se determino el nivel de daño para estas variedades de bioarquitectura más compacta, con el fin de que la recomendación de control coincidiera con el estado de desarrollo del cultivo y el nivel de daño a un menor costo real y de oportunidad, además de darle mayor grado de confianza al productor y asistente técnico. El estudio se hizo con la variedad Gaitana M-109 infestando diferente número de larvas por planta (2, 4, 6, y 8) en tres épocas de desarrollo de la planta 40, 65 y 90 días después de emergencia (dde). Se encontraron diferencias significativas en los rendimientos entre las tres épocas de infestación, con el siguiente comportamiento por época:

En la infestación a los **40 dde**, se redujo notoriamente el número de estructuras con más de 2 larvas/planta, sin embargo la planta se recuperó produciendo más estructuras especialmente en

las infestaciones de 6 y 8 larvas/planta, esto se reflejó en la producción donde no se presentaron diferencias en los tratamientos. Se presenta una relación infestación-rendimiento de tipo sigmoide, no hay reducción en rendimientos por que hay compensación del cultivo. (Cardona 1999). Según Federación Nacional de Algodoneros (1990), las infestaciones tempranas (40-45) días no requieren control, el algodón tiene una gran capacidad de recuperación, sin embargo con estas variedades que son compactas se requiere proteger las estructuras de primera, segunda y tercera posición de los estratos 1 y 2 que constituyen el 80% del peso de la planta y es el sitio preferencial de oviposición del insecto. Por lo tanto se debe trabajar con niveles de 2 huevos/planta y hasta 1 larva/planta puesto que la larva se expone al pasar de un botón a otro hasta consumir 5 botones para completar su ciclo larval, por lo tanto los controles con insecticidas son más eficientes en esta etapa. La frecuencia de monitorio debe ser semanal.

En la infestación a los **65 días** las pérdidas ocasionadas por 2 larvas/planta comparadas con el testigo no fueron significativas, son similares debido al derrame natural de la planta. Sin embargo la diferencia fue de una cápsula representando pérdidas de 250 kilos por hectárea con un costo de \$350.000). Más de 2 larvas/planta ocasionaron pérdidas de 12 gramos por planta equivalentes a más de 900 kg/ha con un costo de más de \$1.000.000 sin oportunidad de recuperación de la planta. Cardona (1999) plantea que en una relación infestación-rendimiento de tipo lineal, hay una reducción proporcional al rendimiento con el aumento en infestación, no hay compensación por parte de la planta y el decrecimiento en rendimiento es rápido y tampoco hay un nivel el cual se estabilice.

De esta forma **en la etapa reproductiva** (inicio de formación de cápsulas hasta madurez fisiológica) se debe trabajar en función de huevos antes de que la larva eclosione y penetre en las cápsulas que según ensayos realizados por Franco y Mejía (1995) el tiempo entre la eclosión del huevo y la penetración de la larva a la estructura osciló entre 32.2 y 35 minutos. El promedio para los ensayos fue de 33.4 minutos. También es importante tener en cuenta que en esta etapa se incrementa el porcentaje de fertilidad de 40% a 80 y 100%. Esto hace que los monitoreos deben ser más frecuentes (dos veces por semana) en lo posible dirigidos a huevos empleando la siguiente fórmula:

$E_A$ : posibles Estructuras afectadas

$$E_A = (H \times P) / P_m \times \%F \times \%$$

P: número de plantas/ha

%F: Porcentaje de fertilidad (80%)

P H: Huevos del muestreo

$P_m$ : Plantas monitoreadas

%P: Porcentaje de penetración (50%)

$$P_A = E_A \times M \times A$$

M: Peso de mota/gramo

$P_A$ : Precio de la protección

A: Precio del algodón/gramo

Es importante además evaluar el daño fresco en cápsulas revisando el tamaño del orificio por donde bota los excrementos la larva, que indica el instar de la larva en ese momento, cuando la larva es mayor a tercer instar está más expuesta a bacterias, hongos, predadores, por lo que la aplicación de un producto gasificante puede alcanzar a afectarla, logrando con esto, por lo menos, cortar el ciclo del insecto. El nivel de aplicación para este caso puede ser 0.5 larvas/planta, de tercer instar en adelante.

En la infestación a los 90 días las pérdidas fueron menores (no hay diferencias en los niveles de 2 y 4 larvas/planta comparadas con el testigo, la diferencia se presenta en más de 4 larvas con pérdidas de 5 gramos por planta comparados con el testigo) en esta época las cápsulas están en

su madurez fisiológica, condición poco apetecida por la larva, los botones que se encuentren en la planta no alcanzaran a formar mota. Se debe evaluar la relación costo beneficio calculando el costo de las cápsulas maduras del tercio superior, (teniendo en cuenta que su peso no superan 2.0 gramos/mota) y compararlo con el costo de la aplicación (Iriarte *et.al.* 2002).

### Uso de biocidas para el control del rosado colombiano

Con base en los niveles de daño en función de huevos, se evaluaron dos insecticidas químicos de los más usados en la zona (un piretroide e indoxacarb) y dos de síntesis natural (*Spinosad* y *Bacillus thuringiensis*) en dosis comerciales. En los resultados el mayor ataque de rosado se inició a los 86 días. No se presentó mayor daño de cápsulas, las larvas de primer instar fueron afectadas por los productos antes de entrar a la cápsula. Las plantas alcanzaron su máximo potencial donde los rendimientos llevados a hectárea superaron las 4 toneladas, no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos. La diferencia es más económica según los ingresos netos y el impacto ambiental. La mayor infestación de huevos se presentó con el piretroide (3.6 huevos por planta), parece que la frecuencia de aplicación de este insecticida estimula la oviposición del insecto. El Spinosad, podría constituirse en una buena alternativa de control, es un producto de síntesis natural que podría rotarse con BT el cual presentó ingresos superiores al anterior por el costo del producto. Sin embargo con Spinosad se observó que afecta las larvas en tercer instar lo que permite un buen control después de los 60 dde. El Indoxacarb es una buena alternativa en caso de tener que usar un insecticida de baja toxicidad (Tabla 1).

**Tabla 1. Análisis de rentabilidad con la aplicación de insecticidas para el control del rosado colombiano C.I. Nataima 2002.**

Tratam.	No. Apli.	Ren./ parcela kilos	Ren./ha/t	Costo 1 aplicac./ ha	Costo total aplicac.	Precio algodón semilla	Ingreso neto
Piretroide	8	48.8 A	4.88	49.280	394.243	6.344.000	3.804.477
Spinosad	7	47.5 A	4.75	91.825	642.775	6.175.000	3.386.945
Indoxacarb	8	45.8 A	4.58	13.240	105.920	5.959.000	3.707.800
<i>B. Thuring.</i>	8	44.2 A	4.42	11.735	93.880	5.746.000	3.506.840

Los insecticidas de síntesis natural constituyen una buena alternativa de control al igual que los insecticidas químicos, si se aplican en el momento oportuno y con una forma de aplicación eficiente. Sin embargo, se debe precisar más en la adherencia de los naturales en caso de lluvias. Se recomienda no aplicar con aguilonos, se demostró que con estos equipos los productos no llegan al sitio exacto de oviposición del insecto.

Los costos de producción sin insecticidas fueron de \$2.145.280 y el precio del algodón para ese año fue de \$1.300.000 tonelada de algodón semilla.

## **Distribución geográfica e incidencia del rosado colombiano en el Valle Cálido del Alto Magdalena**

En estos estudios apoyados por el ICA y las agremiaciones se aprovechó el principio de respuesta fototáctica del rosado y otros lepidópteros con trampas de luz negra. Según Vélez (1997), los adultos son de hábitos nocturnos por tanto se alimentan, aparean y ovipositan en la oscuridad. De esta forma se monitorearon las polillas tanto en el periodo del cultivo como en veda y se establecieron zonas de mayor captura que permitieron predecir el comportamiento de la plaga y decidir medidas preventivas. Con este monitoreo se determinó la distribución geográfica e incidencia del rosado desde el 2002-2004 logrando monitorear 73 sitios. En la Zona Norte del Tolima se monitorearon los municipios de Ambalema, Armero Guayabal y Mariquita; en la zona Centro Espinal, Guamo, Suárez y Flandes; Zona Sur Natagaima. En el Departamento del Huila los municipios de Villavieja, Aipe y Campoalegre. En el Occidente de Cundinamarca Girardot, Tocaima, Nilo, Ricaurte. El total de veredas monitoreadas fue de 46 abarcando más del 90% del área sembrada en estos últimos años y con un porcentaje de presencia de la plaga del 100%. Se concluyó que el rosado colombiano se encuentra distribuido en toda la zona algodonera de esta región bien sea con mediana baja o alta incidencia.

La zona de mayor incidencia se presentó en el Tolima en el 2003 municipio de Natagaima Vereda Baloca, con una captura de más de 100 mariposas hembras/ día/trampa en el mes de junio, en segundo lugar el Espinal vereda la Morena con capturas en el 2004 de 74 hembras/día/trampa en el mes de Julio, la zona Norte Tolima siempre fue de menor incidencia. Según la fluctuación poblacional de los adultos, los meses de mayor captura coincidieron con la fase reproductiva y de madurez del cultivo dependiendo de la época de siembra en cada zona. Los resultados están relacionados con lo planteado por Vélez y Franco (1967) quienes afirman que las poblaciones de Rosado aumentan en forma vertical durante las ultimas semanas del cultivo. Esto puede deberse a: primero la planta esta en su etapa reproductiva más apetecida por la plaga y segundo parte de la población de rosado presente puede provenir de la primera infestación que se presenta entre los 30 y 40 días en la fase juvenil. Esta información se ha visto reflejada con las aplicaciones de Rosado que según los Asistentes Técnicos en información del consejo asesor para el 2004 fue en promedio 1.5 en la zona Norte, en la zona centro de 3, en la zona del sur del Tolima 3 y en algodones atrasados de 4 a 5. (Mendoza *et al.* 2004).

Igualmente se capturaron polillas de estos lepidópteros en los meses de veda, indicando que la destrucción de socas no es muy eficiente, igualmente parte de estas capturas pueden provenir de pupas que están en el suelo en diapausa según Federación Nacional de Algodoneros (1990) y que van emergiendo paulatinamente, además hospederos alternos aun no se han identificado, la literatura reporta algunas especies de Hibiscus, sin embargo la cantidad de sus poblaciones que emigran una vez finalizado el cultivo no tendrían los suficientes hospederos alternos para sobrevivir. Como tampoco una buena destrucción de socas no es suficiente para que en la cosecha siguiente se sigan presentando estas plagas. Toda esta información se analizo en los consejos asesores en conjunto con la información suministrada por los Asistentes Técnicos lo cual permitió dar una visión de cómo se fue presentando el Rosado y los demás lepidópteros durante el desarrollo del cultivo, y poder así tomar medidas oportunas.

### **Evaluación de la relación monitoreo con trampas y monitoreo en el campo**

Dentro del monitoreo desde julio del 2002-hasta noviembre del 2004 se han capturado en las trampas de luz 441.679 polillas entre rosado, *Alabama*, *Heliiothis* y *Spodoptera*, la mayor incidencia es de

*Alabama* y rosado. La población de rosado capturada es de 197.098 mariposas de las cuales 23% hembras, evitando una población aproximada de 8.606.400 adultos si se tiene en cuenta que según Franco y Mejía (1995) la hembra pone en promedio 200 huevos que fluctúa entre 88 y 388, lo cual ha permitido disminuir el efecto negativo de la plaga al bajar sus densidades si se tiene en cuenta que en disecciones hechas a hembras, estas estaban copuladas pero con gran cantidad de huevos en su aparato reproductor indicando posiblemente que las polillas no hayan colocado sus huevos en el campo. Esto coincide con Zenner y López (1976) citados por Vélez (1997) quienes afirman que estas polillas son atraídas por las luces artificiales, capturándose en mayor grado machos que hembras y estas a su vez aparentemente llegan sin haber ovipositado.

La información conllevó a realizar observaciones sobre un posible control en los lotes donde estaban ubicadas las trampas. Se evaluó la captura de adultos con trampas con relación a la fluctuación poblacional de huevos en el campo durante el desarrollo del cultivo. El ensayo se llevo a cabo en C.I. Nataima en el Espinal, Hacienda Pajonales en Ambalema y Natagaima haciendo muestreos semanales, a distancias de ubicación de la trampa de 50, 100, 150 y 200 metros. En los resultados se encontró que hasta los 50 dde. (período de inicio la formación de cápsulas), no se presentaron huevos de Rosado en el campo, mientras que en la trampa desde el inicio del cultivo siempre reporto capturas de polillas. A partir de los 50 dde, hubo un incremento en la población de hembras en las tres localidades, aunque su mayor explosión fue entre los 90 y 110 dde., época en la cual se observa aumento en las poblaciones de huevos en el campo que no pudieron producir suficiente cantidad de larvas para ocasionar un nivel de daño representativo, sin embargo en algunas localidades se hicieron aplicaciones preventivas.

### **Evaluación de sistemas de labranza en la incidencia de rosado**

Los sistemas de labranza sobre la dinámica poblacional de rosado colombiano. Se evaluaron tres sistemas de labranza (cero, mínima y convencional), con área de 1 ha/labranza haciendo muestreos quincenales. La profundidad a la que se presento más del 90% de pupas fue a los 5 cm. Se encontraron pupas tanto en la etapa del cultivo como en la etapa de veda con rotación sorgo. Se presentaron diferencias significativas en la cantidad de pupas entre labranzas, con mayor cantidad en la labranza cero (14.9 pupas/metro) (Tabla 2). Sin embargo no se ve reflejado con la infestación de la plaga en la parte aérea, como tampoco en rendimientos, parece ser que la fauna del suelo mayor en la labranza cero (Garay *et al.* 2005), ayudan a regular las poblaciones de pupas que al no ser removido el suelo tienen mayor dificultad de emerger. Igualmente, para este experimento en C.I. Nataima los manejos de insectos fueron con cero aplicaciones de insecticidas químicos lo que permitió conservar la fauna benéfica en la parte aérea. La mayor cantidad de pupas se encontró en el mes de septiembre, coincidiendo con la mayor infestación de rosado en las etapas finales del cultivo, que según Vélez (1997) coincide con la duración del ciclo de vida de 50 días.

Estas pupas encontradas fueron llevadas a casa de crías en el C.I. Nataima, para evaluar su emergencia, logrando tener pupas en perfecto estado de más de 150 días que es el periodo aproximado de veda, esto permitió verificar que las pupas pueden durar todo el periodo de veda sin emerger. Según Álvarez (2001) parece ser que son capaces de permanecer en el suelo mientras aparece nuevamente el cultivo. Igualmente se observo parasitismo de taquinidos.

Tabla 2. Evaluación de pupas de rosado colombiano en diferentes labranzas.

Labranza/ Periodo	Año	L. Cero Pupas/m <sup>2</sup>	L. Mínima Pupas/m <sup>2</sup>	L. Convencional Pupas/m <sup>2</sup>
Cultivo	Mar-Ago2003	1.8	0.5	0.4
Veda	2003-2004	4.7	1.1	0.0
Cultivo	Mar-Ago2004	4.4	1.6	1.0
Veda	Sep-Nov2004	4.0	1.5	0.8
<i>Total</i>		14.9	4.7	2.2

### Evaluación de la fluctuación de población de rosado y otros lepidópteros en lotes aledaños a los lotes transgénicos

Se evaluó la incidencia de larvas de rosado, *Alabama*, *Heliothis* y *Spodoptera* durante el desarrollo del cultivo en lotes aledaños a los transgénicos y en los transgénicos para determinar si existía algún tipo de reacción de la plaga en un lote convencional sembrado cerca de un transgénico. Este experimento se llevó a cabo en tres localidades (Armero Guayabal – Granja de la Universidad del Tolima, Natagaima en lotes de diferentes productores y C.I.Nataima- Espinal), se evaluaron diferentes variedades. Como resultados la fluctuación de población de los lepidópteros fue muy variada en cada uno de los lotes, esto indica que la infestación de la plaga en un lote está más relacionada con el manejo de estos por parte de los productores y por el ambiente y no por la presencia de un lote cercano sembrado con algodón transgénico puesto que tanto en el transgénico como en el convencional las polillas colocan sus huevos. Puede ser más incidente para otro tipo de insectos como es el caso de chupadores y picudo.

### Incidencia de las fases de la luna en la captura del rosado Colombiano

Las mayores capturas de rosado se presentaron en la fase de menguante, de hecho esta es la fase de mayor oscuridad, por lo tanto el insecto genera mayor actividad. Estos resultados permiten organizar las actividades de manejo incluyendo el control biológico donde se puede aumentar la dosis de liberación de insectos parasitoides de huevos durante estas fases que son de mayor oviposición.

### Densidades de siembra y los reguladores de crecimiento

Teniendo en cuenta la ubicación de la oviposición del rosado en el estrato medio y bajo de la planta durante la fase reproductiva, no es recomendable emplear densidades de población mayores a 80.000 plantas/ha. Igualmente regular el crecimiento de las plantas de tal forma que si se requiere hacer una aplicación se facilite la posición del producto en el sitio problema.



## Control físico

El hachón es una herramienta de control físico, basado en la atracción por la emisión de energía radiante y en el principio de respuesta foto táctica de los insectos lepidópteros de hábitos nocturnos utilizado por el hombre desde tiempos remotos. Su función es la disminución de poblaciones de adultos de rosado y otros lepidópteros, igualmente funciona muy bien en otros insectos como el *Cyclocephala* (Coleoptera: Melolonthidae). Con la captura de un (1) Rosado colombiano en el monitoreo de trampas de luz durante la fase juvenil del cultivo, se debe iniciar la colocación de hachones en la zona y monitorear la presencia de huevos del insecto en los bordes del cultivo (Mendoza *et al.* (2003).

## Control biológico

Se evaluó el efecto de la liberación de un *Trichogramma* nativo en parcelas semicomerciales. Los resultados mostraron que el porcentaje de fertilidad fue mayor en el testigo 88% comparado con la liberación masiva 80%, por lo tanto el parasitismo en la liberación masiva (10%) presento una diferencia de 8% mayor al del testigo sin liberación (2%). No obstante a pesar de que la infestación de rosado fue mayor en la parcela de liberación masiva su porcentaje de parasitismo tanto en rosado (10%) como en *Alabama* (mayor del 80%) permitió que la diferencia de 0.2 t/ha comparada con el testigo produjeran unos ingresos netos superiores en \$170.000/ha.

**Tabla 3. Análisis de evaluación de liberaciones masivas con *Trichogramma* sp. (2002).**

Tipo de manejo	% fertilidad	% infértil	%paras Trichog	Rend/ Parcela en kg	Rend. Ha./t	Costos de prod pesos	Ingresos netos/ha Pesos
Liberac. masiva	80%	10%	10%	231	2.3	2.235.250	754.750
Testigo natural	88%	10%	2%	214	2.1	2.145.250	584.750
Precio del algodón \$1300.000 y costos de liberación \$90.000							

En los ensayos se encontró parasitismo de *Apanteles*, igualmente hay que tener en cuenta que los lepidópteros tienen muchos enemigos naturales como las avispas y las hormigas entre otros.

## Conclusiones

El monitoreo de lepidópteros con trampa de luz permite conocer la distribución de la plaga en cada zona, lo cual a su vez permite dar las alertas preventivas para iniciar manejos masivos con la instalación de los hachones y liberaciones de insectos benéficos, monitoreos y aplicaciones por rondas dentro de los lotes. Igualmente la trampa de luz puede ser un dispositivo de control si se hacen los ajustes en la investigación para determinar cantidad de trampas por área capaz de controlar determinada población de la plaga. En veda con el monitoreo se identifican zonas con deficiente manejo de socas.

Aplicando en el cultivo todos los conocimientos de la biología, comportamiento, niveles de daño ajustados a las variedades de crecimientos semideterminados y haciendo buen uso de las alternativas de manejo integrado de la plaga y del cultivo se puede reducir el número de aplicaciones de insecticidas químicos por lo menos en tres para lepidópteros.

## Literatura Citada

- CARDONA, C. 1999. Entomología económica y manejo de plagas. Palmira. Universidad Nacional. s.n. 99p.
- FRANCO P. Y MEJIA P. 1995. Bioecología del gusano rosado colombiano (*Sacadodes pyralis* Dyar. Lepidoptera: Noctuidae) en el Algodonero.
- FEDERACIÓN NACIONAL DE ALGODONEROS. 1990. Bases técnicas para el cultivo del algodón en Colombia. 4 ed. Guadalupe. Santafé de Bogotá. Colombia. 298 p.
- IRIARTE D. Y MENDOZA L. A. 2002 Determinación del nivel de daño del gusano rosado colombiano en diferentes épocas del cultivo del algodón en la zona del Espinal Tolima. Tesis de Pregrado. U. Del Tolima.
- GARAY B. Y MENDOZA L. A. 2005. Estudio de la fauna edáfica de dos sistemas de labranza del algodón en el Algodonero. Trabajo de grado. Facultad de Agronomía. Universidad del Tolima.
- MENDOZA L. A., Barragán E., Norato T. 2004. Manejo Integrado de plagas en el algodón con énfasis en Rosado Colombiano en el Valle Cálido del Alto Magdalena. Informes finales 2002, 2003, 2004.
- MENDOZA L. A. Y BARRAGÁN E. 2003. Hachones para el control del rosado colombiano. Plegable divulgativo. CORPOICA C.I. Nataima.
- VÉLEZ, R. Y FRANCO, O. 1976. Observaciones sobre eclosión y penetración de larvas pequeñas del gusano Rosado Colombiano, *Sacadodes pyralis* Dyar. En cápsulas de algodón. EN: Agricultura Tropical / Organó de Asociación Colombiana de ingenieros agrónomo. Vol. 23; No. 4 Abr. 1967. Bogotá. P. 211- 214.
- VÉLEZ, R. 1997. Plagas agrícolas de impacto económico en Colombia: Binomia y manejo integrado. Segunda edición. Editorial Universidad de Antioquia. Medellín Colombia. p. 268

## Manejo integrado del picudo del algodnero *Anthonomus grandis* Boheman en el Tolima: El caso de Pajonales

Tulio Jaramillo; Luz Angela Mendoza  
Ing. Agr., Jefe Técnico producción de Algodón, Compañía PAJONALES S.A; Ing. Agr., M. Sc., Investigador programa MIP, C.I. Nataima Corpoica.

### Resumen

El picudo del algodnero, *Anthonomus grandis* Boheman, ha sido por muchos años uno de los principales problemas del algodón en la mayoría de los países productores de este cultivo. El enfoque de control de esta plaga esta dado en su manejo que debe ser anual, se debe enfatizar desde el momento de la defoliación del cultivo con la utilización de los tubos matapicudos (TMP), monitoreo con trampas, durante y después de su época de veda, manejo de los sitios de refugio, manejo fisiológico durante el cultivo, prácticas culturales, destrucción eficiente de socas, siembras oportunas entre otras. Su filosofía de control es disminuir las poblaciones inmigrantes del cultivo que van para los lugares de refugio y/o hospederos(socas, etc.) y durante el cultivo buscar que el picudo se demore en ingresar con niveles de daño no económico después de la fase de reproducción e inicio de la fase de maduración (5NEFB), logrando así reducir el número de aplicaciones de insecticidas de amplio impacto ambiental.

### Introducción

En Colombia se tiene una experiencia práctica de más de 40 años con el picudo del algodnero insecto de importancia económica, con el cual se han dado algunos intentos de manejo con sorprendentes resultados dentro de un contexto MIP. Sin embargo es necesario diseñar mecanismos que despierten el interés del productor y de los organismos privados y oficiales que permitan ejecutar estos programas.

El nuevo esquema del monitoreo fisiológico del algodón que actualmente se desarrolla en Pajonales apoyado por Corpoica, ha permitido tener una clara visión agronómica y administrativa sobre el manejo del cultivo y de las mismas plagas en general y en especial sobre el picudo. La estrategia del manejo del picudo se basa en un manejo del cultivo anual, considerando no solo el periodo del cultivo, igualmente la época de veda con mayor énfasis de control, con el objeto de bajar a niveles mínimos la dinámica poblacional del picudo emigrante y así asegurar la disminución de velocidad de crecimiento poblacional inmigrante, permitiendo por consiguiente su entrada tardía al cultivo que al integrarlas con otras prácticas de manejo han permitido minimizar el número de aplicaciones (alrededor de 8 en el 1999 a menos de 1 en el 2004 en Pajonales, Tabla 1) y su impacto con el manejo con otros insectos plagas y benéficos

### Manejo integrado del picudo del algodnero

**Monitoreo con la feromona Grandlure.** Se emplean las trampas con la feromona para detectar los movimientos iniciales del picudo que emergen de los sitios de refugio o de los que se mantienen "errantes" durante la veda (Alvarez 2001). Las trampas se instalan al iniciar la práctica de defoliación para la recolección, en los bordes de los lotes y a mayor densidad en lotes que han mostrado mayor población de picudo. Según Plato (1999), se debe colocar una trampa cada 3

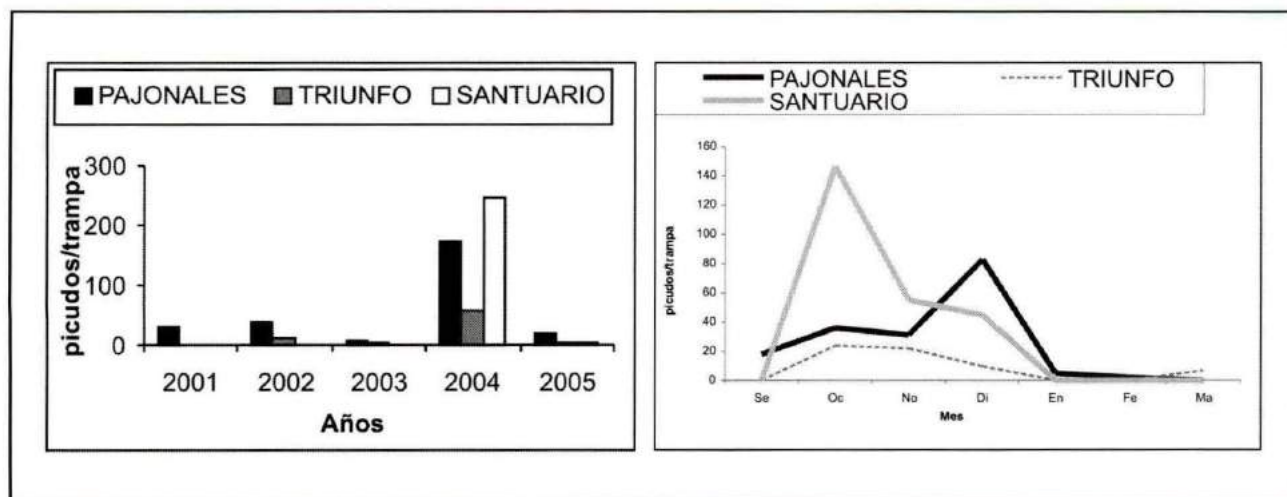
a 5 hectáreas dependiendo de la forma del campo y de la proximidad a los sitios de refugio, que igualmente servirán de control.

**Tabla 1. Reporte de aplicación de insecticidas para el control de *Anthonomus grandis* Boheman en Pajonales, Tolima.**

AÑO	ÁREA (ha)	No. APLICACIONES
1997	80	1.95
1998	268	3.70
1999	306	7.90
2000	419	1.82
2001	686	1.70
2002	518	0.81
2003	512	2.42
2004	710	0.72

La figura 1 muestra la mayor presencia de picudo en el 2004 y su mayor cantidad en las fincas Santuario y Pajonales (mas de 150 picudos/trampa) al igual que su infestación en el mes de octubre en Santuario y en diciembre en el Pajonales. Esto permitió ser mas rigurosos en el manejo de picudo en las fincas de mayor problema. Igualmente las altas infestaciones en el 2004 indicaron la presencia temprana de picudo en la zona en el 2005, es posible que la destrucción de socas no haya sido muy eficiente.

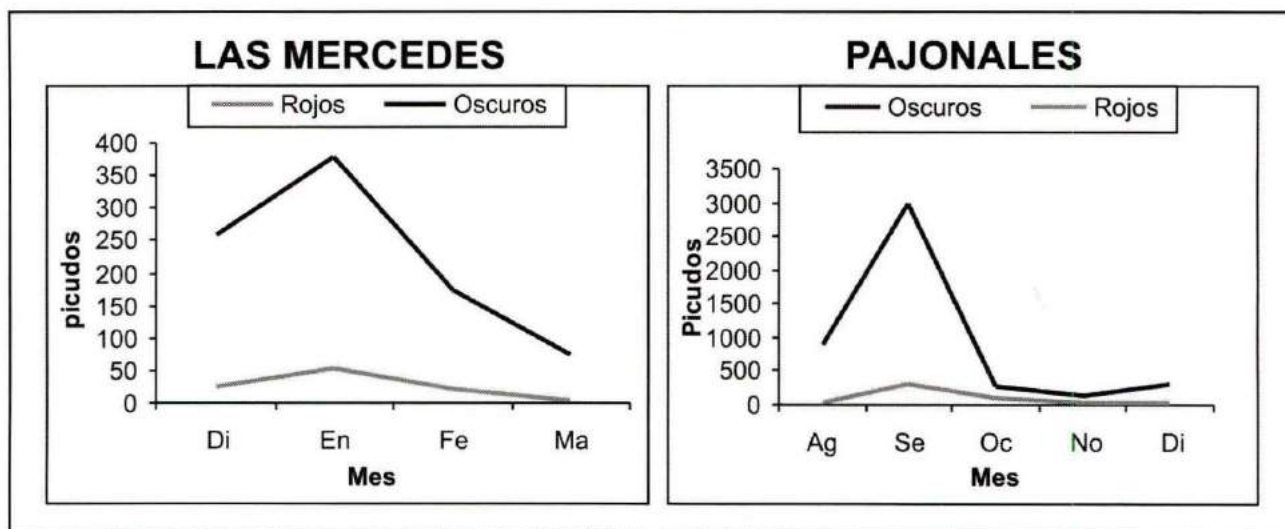
Según el consejo asesor de la zona Centro del Tolima una de las áreas de mayor problema de picudo en la cosecha del 2002 fue Vereda las Mercedes, por tal razón se instalaron 15 trampas en



**Figura 1. Monitoreo de picudo con trampas en tres fincas del municipio de Ambalema Tolima en capturas por año y su fluctuación durante el periodo de veda 2004-2005.**

el mes de diciembre en los sitios donde se concentró más la plaga y se dejaron durante los tres meses siguientes antes de la siembra con el objeto de capturar las poblaciones que alcanzaron a ir a los refugios evitando su inmigración en la cosecha siguiente.

En la figura 2 se muestra la variación de esas capturas donde en los primeros meses de monitoreo se capturaron más de 350 picudos y luego se fue reduciendo a medida que se acercó el periodo de siembras, esto permitió que en la siguiente cosecha las infestaciones de picudo fueran tardías, logrando reducir el número de aplicaciones a tres y generalmente después de los 80 días de emergencia. Es de resaltar tanto en Pajonales como en las Mercedes se encontraron picudos rojos que son estados tenerales (jóvenes) que indican reproducción durante la veda y pueden provenir de la ineficiente destrucción de socas y de hospederos alternos.



**Figura 2. Picudos oscuros y rojos capturados en trampas en la vereda las Mercedes- Espinal en veda (Dic/02-Mar/03) y Pajonales-Ambalema en veda 2003.**

**TMP (Tubos Mata Picudos).** La utilización de los TMPs con feromona atrayente sexual y de agregación ayuda a la captura y control de picudos emigrantes para otros hospederos alternos dentro de la misma finca, socas en fincas cercanas y sitios de refugio donde según Brazzel y News (1959) citados por Alvarez (2001) inician una serie de cambios fisiológicos (reducción de su actividad sexual, incremento en contenido de grasa y glicógeno en el cuerpo, disminución de la tasa respiratoria y del contenido de agua) colocándolo en estado de diapausa total o "facultativa" de acuerdo al área geográfica y a las condiciones de temperatura que les permite soportar el periodo de veda para iniciar su preparación e inmigrar al cultivo cuando este inicie su periodo de formación de botones.

Por lo tanto su instalación y distribución es de gran importancia al final del cultivo cuando se inicia la aplicación de defoliantes para capturar picudos emigrantes y 20 días y antes de la siembra dejándolos alrededor de 40 a 45 días (periodo de duración de la feromona) para capturar picudos inmigrantes permitiendo disminuir la población que pueda ser manejada con recolección de estructuras y

aplicación en los focos o en su defecto hacer una o máximo dos aplicaciones generalizadas al final del cultivo evitando alrededor de 4 a 6 aplicaciones teniendo en cuenta el ciclo de vida del picudo que según la Federación Nacional de Algodoneros (1990) es de 15 a 17 días.

En estudios realizados por Corpoica con productores en varios municipios para mostrar la eficiencia del TMP se instalaron tubos en diferentes fincas, lo que permitió hacer una proyección de cuantos picudos se evitaron durante la cosecha 2002 en cada uno de sus lotes, teniendo en cuenta el ciclo de vida del insecto, su relación macho hembra (1:1) y su oviposición (promedio de 200 huevos hembra). Con esta información se logró evaluar la relación costo beneficio del TMP al reducir el número de aplicaciones (2 a 3 en promedio en el 2003) para que este fuera usado por el productor con mayor racionalidad (Tabla 2).

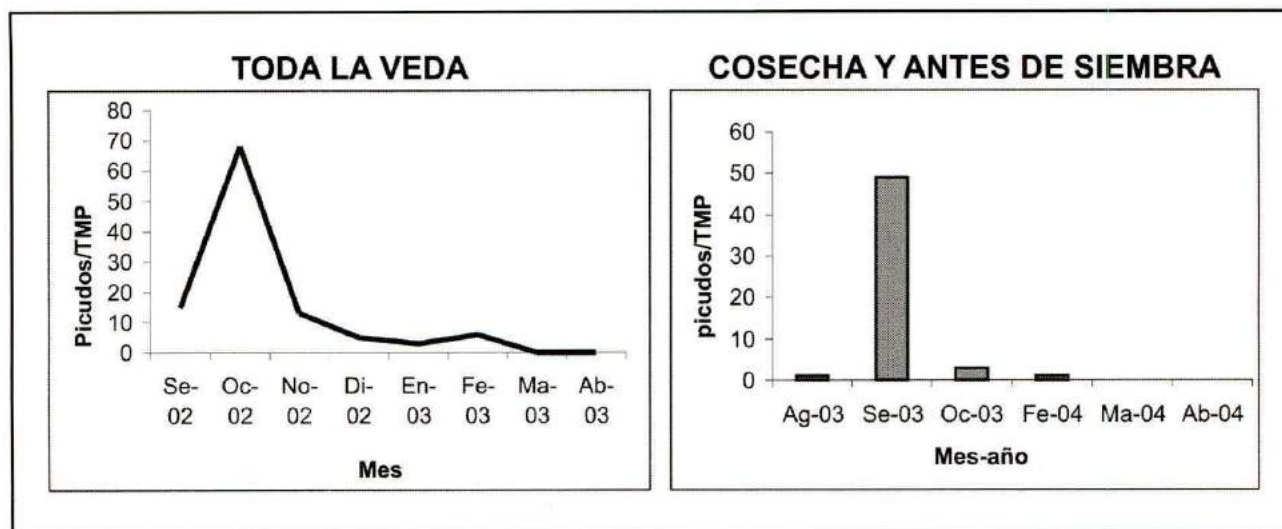
**Tabla 2. Picudos capturados en TMP en presiembra del 2002 y su proyección durante 4 generaciones posibles durante el desarrollo del cultivo.**

MUNICIPIO	No de Tubos	Picudos/ Tubo	20 días pic/ha	40 días pic/ha	60 días pic/ha	80 días pic/ha
Villavieja-Huila	7	43	4.300	430.000	43.000.000	4.300.000.000
Natagaima-Tolima	12	19	1.900	190.000	19.000.000	1.900.000.000
Espinal-Tolima	2	79	7.900	790.000	79.000.000	7.900.000.000

Igualmente en el Centro de Investigación de Nataima se han evaluado las capturas en TMP. Inicialmente se hizo durante toda la veda (2002-2003), y en los siguientes años se hizo instalando los TMP una vez finalizada la cosecha y 20 días antes de la siembra. En la figura 3, se observa que las mayores capturas de picudo en los TMP se logran en el tubo que se instala al final de la cosecha y durante los meses de agosto, septiembre y octubre y menor captura en enero y febrero al igual que lo que reporta el monitoreo con trampas. Estos resultados coinciden con movimientos semejantes de población registrados por Trochez *et. al.* (1999) en estudios realizados en el Valle del Cauca. Con esta información se debe hacer más énfasis en la colocación del tubo al finalizar la cosecha.

**Manejo fisiológico.** Es preciso hablar en el cultivo del algodón de número de nudos formados en lugar de días de edad del cultivo, debido a que el desarrollo de la planta tiene relación con las condiciones ambientales que son diferentes para cada zona específica. La estrategia de manejo del picudo consiste en evitar su entrada al cultivo de las poblaciones migratorias durante las fases de crecimiento vegetativo y reproductivo. Si se logra que el picudo llegue a la fase de crecimiento de maduración (menos de 5 nudos por encima de flor blanca (-5NEFB) con poblaciones que no causen niveles de daño económico se logra tolerar dichas poblaciones hasta que la planta ya presenta cápsulas completamente formadas.

**Uso de reguladores de crecimiento.** A pesar de que las nuevas variedades son de crecimiento indeterminado el exceso de humedad en plena fase de crecimiento reproductivo y baja luminosidad



**Figura 3. Fluctuación de picudos capturados en TMP durante la veda 2002-2003 y picudos capturados una vez finalizada la cosecha 2003 y antes de la siembra 2004 en C.I. Nataima.**

permite un desarrollo exuberante de la parte vegetativa, sin existir un balance entre la parte fructífera produciendo abscisiones florales. Con el uso del cloruro de mepiquat (Pix) se aumenta la retención de estructuras al crear un balance entre la parte vegetativa y la fructífera, como también aumenta la precocidad favoreciendo el desarrollo de una planta más compacta y producción definida en la fase reproductiva, permitiendo así uniformidad de madurez fisiológica y de apertura de cápsulas disminuyendo el riesgo de daño económico por poblaciones tardías de picudo.

**Prácticas culturales.** La recolección de estructuras es una práctica que busca encontrar los focos iniciales del picudo inmigrante al cultivo, su demarcación, recolección de estructuras y control químico si es necesario (fipronil, methyl parathion, malathion y tiametoxam) a nivel de focos. Esta labor de identificación de focos se realiza a partir de los 30 días con personal femenino. Cuando en primeros sembrados se encuentra más de 3 focos cercanos, se realiza una aplicación general con insecticida químico, buscando controlar la población inicial.

Otra práctica cultural que se realiza es "la capada" del algodón (quitar los últimos 4 nudos del nudo 25 al 28 con un 90% de cápsulas formadas) para estratificar la planta entre 16 a 18 ramas simpodiales (fructíferas), así permite eliminar la dominancia apical donde están los últimos botones que son el atractivo de picudo y de *Heliothis*. Las posteriores aplicaciones de control son fundamentalmente para evitar el crecimiento poblacional de la plaga que va a representar daño en la próxima temporada algodonera.

**Destrucción de socas.** Las socas siempre han sido el cuello de botella en el algodón, no hay un criterio unificado de destrucción de soca en los diferentes sistemas de labranzas. En la zona modal es la destrucción de la parte aérea sin verificar posteriormente los rebrotes. Para el caso de Pajonales se destruye la parte aérea y subterránea con pases de rome tipo pesado. Hay que volver a destruir los rebrotadas, todas las veces que sea necesario.

**Islas socas.** Dentro del mismo lote y distribuido en la finca se establecen parcelas con 5 surcos por 5 metros, como islas socas para el control del picudo migratorio. Su control es permanente dos veces por semanas con recolección de estructuras con daño de oviposición y aplicaciones con insecticidas químicos. Esta práctica requiere de mucho cuidado y dedicación.

**Épocas de siembra.** La experiencia ha mostrado que los periodos muy amplios de siembra (mas de 45 días), ocasionan problemas en algodones de siembras tardías, todas las plagas que emigran de los algodones tempranos buscan sobrevivir en los tardíos, siendo el picudo uno de ellos. Un periodo corto de siembra permite periodos largos de veda de más de 150 días para cortar los ciclos de las plagas si se hace una buena destrucción de socas.

**Manejo de refugios y posibles hospederos alternos.** Teniendo en cuenta los sitios de entrada del picudo en los lotes, se definen los sitios de refugio haciendo un análisis de la vegetación y su entorno con observaciones permanentes. Esto ha permitido que durante la veda se poden los árboles del refugio y se hagan aplicaciones especialmente en los posibles hospederos alternos como el guasimo.

**Fertilización nitrogenada.** Las altas aplicaciones de nitrógeno tardío al cultivo, después del nudo número 20, logran un desarrollo exuberante a las plantas que al ser complementado con condiciones climáticas favorables (altas precipitaciones) alarga el ciclo del cultivo permitiendo al picudo continuar con su tiempo generacional.

## Conclusión

Teniendo un conocimiento claro de las fases de crecimiento y desarrollo de la planta de algodón, de los cambios de las condiciones ambientales, de las zonas de refugio, y de diferentes alternativas de control y monitoreo, podemos establecer programas con estrategias de manejo integrado del picudo eficientes que permitan disminuir la dinámica poblacional del picudo y por ende reducir el número de aplicaciones dirigidas al control de ésta plaga. El éxito depende básicamente de crear conciencia en el agricultor y asistentes técnicos de la importancia de la buena aplicación de estas alternativas.

## Literatura Citada

ALVAREZ G. 2001. Picudo: Plaga clave para el manejo integral del algodón Publicación Syngenta.

PLATO Industries Inc. 1995. Tubo mata bicudo (TMB) sistema de atracao e controle do bicudo do algodoeiro (*Anthonomus grandis*) antes de sementeira, durante el periodo de desenvolvimento da planta e no final da zafra na America do Sui e México. 40.p.

FEDERACIÓN NACIONAL DE ALGODONEROS. 1990. Bases técnicas para el cultivo del algodón en Colombia. 4 ed. Guadalupe. Santafé de Bogotá. Colombia, 298 p.

TROCHEZ, A.P., GARCIA, R.F., ROMERO, S.A., MONTOYA, C.D. 1999. Los tubos matapicudos como un componente del manejo integrado de picudo del algodonoero (*Anthonomus grandis*) en el Valle del Cauca. Corpoica, Palmira. 15 p.



## Las unidades térmicas como alternativa para el manejo de los insectos plagas en el algodónero

Arnulfo Díaz Delgado; Antonio María Caicedo

Investigadores Principal, Programa Recursos Biofísicos, Grupo Algodón. C.I. Nataima. Corpoica. El Espinal. Tolima.

Correo e: nataima@corpoica.org.co.

### Resumen

El monitoreo de la acumulación de las unidades de calor después de la siembra nos indica cuando en la planta de algodón a través de sus fases de crecimiento y etapas de desarrollo, principia la inmigración de los insectos plaga y benéficos. En los campos estudiados se ha reportado que de la acumulación de 300 a 350 unidades de calor después de siembra (UCADS) es similar para las variedades Gaitana M-109, D-Opal, y Nu-opal (transgénica), donde empezaron a presentarse las oviposiciones de gusano bellotero del algodónero, gusano rosado colombiano y picudo. Con relación a los comedores de follaje sus oviposiciones se diferenciaron cuando el cultivo del algodón había acumulado 600 UCADS. Los chupadores de follaje como los áfidos empezaron a aparecer cuando la planta acumuló aproximadamente 200 UCADS, la mosca blanca y el complejo de spodoptera están apareciendo cuando se presentan 700 UCADS. La etapa de desarrollo de botones florales va hasta las 800 UCADS. La información de unidades de calor acumuladas después de siembra es un buen indicador para iniciar un programa preventivo en el control de los insectos plaga con aplicaciones de insecticidas biológicos y la liberación de insectos benéficos que va hasta donde los niveles de infestación lo permitan. Además, se monitoreó las unidades de calor después de la anthesis de las últimas flores activas cuando se encuentran a menos de, 0 a 5 nudos por encima de la flor blanca (< 5 NEFB) posición uno hasta acumular las 350 a 400 unidades de calor, donde se da por terminado las aplicaciones de los insecticidas. El objetivo de este estudio fue investigar los efectos de las unidades de calor acumuladas con relación a la presencia de los insectos plaga.

### Introducción

El objetivo de esta investigación fue determinar la interacción de los efectos de las unidades de calor sobre la presencia de los insectos plaga y la fenología de la planta del algodón para dar un uso eficiente y oportuno de los insecticidas. Después del establecimiento del cultivo, viene una etapa de desarrollo, con la aparición de las yemas florales o los botones florales donde dan origen a las primeras cápsulas dentro de la planta. Este es un importante paso para iniciar el manejo de los insectos plaga en el cultivo del algodón y por la cual debe seguirse un seguimiento por parte del productor (Silvertooth, 2001 ). La fase de crecimiento reproductiva se inicia con la aparición de la primera rama simpodial o fructífera (la cual lleva el primer botón floral en la posición uno) que está generalmente en el quinto o sexto nudo por encima de los nudos cotiledonales, que es cuando usualmente empieza la floración (Ball, 1998). Estos son los puntos donde se predice la existencia del primer botón floral y se comienza a determinar las unidades de calor acumuladas después de la siembra (UCADS, con temperaturas umbrales entre 38°C / 20°C). Generalmente, el primer botón floral aparece entre 300 a 350 UCADS para las variedades de algodón Gaitana M-109, Delta Opal y Nu Opal (transgénica). La primera yema floral puede aparecer antes o después con una ligera diferencia de las unidades de calor referenciadas pero podemos estar atentos sobre esa parte de la planta donde se inicia la formación de los botones florales que toman

un suficiente tamaño y que puedan sobrevivir a la infestación de las larvas del primer instar, porque los primeros botones florales son susceptibles al gusano bellotero del algodónero, rosado colombiano y el picudo.

Con relación a los comedores de follaje sus oviposiciones están apareciendo a los 600 UCADS. Los chupadores de follaje como los áfidos aparecen cuando la planta ha acumulado aproximadamente 200 UCADS y la mosca blanca y el complejo *Spodoptera* están apareciendo a los 700 UCADS. La etapa de desarrollo de botones florales va hasta los 800 UCADS, si la planta ha iniciado las 450 UCADS y es capaz de retenerlos hasta la formación de las flores. Como los botones continúan su desarrollo, la siguiente etapa de desarrollo es la aparición de las flores, las cuales aparecen más o menos a las 600 UCADS. Las flores blancas anuncian la iniciación de la etapa de fructificación donde se originan las cápsulas (Albers, 1993). Después de la antesis de la última población de flores activas que se ubican a menos de cinco nudos por encima de la flor blanca, posición uno, (NEFB < 5), a partir de este punto, se acumulan entre 350 a 400 unidades de calor, se da por finalizado el programa de manejo de los insectos plaga, donde el daño de los insectos belloteros decrece drásticamente porque se incrementan la lignificación y la concentración de taninos en la pared del endocarpio de las cápsulas (Oosterhuis *et al.*, 1999).

En esta forma, el cultivo del algodón puede prestar alguna indicación temprana a través de sus fases de crecimiento y etapas de desarrollo para dar un manejo oportuno de los insectos plaga. Una vez que los botones florales son identificados es importante monitorear la presencia de los insectos plaga. La pérdida de los primeros botones florales juveniles puede ser un punto de interés y por lo menos se estaría reconociendo o presentar correlación con alguna causa. El motivo o una culpable asociación con la pérdida temprana de los botones florales puede ser por insectos plaga, condiciones ambientales, estrés hídrico, enfermedades o relacionado con la nutrición y puede adquirir una respuesta activa en el manejo del cultivo (Bradow *et al.*, 1999). En conclusión, el monitoreo de las unidades de calor acumuladas durante las fases de crecimiento y las etapas de desarrollo en la planta de algodón es un indicador importante para ser integrado a un manejo de insectos plagas y de esta manera dar un uso eficiente a la liberación de los insectos benéficos, y la aplicación de insecticidas biológicos y químicos.

## Materiales y métodos

El experimento se ha venido realizando en el C.I. Nataima, El Espinal, Tolima, en los semestres algodóneros 2.004 – 2005; se han utilizado las variedades de algodón Gaitana M-109, D-Opal y Nu-Opal (transgénica) las que fueron sembradas entre la primera semana del mes de febrero y la primera semana de abril. Los surcos fueron espaciados a 0.75 m con una dirección de siembra con tendencia de Norte a Sur, con parcelas de seis (6) surcos con una longitud de 30 metros y un promedio de 10 plantas por metro lineal. Todas las parcelas recibieron el mismo abonamiento edáfico, el manejo, de la tasa de vigor de la planta fue regulada con el cloruro de Mepiquat hasta alcanzar una concentración de 10 ppm., del producto. El manejo de los insectos plaga se ha realizado teniendo en cuenta las unidades de calor acumuladas por la planta de algodón después de siembra (UCADS' 15.6°C) integrando un control biológico a los insectos belloteros: *Anthonomus grandis* (Boheman), *Heliiothis virescens* (Fabricius), *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith), *Spodoptera ornithogalli* (Guenée) y *Sacadodes pyralis* (Dyar), comedores de follaje: Alabama argillacea (Hubner), *Trichoplusia ni* (Hubner) y chupadores de follaje: *Aphis gossypii* (Glover) y *Bemisia tabaci* (Gennadius). El campo experimental fue regado por gravedad cuando lo requiere el cultivo.

El experimento se sembró usando un diseño experimental de BCA, en un arreglo de parcelas subdivididas con tres parcelas principales correspondientes a los tratamientos de riego y no riego, las subparcelas corresponden a las variedades de algodón y en las sub-subparcelas se ubicaron las épocas de siembra, con tres replicaciones. En cada época de siembra se inició el monitoreo de las unidades de calor a partir del momento de la siembra, hasta cuando se comienza a observar las primeras oviposiciones se reporta las unidades de calor acumuladas para cada insecto plaga referenciado y relacionada con la fase de crecimiento y etapa de desarrollo en que se encuentra la planta de algodón; el monitoreo continúa hasta que el insecto plaga desaparece o las condiciones bioquímicas de la planta no son apetecibles para el insecto. La presencia de los insectos plaga se relacionaron con la acumulación de las unidades de calor y la morfo-fisiología presentada por la planta de algodón. Esto tiene como objetivo hacer un manejo preventivo de los insectos plaga y proteger los insectos benéficos y determinar cuando se da por finalizado el uso de los insecticidas.

## Resultados y discusión

Las relaciones entre la acumulación de las unidades de calor en las diferentes etapas de desarrollo que hacen parte de la fase de crecimiento reproductiva están influenciadas por la presencia de los insectos plaga.

Cuando empieza a observarse en la planta de algodón las primeras yemas florales y se encuentran entre 5 a 8 nudos por encima de los nudos cotiledonales, en ese momento ha acumulado entre 320 – 360 unidades de calor, donde se empezaron a observar las primeras oviposiciones del gusano rosado colombiano y el gusano bellotero del algodnero. Las oviposiciones de los comedores de follaje empiezan a aparecer cuando la planta se encuentra con botones florales bien diferenciados y ella tiene entre 8 – 12 nudos por encima de los nudos cotiledonales; en ese momento la planta ha acumulado entre 450 – 520 unidades de calor. El complejo de *Spodoptera* empieza a aparecer cuando la planta de algodón presenta las primeras flores blancas en primera posición y tiene entre 12 – 17 nudos por encima de los nudos cotiledonales. La presencia de estos insectos plaga va hasta cuando la planta de algodón haya acumulado entre 830 – 1.120 unidades de calor o cuando tenga menos de cinco nudos por encima de la flor blanca, posición uno (NEFB < 5). Con relación a los insectos chupadores del follaje tales como el pulgón, que se empieza a observar entre el 2º. Y 5º nudo por encima de los nudos cotiledonales y la planta ha acumulado entre 60 – 90 unidades de calor y su presencia va hasta cuando la planta se encuentra entre 13 – 17 nudos por encima de los nudos cotiledonales con una acumulación entre 620 y 730 unidades de calor. La mosca blanca empieza a detectarse cuando se encuentra entre 13 – 17 nudos por encima de los nudos cotiledonales y la planta ha acumulado 620 – 730 unidades de calor y su presencia va hasta cuando se encuentra menos de 2 nudos por encima de la cápsula madura de posición uno (NECM < 2) donde se determina la aplicación de madurantes y defoliantes y la planta de algodón ha acumulado entre 1470 – 1700 unidades de calor. De acuerdo con la acumulación de las unidades de calor relacionadas con cada etapa de desarrollo que hacen parte de la fase de crecimiento reproductiva, se empieza a detectar las primeras oviposiciones de los insectos plaga y benéficos. Entre 300 – 350 unidades de calor acumuladas después que la planta tenga menos de cinco nudos por encima de la flor blanca (NEFB < 5) posición uno, las cápsulas presentaban una senescencia sobre la superficie donde los insectos belloteros que se encontraban presentes, siendo las cápsulas no apetecibles.

## **Conclusión**

Los monitoreos de las unidades de calor acumuladas por la planta es un indicador de cuando los insectos plagas y benéficos empiezan a inmigrar al cultivo del algodón. Facilita hacer manejos preventivos cuando la planta empieza a ser apetecible por los insectos plaga. Da la oportunidad de utilizar insecticidas biológicos, liberación de insectos benéficos y protege la fauna benéfica nativa y nos da la oportunidad de racionalizar el uso de los insecticidas que causan problemas al medio ambiente. Los resultados indican beneficios a los rendimientos con la eliminación de los botones florales (por insectos plaga) por encima de 350 unidades de calor acumuladas después que la planta tenga 5 o menos nudos por encima de la flor blanca (NEFB<5) en posición uno.

## **Literatura Citada**

- ALBERS, D. W. 1993. Cotton Plant Development and Plant Mapping. Published by University Extension, University Missouri – Columbia. Agricultural Publication G4268.
- BALL, S. T. 1998. Cotton Crop Monitoring. Terminology. College of Agriculture and Home Economics. New Mexico State University. Guide A – 222.
- BRADOW, J. M.; BAUER, P. J. 1999. How Genotype and Temperature Modify Yarn Properties and Dye Uptake. 1999 Beltwide Cotton Conferences. 1: 510 – 512.
- OOSTERHUIS, D. M. , ALLEN. C. A., BOURLAND, F. M., BROWN, R. S.; KIM. K. 1999. Effect of Late – Season Fruit Removal on Cotton Yield and Quality : Implications in Insecticide Termination. 1999 Beltwide Cotton Conferences. 1 : 532 – 533
- SILVERTOOTH, J. C. 2001. Early Cotton Development. Cooperative Extension. University of Arizona.



## SIMPOSIO Biodiversidad y Conservación Coordinador: Nelson Canal

### Tricópteros del departamento del Tolima: Aspectos bioecológicos

Gladys Reinoso-F., Giovanni Guevara-C., Derly Yaneth Carrillo C., Francisco Antonio Villa N.  
Grupo de Investigación en Zoología, Facultad de Ciencias, Universidad del Tolima. Altos de Santa Elena. Ibagué, Tolima,  
Colombia. A. A. 546. Correo e: glareinoso1@hotmail.com; ggc@colombia.com; derlycarrillo1@hotmail.com,  
favilla@ut.edu.co, respectivamente.

#### Introducción

Entre los insectos los tricópteros son un grupo de insectos de gran importancia, ya que, constituyen una fauna fundamental en las cadenas tróficas de los ecosistemas acuáticos. Además pueden ser utilizados como organismos indicadores de la calidad de las aguas y como parámetro de análisis de otros aspectos ecológicos como caracterización a nivel de comunidades e individuos, tanto desde el punto de vista estructural como funcional (Reinoso, 1999ab; Muñoz, 2004). Con más de 1.100 especies citadas para América del Sur (Sandoval, 2000; Muñoz, 2004) y 211 especies documentadas para Colombia (Sandoval, 2000) puede considerarse que los tricópteros, son organismos de gran importancia en agua dulce, donde han invadido distintos tipos de ambientes lóticos y lénticos, con preferencia de los primeros. Los tricópteros constituyen una fauna fundamental en las cadenas tróficas de los ecosistemas acuáticos; además pueden ser utilizados como organismos indicadores de la calidad del agua y como parámetro de análisis de otros aspectos ecológicos como caracterización a nivel de comunidades e individuos, tanto desde el punto de vista estructural como funcional (Sandoval, 2000)

El conocimiento sobre la fauna de macroinvertebrados acuáticos neotropicales y en especial sobre los tricópteros es aún escaso. En Colombia los estudios sobre este grupo de insectos son pocos, se resaltan los de Flint (1971, 1991), Quintero y Rojas (1987), Correa *et al* (1981), Roldán (1992, 2003), Rincón (1993, 1999, 2001), Muñoz(2000), Posada & Roldán (2003). En el departamento del Tolima estos estudios son aún más incipientes, se conocen los de Vergara *et al.* (1994), Reinoso (1999), Mena (2000), Carrillo *et al.* (2001) y Carrillo (2002), Guevara (2004).

#### Aspectos bioecológicos de los tricópteros

La fauna de tricópteros del departamento del Tolima es abundante y diversa, esta representada en 12 familias y 26 taxones (*Leptonema*, *Smicridea*, *Macronema*, *Helicopsyche*, *Atopsyche* sp. 1, sp. 2, *Hydroptila*, *Ochrotrichia* sp. 1, sp. 2, *Metrichia*, *Leucotrichia*, *Culoptila*, *Protoptila*, *Phylloicus*, *Chimarra*, *Wormaldia*, *Polycentropus*, *Polyplectropus*, *Atanatolica*, *Oecetis*, *Triplectides*, *Nectopsyche* sp. 1, sp. 2, *Marilia*, *Anomalocosmoecus*, *Contulma*). El estadio larval del género *Anomalocosmoecus*, de distribución neotropical y el morfotipo *Atopsyche* sp. 2, (Reinoso., 1999; Carrillo., 2002; Guevara., 2004).

Se reportan y describen por primera vez para el Tolima y para Colombia. Los géneros *Culoptila*, *Triplectides*, *Leucotrichia*, *Metrichia*, *Ochrotrichia* (sp. 2), *Contulma*, *Nectopsyche* (sp. 1), *Oecetis*,

*Wormaldia* y *Marilia*, se reportan por primera vez para el Tolima. El estadio larval del género *Anomalocosmoecus*, de distribución neotropical y el morfotipo *Atopsyche* sp. 2, se reportan y describen por primera vez para el Tolima y para Colombia. Los géneros *Culoptila*, *Triplectides*, *Leucotrichia*, *Metrichia*, *Ochrotrichia* (sp. 2), *Contulma*, *Nectopsyche* (sp. 1), *Oecetis*, *Wormaldia* y *Marilia*, se reportan por primera vez para el Tolima (Guevara 2004).

En cuanto al número de organismos es relevante la familia Hydropsychidae, en especial el género *Leptonema*, debido quizás a que éste género coloniza diversos sustratos (rocas, arena, restos vegetales y acumulados de algas) tanto en aguas rápidas como en remansos y en zonas con algún grado de intervención antrópica. Esta amplia distribución, permite suponer que *Leptonema* se comporta como un género eurítipico y que su ubicación en las corrientes fuertes, le permite coleccionar su alimento (Reinoso 1999a). Situación similar fue observada por Flint, 1978; Roldan, 1988; Hilsenhoff, 2001 y Angrisano & Korob, 2001. quienes reportan que los hidropsíquidos se encuentran presentes en arroyos de todos los tamaños, corrientes y temperaturas y son muy característicos tanto por su abundancia como por su diversidad.

Dado el número de organismos de la familia Hydropsychidae y su amplia distribución en los cuerpos de agua evaluados en el departamento del Tolima, es posible suponer, que esta familia presente una alta tasa reproductiva, capacidad para colonizar cualquier hábitat disponible y por tanto manifieste comportamientos numéricos variables (Guevara, 2004). Con relación a la diversidad de tricópteros, las familias Hydroptilidae y Leptoceridae presentan el mayor número de géneros, en la cuenca del río Coello. La variedad de sustratos y la oferta alimentaria de ésta cuenca ha facilitado el desarrollo de tricópteros (Guevara 2004). Para el río Alvarado la familia Hydropsychidae es la más diversa con dos representantes (Reinoso., 1999b) y para las quebradas afluentes del Embalse de Prado todas las familias están representadas por un género (Carrillo., 2002).

Teniendo como base el material biológico colectado y los índices de calidad evaluados se puede suponer que la contaminación orgánica es posiblemente la principal fuente de deterioro de la calidad hídrica de las cuencas, fenómeno asociado a las descargas de aguas residuales, a la presencia de industrias y lavaderos de carros, situación que influye en la distribución espacial de las larvas de tricópteros (Reinoso., 1999ab; Guevara., 2004)

La combinación de factores, como la velocidad de la corriente, tipo de sustrato, temperatura, cantidad de nutrientes, y tipo de vegetación acuática, hace que en un solo cuerpo de agua se encuentre una gran cantidad de microhábitats que son aprovechados por muchas larvas de insectos acuáticos. En el caso de las larvas de tricópteros, algunos taxones como *Phylloicus*, *Triplectides*, *Nectopsyche* sp. 1, requieren material vegetal para la construcción de sus refugios. *Anomalocosmoecus*, *Atopsyche* sp. 2, *Marilia*, *Atanatolica* y *Contulma*, parecen tener preferencia por hábitat fríos, correntosos y transparentes (zonas altas). *Helicopsyche*, *Protoptila*, *Culoptila*, *Hydroptila*, *Oecetis*, *Nectopsyche* sp. 2, tienen preferencia por hábitat con suministro de material mineral, principalmente (Guevara 2004). Otro factor que puede influir en las variaciones en la distribución y abundancia de los géneros de tricópteros es el comportamiento alimentario típico de las familias de peces (Astroblepidae, Trichomycteridae) (Villa *et al.* 2003; Briñez 2004) que consumen larvas de tricópteros (Ortiz 1997).

Las variables fisicoquímicas pueden influir de manera marcada en la distribución, estructura poblacional y dinámica de la fauna de Tricópteros. Los sólidos en suspensión, los sólidos totales, la DBO, el pH, oxígeno disuelto, temperatura del agua, conductividad, entre otras, son las variables

más incidentes en la dinámica del cuerpo de agua y por lo tanto en la estructura de la comunidad de trichópteros y de su fauna asociada (Reinoso., 1999ab; Carrillo., 2002; Guevara., 2004). Resultados similares en ríos de bajo orden, han sido relacionados con intervención antrópica, procedente de descargas puntuales y dispersas (Alba Tercedor *et al.*, 1996).

Es posible que los resultados encontrados reflejen las variaciones en las adaptaciones ecológicas de las larvas de tricópteros. La adaptación ecológica puede ser simplemente una función del número de especies, y para este caso de géneros, que representan una familia. Un rango de tolerancia amplio aparece más probable en familias con mayor número de especies que lo contrario. Por otra parte, la presencia de ciertos taxones en sitios de contaminación relativamente alta refleja necesariamente una mayor tolerancia con relación a otras regiones biogeográficas, mientras que la ausencia de otros taxones en los mismos sitios puede ser también debida al bajo número de estaciones consideradas (Riss, 2002).

Se encontró variación en la estructura de la comunidad de Trichópteros en las diferentes épocas de colecta. Esta distribución temporal de las comunidades puede ser afectada por diversos aspectos como capacidad migratoria, las condiciones locales, los ritmos o cambios ambientales periódicos (día, noche, cambios lunares, ciclo anual, entre otros), ambientes fluctuantes, los caudales máximos y mínimos (Ramírez, 1999). La distribución espacial también se ve influida por factores como cantidad y calidad de nutrientes, tipos de sustratos, luminosidad, factores climáticos y algunas variables fisicoquímicas predominantes en cada cuerpo de agua (Ramírez, 1999; Reinoso 1999a; Carrillo 2002; Guevara 2004).

## Literatura Citada

- ALBA-TERCEDOR, J. 1996. Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. En: SIMPOSIO DEL AGUA EN ANDALUCÍA, (SIAGA). (4º: 1996: Almería, España). Memorias del IV simposio del agua en Andalucía, v. 2, p. 203-213.
- ANGRISANO, E. B. Insecta Trichoptera. En: LOPRETTO, Estela C. & TELL, Guillermo (editores). Ecosistemas de aguas continentales. Metodologías para su estudio Tomo III. La Plata-Argentina Ediciones Sur, 1995a. p. 1199-1237.
- ANGRISANO, E. B.; KOROB, P. G. 2001. Guía para la Determinación de los Artrópodos Bentónicos Sudamericanos. Capítulo 2. Trichoptera. En: FERNÁNDEZ, Hugo Rafael & DOMÍNGUEZ, Eduardo (Editores). Tucumán-Argentina: Serie Investigaciones de la UNT, Subserie Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Nacional de Tucumán, 282 p.
- BRIÑEZ-VÁSQUEZ, G. N. 2004. Distribución altitudinal, diversidad y algunos aspectos ecológicos de la familia Astroblepidae (*Pisces: Siluriformes*) en la cuenca del río Coello (Tolima). Ibagué, 134 p. Trabajo de grado (Biólogo). Universidad del Tolima. Facultad de Ciencias. Departamento de Biología.
- CARRILLO, D.; REINOSO, G.; VILLA, F. 2001. Estudio de los Trichópteros del Embalse de Prado Tolima-Colombia. En: Resúmenes del XXXVI Congreso Nacional de Ciencias Biológicas. Cartagena de Indias: ACCB, p. 249.
- CARRILLO, D.; REINOSO, G.; VILLA, F. 2002. Aspectos bioecológicos de los macroinvertebrados en el embalse de Hidroprado departamento del Tolima. Ibagué, 110 p. Trabajo de grado (Biólogo). Universidad del Tolima. Facultad de Ciencias. Departamento de Biología.

- CORREA, M.; MACHADO, T.; ROLDÁN, G. 1981. Taxonomía y ecología del orden Trichoptera en el departamento de Antioquia en diferentes pisos altitudinales. En: Actualidades Biológicas. Vol. 10, No. 36 (abr.-jun. 1981); p. 18-25.
- FLINT, O. S., Jr. 1971. Studies of Neotropical Caddisflies XII: Rhyacophilidae, Glossosomatidae, Philopotamidae and Psychomyiidae of the Amazon Basin. En : Amazoniana. Vol. 3 p.1-67.
- FLINT, O. S., Jr. 1991. Studies of Neotropical Caddisflies, XLV: The Taxonomy, Phenology, and Faunistics of the Trichoptera of Antioquia, Colombia. Washington, D.C: Smithsonian Institution Press. En: Smithsonian Contributions to Zoology. No. 520, 113 p.
- GUEVARA, G. 2004. Análisis faunístico del orden Trichoptera en su estado larval en la cuenca del río Coello departamento del Tolima. Ibagué, 183 p. Trabajo de grado (MSc Ciencias Biológicas). Universidad del Tolima. Facultad de Ciencias. Maestría en Ciencias Biológicas.
- HILSENHOFF, W. L. 2001. Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrate Chapter 17. Diversity and Classification of Insects and Collembola. p. 661-731. En: THORP, James H. & COVICH, Alan P. (Editors). Second Edition. Orlando – Florida: Academic Press, 2001. 1056 p.
- MENA-OBREGÓN, R. 2000. Formas Inmaduras del Orden Trichoptera en los Pisos Térmicos Calido, Templado y Frío en los Departamentos de Cundinamarca y Tolima. Santafé de Bogotá, Trabajo de grado (Biólogo). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Departamento de Biología. 33 p.
- MOJICA, M. L. 1993. Estudio Limnológico de la Parte Alta del Río Bogotá, con Énfasis en Macroinvertebrados Bénticos (orden Trichoptera). Santafé de Bogotá, + Trabajo de grado (Biólogo). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Departamento de Biología. 124 p.
- MUÑOZ-QUESADA, F. 2000. Especies del orden Trichoptera (Insecta) en Colombia. En: Revista Biota Colombiana. Vol. 1, No. 3; p. 267-288.
- MUÑOZ-QUESADA, F. 2004. El orden Trichoptera (Insecta) en Colombia, II: inmaduros y adultos, consideraciones generales, p. 319-349. En: FERNÁNDEZ, F.; ANDRADE-C.M. G.; AMAT, G. (editores). Insectos de Colombia. Volumen III. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia – Instituto Humboldt (Colombia), 2004. 604 p., il., fotos, mapas.
- ORTAZ, M. 1997. Ciclo reproductivo de *Creagrutus bolivari* (Pisces: Characidae) en Venezuela. Revista de Biología Tropical. Vol. 45, No.3 p. 1147-1153.
- POSADA, J. A; ROLDÁN-PÉREZ, G. A. 2003Clave ilustrada y diversidad de las larvas de Trichoptera en el Nor-Occidente de Colombia. Caldasia. Vol. 25, p. 169-192.
- QUINTERO, A. D.; ROJAS, A. M. 1987. Aspectos bioecológicos del orden Trichoptera y su relación con la calidad de agua. Revista Colombiana de Entomología. Vol. 13, No. 1 p. 26-38.
- RAMÍREZ-GONZÁLEZ, A. 1999. Ecología Aplicada, Diseño y Análisis Estadístico. Santa fe de Bogotá: Fundación Universidad de Bogotá, Jorge Tadeo Lozano, 325 p.
- REINOSO-FLÓREZ, G. 1998. Estudio de los efemerópteros del río Combeima en el trayecto comprendido entre Juntas y el Totumo. Santa Fe de Bogotá, 1998, 112 p. Trabajo de grado (M.Sc. Ciencias Biológicas). Universidad de los Andes.



- REINOSO-FLÓREZ, G. 1999a. Dinámica de los tricópteros del río Alvarado en el tramo comprendido entre el barrio El Salado y el municipio de Alvarado-Tolima (Colombia). En: Resúmenes del XXXIV Congreso Nacional de Ciencias Biológicas. Octubre 27 al 30. Santiago de Cali-Colombia : ACCB, p. 216.
- REINOSO-FLÓREZ, G. 1999b. Estudio de la fauna béntica del río Combeima. En: Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas. Vol. 11, No. 1, p. 35-44.
- RINCÓN-HERNÁNDEZ, M. E. 1996. Aspectos bioecológicos de los tricópteros de la quebrada Carrizal (Boyacá, Colombia). Revista Colombiana de Entomología. Vol. 22, No. 1; p. 53-60.
- RINCÓN-HERNÁNDEZ, M. E. 1999. Estudio Preliminar de la Distribución Altitudinal y Espacial de los Tricópteros en la Cordillera Oriental (Colombia), Capitulo IX, p. 267-284. En: FERNÁNDEZ, F.; ANDRADE-C.M. G.; AMAT, G. (editores). Insectos de Colombia. Volumen II. Santafé de Bogotá, D.C: Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales,. 433 p. (Colección Jorge Álvarez Lleras; no. 13).
- RINCÓN-HERNÁNDEZ, M. E; BURGOS, A. C. 2001. Composición y Distribución de los Trichoptera de Cundinamarca. En: Resúmenes del XXXVI Congreso Nacional de Ciencias Biológicas. Cartagena de Indias: ACCB, p. 253.
- RISS, W.; OSPINA, R. & GUTIÉRREZ, J. D. 2002. Establecimiento de valores de bioindicación para macroinvertebrados acuáticos de la sabana de Bogotá. Caldasia. Vol. 24, No. 1, p. 135-156.
- ROLDÁN-PÉREZ, G. 1992. Fundamentos de Limnología Neotropical. Medellín: Universidad de Antioquia, 529 p.
- SANDOVAL, R. 2000. Larvas de Free-Living Caddis. [En línea] [Citado en: febrero 8 de 2003]. Disponible en: <http://www.riosysenderos.com/baul/freelivingcaddislarva.htm>.
- VERGARA R., R. A.; GÓNGORA, F. J.; PRIETO, M. A.; GALEANO O., P. E. 1994. Inventario de la entomofauna acuática de la quebrada Padilla, fuente del acueducto de Honda (Tolima). Revista Colombiana de Entomología. Vol. 20, No. 2; p. 115-123.
- VILLA-NAVARRO, F. A.; REINOSO-FLÓREZ, G.; BERNAL-BAUTISTA, M. H.; LOSADA-PRADO, S. 2002. Biodiversidad Faunística de la Cuenca del Río Coello: Biodiversidad Regional Fase I. Propuesta técnico-económica para la elaboración de un convenio de cooperación interadministrativa entre la Universidad del Tolima y la Corporación Autónoma Regional del Tolima "CORTOLIMA", [Sin publicar].
- VILLA-NAVARRO, F. A.; REINOSO-FLÓREZ, G.; BERNAL-BAUTISTA, M. H.; LOSADA-PRADO, S. 2003. Biodiversidad Faunística de la Cuenca del río Coello- Biodiversidad Regional Fase I. Informe Final. Tomo I-II-III. Ibagué: Universidad del Tolima - CORTOLIMA. 1109 p.

## Composición general de las mariposas diurnas en la cuenca del río Coello, Tolima

Leonardo Alberto Ospina L., Jack Fran Armengot García, P., Antonio Francisco Villa N., Gladys Reinoso, F., Grupo de Investigación en Zoología. Facultad de Ciencias. Universidad del Tolima. Altos de Santa Elena. Ibagué, Tolima (Colombia). correo e: ospilope@hotmail.com, jackdroun@colombia.com, favilla@ut.edu.co, glareinoso1@hotmail.com, respectivamente

### Introducción

El orden Lepidoptera es uno de los más diversos al presentar aproximadamente entre 150000 y 200000 especies, siendo solo superado por los Coleoptera (Scoble 1991). Se encuentra dividido por los subordenes Rhopalocera (mariposas diurnas) y Heterocera (mariposas nocturnas). Para el primero se calculan 20000 especies a nivel mundial (Constantino 1997) y 7661 para el Neotrópico (Lamas 2004).

Nuestro país es el tercero a nivel mundial con mayor diversidad de mariposas diurnas, estimándose 3019 especies de las cuales 300 son endémicas (Andrade 2000). Esta enorme diversidad es el producto del posicionamiento geográfico, además de la compleja topografía, mosaico de climas, suelos, fisiografía e historia geológica, representando una zona de intercambio de especies entre Centro y Suramérica, y una posición privilegiada sobre la franja tropical (Andrade 1995; Amat *et al.* 1999). Algunos estudios de inventario y composición de rhopaloceros han sido realizados por Álvarez (1993), Andrade y Amat (1996), Fagua (1999), Tobar (2000) y García-Robledo *et al.* (2002) y en cuanto a estudios de aspectos ecológicos, los trabajos de Constantino (1997) y Rodríguez *et al.* (2000).

Ubicada en el centro del departamento del Tolima, flanco derecho de la cordillera Central, la cuenca del río Coello presenta un área de 1899.31 km<sup>2</sup> y muestra una gran variedad de pisos térmicos, zona de vida y cobertura vegetal (CORTOLIMA 1998). Estas condiciones la hacen un sitio de interés para trabajos de diversidad, donde los lepidópteros son un grupo relevante como indicadores del estado de la biota, variación a lo largo de gradientes, endemismos y grado de intervención humana, siendo este estudio a nivel regional, el primero en determinar la composición general de las mariposas diurnas.

### Estructura de la comunidad

Para la cuenca del río Coello se registraron 281 especies, 125 géneros, 20 subfamilias (excepto Apaturinae, Lycaeninae, Lybitheinae y Styginae) y 6 familias (excepto Lybitheidae). Además se encuentra en confirmación taxonómica una posible nueva subespecie de *Altopedaliodes reissi* Weymer 1890 para Colombia y se colectó la especie endémica del Huila y Tolima *Heliconius cydno hermogenes* Hewitson.

La alta composición de mariposas podría estar favorecida por características encontradas en la región, como diversidad de pisos térmicos (climas de montaña) y diferentes zonas de vida, lo cual genera en conjunto una mayor heterogeneidad del paisaje y por tanto, variados hábitat diferenciados por un grado específico de agregación y contraste, lo cual concuerda con lo propuesto por Hernández *et al.* (1992), quienes mencionan que la mayor diversidad biológica del país se concentra en las estribaciones inferiores de las cordilleras.

Las familias más abundantes y con mayor número de especies en su orden fueron Nymphalidae (60.35% y 132 especies), Pieridae (16.11 % y 43 especies) y Hesperidae (11.29 % y 54 especies), siendo menos abundantes Riodinidae y Lycaenidae y Papilionidae con el menor número de especies (11). Entre las especies más abundantes se registraron *Panyapedaliodes drymaea* Hewitson (4.58 %) (Satyrinae), *Heliconius melpomene* L. (3.39 %) (Heliconiinae) y *Leptophobia aripa* (Boisduval) (3.23 %) (Pierinae).

La incidencia de especies generalistas (Nymphalinae y Satyrinae) y especialistas (Heliconiinae y Acraeinae) en Nymphalidae (Andrade 1994), permiten considerar una alta adaptación ecológica para explotar diversos recursos alimenticios, los cuales en el estado adulto pueden ser desde néctar (gremio nectarívoro), minerales disueltos en arena húmeda y charcos (gremio hidrofílico), hasta materia orgánica en descomposición (gremio acimófago). El uso de diferentes recursos, probablemente represente una ventaja frente a otras especies pertenecientes a las familias Papilionidae, Riodinidae y Lycaenidae las cuales presentan especies en su gran mayoría nectarívoras y en algunos casos con un grado de asociación mirmecofílico (Fiedler 1991).

La abundancia de Pieridae y Hesperidae posiblemente se encuentra fundamentada por la incidencia de algunas especies como *Leptophobia aripa*, *L. eleusis*, *L. penthica*, *Colias dimera* y *Ascia monuste*, registradas como insectos plaga en Brassicaceas (Crucíferas) (Bustillo y Gutiérrez 1975; ICA 1987) y de la especie *Urbanus proteus* (Hesperidae), conocido como el gusano cabezón que ataca los cultivos de frijol (ICA 1987; García – Robledo *et al.* 2002). Chew (1995) menciona que algunas características relacionadas con historia de vida, tales como alta fecundidad, son encontradas en muchos piéridos y son relevantes para que sean considerados en el estatus de plaga.

Nymphalidae, Pieridae y Lycaenidae presentaron el mayor rango de distribución altitudinal (433 a 3600 m), seguidas por Hesperidae (433 a 2460 m), Papilionidae y Riodinidae (433 a 2072 m). Las subfamilias que se encontraron en todo el gradiente altitudinal fueron Satyrinae y Theclinae y Dismorphiinae presentó el menor rango de distribución (1714 a 2441 m).

El mayor rango altitudinal exhibido por Nymphalidae, Pieridae y Lycaenidae, podría explicarse por respuestas biológicas como melanismo alar (coloración oscura) y tallas corporales pequeñas para el calentamiento rápido del cuerpo, junto con mecanismos complejos de termorregulación, estudiados especialmente en la familia Pieridae (Clench 1966; Somme 1989). Estas respuestas permiten una mayor flexibilidad adaptativa frente a restricciones ambientales que aparecen a medida que incrementa la altitud como el aumento en precipitación, humedad y vientos, además del descenso de la temperatura, factores que en conjunto parecen influir en la distribución de las mariposas (Dennis 1993).

Los ajustes fisiológicos a bajas temperaturas y a barreras ecológicas asociadas con la topografía, son importantes para el establecimiento de los rangos altitudinales en este grupo de insectos (Janzen 1967), siendo probable que la distribución de especies de Papilionidae y Riodinidae obedezca a dos factores, los cuales no necesariamente son excluyentes; el primero, implicaría el no presentar respuestas biológicas que permitan contrarrestar las barreras ambientales presentes en zonas de alta montaña y el segundo, que sus plantas hospederas se encuentren en mayor número y abundancia en zonas bajas y templadas. Tal es el caso de Riodininae que en Colombia se encuentra poco adaptado a zonas altas, no siendo registrados por encima de 2000 m y en algunos casos se encuentran restringidos a hábitat de bosque (Callaghan 1983).

La distribución de Satyrinae concuerda con lo registrado por Andrade (1991), quien menciona que este grupo en Colombia se distribuye desde 300 a 3500 m y en el caso de Theclinae, García – Robledo *et al* (2002) afirman que algunos géneros son endémicos y propios de grandes alturas, encontrándose especies a más de 4000 m, en los páramos de las tres cordilleras del país. Las demás subfamilias mostraron rangos menores y específicos de distribución, reflejando probablemente los patrones topogeográficos de sus plantas hospederas, agrupadas posiblemente en mayor densidad a menos de 2400 m. Singer (1971), argumenta que la estrategia de adaptación ecológica en las mariposas, y demás insectos fitófagos, esta moldeada por la distribución espacial y abundancia numérica de plantas hospederas. En el caso de Dismorphiinae, las orugas sólo se alimentan de mimosáceas (De Vries 1987) y muchas especies en México, Colombia y Costa Rica de *Enantia*, *Lieinix* y *Dismorphia* únicamente se han visto sobre *Inga* y *Calliandra* (Llorente y Bousquets 1983), géneros de mimosáceas comunes en regiones tropicales y subtropicales (Esquivel 1993).

En cuanto a la diversidad, los valores más altos fueron registrados entre 433 y 2100 m siendo la localidad de Cay (1714 m) la del valor más alto y por encima de 2000 m la diversidad tiende a decrecer. Dicha diversidad posiblemente se deba a un efecto de perturbación intermedia. Connell (1978), propone que valores elevados de diversidad pueden ser mantenidos por niveles intermedios de perturbación (natural o antrópica), los cuales varían en cuanto a frecuencia e intensidad para una zona. Ésta perturbación permite una heterogeneidad en el paisaje influyendo en una mayor disponibilidad de hábitat, flores para libar, presencia de plantas hospederas asociadas a vegetación de crecimiento secundario (sucesión temprana) y al aumento en la disponibilidad de luz solar en zonas abiertas que benefician los procesos de termorregulación presentes en estos insectos.

La localidad Cay (1714 m), con el mayor valor de diversidad, presenta desde zonas abiertas (cultivos y pastizales) hasta fragmentos de bosque (con cierto grado de conservación) que al parecer, permiten una mayor disponibilidad de hábitat para el establecimiento de una más alta diversidad. McArthur y Wilson (1967), en su hipótesis de heterogeneidad de hábitat, asumen que la complejidad estructural de los hábitat puede favorecer más nichos y diversas formas de explotar los recursos y, de éste modo, incrementar la diversidad de especies.

La disminución por encima de 2000 m, es debido a condiciones ambientales restrictivas como humedad, radiación solar, bajas temperaturas y neblina (Anónimo 2004). Las anteriores condiciones representan una barrera, para las especies sin respuestas biológicas, que les permitan establecerse en zonas de alta montaña, además de posibles restricciones alimenticias en los estadios inmaduros. Pollack (1990) citado por Erelli *et al.* (1998) considera que en bajas temperaturas el crecimiento en plantas se encuentra restringido más que la fotosíntesis, conduciendo a un aumento en metabolitos secundarios y, de este modo, el follaje que crece en temperaturas bajas puede ser menos palatable para los herbívoros que el de temperaturas moderadas. Esta menor palatabilidad posiblemente represente una restricción alimenticia y solo algunas especies de Nymphalidae (Satyrinae), Pieridae y Lycaenidae (Theclinae), pueden asimilar metabólicamente compuestos secundarios como alcaloides, glucosinatos, terpenoides, entre otros, que son acumulados en plantas.

## Literatura Citada

- ÁLVAREZ, J. 1993. Inventario de las mariposas (Lepidoptera: Rhopalocera), Con anotaciones ecológicas, para dos zonas del Departamento de Risaralda, Colombia. Bogotá.. Trabajo de grado (Biólogo). Universidad Nacional. Facultad Ciencias. 204p.

- AMAT, G., FERNÁNDEZ F. y ANDRADE C., G. 1999. Un vistazo actual a la taxonomía de insectos en Colombia (Coleoptera, Hymenoptera y Lepidoptera). *Revista Insectos de Colombia*, 2: 14 – 33.
- ANDRADE C., G. 1991. Una nueva especie de *Cissia* (Lepidoptera: Nymphalidae: Satyrinae) para Colombia. *Revista Academia Colombiana de Ciencias Exactas*, 18 (69): 265.
- ANDRADE C, G. 1994. Estudio de conservación y biodiversidad de las mariposas en dos zonas de bosque primario y secundario en Colombia (Insecta: Lepidoptera). *SHILAP Revista Lepidopterológica*, 22 (86): 147 – 181.
- ANDRADE C, G. 1995. Monografía No. 1 *Actinote* (Nymphalidae: Acraeinae). En : Monografías de Fauna en Colombia N° 1 Nymphalidae: Acraeinae: *Actinote*. Bogotá, Instituto de Ciencias Naturales - Universidad Nacional de Colombia, 120 p.
- ANDRADE C, G. 2000. Biodiversidad y conservación de la fauna Colombiana. En: *Memorias del I Congreso Colombiano de Zoología*. Bogotá : En prensa.
- ANDRADE - C. G.; AMAT G. 1996. Estudio regional de las mariposas altoandinas en la cordillera Oriental de Colombia. *Revista Insectos de Colombia*, 7: 149-180.
- ANÓNIMO. 2003. Bosque seco/bosque subandino/bosque andino. [on line]. (2004a). [citado Marzo 15 de 2003]. p. 4. Disponible en internet: <http://www.sentir.org/zonas/index.html> >.
- BROWN, K. S. 1991. The conservation of neotropical environments: Insects as Indicator. In : *The conservation of Insect and their habits*. Academic Press, p. 449 – 504.
- BUSTILLO, A.; GUTIÉRREZ B. 1975. Ciclo de vida de *Leptophobia aripa* (Boisduval) (Lepidoptera: Pieridae) plaga del repollo y la Col. *Revista Colombiana de Entomología*, 1 (4): 1 – 5.
- CALLAGHAN. C. J. 1983. A study of isolating mechanisms among neotropical butterflies of the subfamily Riodininae. *Journal Research on the Lepidoptera*, 21 (3): 159 – 176.
- CHEW, F. S. 1995. From weeds to crops: Changing habitats of pierid butterflies (Lepidoptera: Pieridae). *Journal of the Lepidopterologist Society*, 49 (4): 285 – 303.
- CONSTANTINO, L. M. 1996. Ciclos de vida y plantas hospederas de lepidópteros diurnos con potencial económico en condiciones de colinas bajas del Choco Biogeográfico. Cali : Fundación Herencia Verde, p. 75 – 86.
- CONNELL, J. H. 1978. Diversity in tropical rainforest and coral reefs. *Science* No. 199: 1302 – 1310.
- DEVRIES, P. J. 1987. *The butterflies of Costa Rica and their Natural History*. Nueva Jersey : Princeton, p. 327.
- DENNIS, R. L. H. 1998. Butterflies and climate change. Manchester University Press, Manchester UK: An empirical test of Rapoport's rule: elevational gradients in montane butterfly communities. *Ecology*. 79 (7): 2482 – 2493.
- ERELLI, M. C., AYRES, M. P.; G. K. EATON. 1998. Altitudinal patterns in host suitability for forest insects. *Oecology*. 117: 133 – 142.
- ESQUIVEL, M. E. 1993. Taxonomía de las angiospermas (Magnoliopsidas y Liliopsidas). Ibagué : Facultades Agronomía y Biología y Química, p. 265.
- FAGUA, G. 1999. Variación de las mariposas y hormigas de un gradiente altitudinal de la cordillera Oriental (Colombia).: *Revista Insectos de Colombia*, 2: 318 – 363.
- FAGUA, G., AMARILLO A.; ANDRADE C., G. 1993. Mariposas como indicadores del grado de intervención en la cuenca del río Pato (Caquetá – Colombia). En : "Estudios ecológicos y temáticos de insectos colombianos No 2". *Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 13: p. 285 – 315.

- FIEDLER, K. 1991. Systematic, evolutionary and ecological implications of myrmecophily within the Lycaenidae (Insecta: Lepidoptera: Papilionoidea). Bonn. Zool. Monogr, 31: 210.
- GARCÍA ROBLEDÓ, L., CONSTANTINO, M., DOLORES M.; KATAN, G. 2002. Mariposas comunes de la cordillera Central de Colombia. Programa de Colombia - Wildlife Conservation Society. Cali : Feriva, 2002. 122 p.
- HERNÁNDEZ, J., ORTIZ, R., WALSCHBURGER, T.; HURTADO, A. 1992. Estado de la biodiversidad en Colombia. En : La Diversidad Biológica de Iberoamerica I. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el desarrollo. s.l. (CYTED - D), p. 41.
- INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO, ICA. 1987. Guía para el control de plagas. Manual de asistencia técnica. Tibaitatá, Bogotá, 401 p.
- JANZEN, D. H. 1967. Why mountain passes are higher in the tropics. Am. Nat. 101: 233 – 249.
- LAMAS, G. 2004. Atlas of Neotropical Lepidoptera. Volume 5A. Checklist: Part 4A: Hesperioidea – Papilionoidea. Association for Tropical Lepidoptera, Gainesville, Florida, USA. 439 p.
- LAWTON, J. H. 1983. Plant architecture and diversity of phytophagous insects. Annual Review of Entomology, 28: 23 – 39.
- LLORENTE – BOUSQUETS, J. 1983. Sinopsis sistemática y biogeográfica de los Dismorphinae de México con especial referencia al género *Enantia* Hübner (Lepidoptera: Pieridae). Folia Entomológica Mexicana, 58: 205.
- MACARTHUR, R. H.; WILSON, E. O. 1967. The theory of island biogeography. Princeton University Press. Princeton New Jersey. (1967). USA. In : Animal species diversity driven by habitat heterogeneity/ diversity: the importance of keystone structures. Journal of Biogeography. No. 31 (2004); p. 79 – 92.
- MACOY, E. D.; BELL, S. S. 1991. Habitat structure: the evolution and diversification of a complex Topic. Habitat structure: the physical arrangement of objects in space, p. 3 – 27 In : Animal species diversity driven by habitat heterogeneity/ diversity: the importance of keystone structures. Journal of Biogeography. No. 31 (2004); p. 79 – 92.
- POLLACK, C. J. 1990. The response of plants to temperature. J. Agric. Sci. No. 155, p. 1 – 5. In : Altitudinal patterns in host suitability for forest insects. Oecology . No. 117 (1998); p. 133 – 142.
- RODRÍGUEZ, C., L. A. RAMÍREZ, D. LARGO. 2000. Lepidópteros diurnos (Rhopalocera) del relicto vegetal "Cedro Rosado" de la Universidad del Quindío, Armenia. Revista de Investigaciones. Armenia, 9: 15 – 23.
- SCUBLE, M. J. 1991. Mariposas y polillas. En: Insectos y otros invertebrados. Animales del mundo. Editorial Folio. 153 p.
- SINGER, M. C. 1971. Evolution of food – plant preferences in the butterfly *Euphydryas editha*. Evolution. Vol. 25; p. 383 – 389. In : The ecology and ethology of the tropical butterfly *Victoriana epaphus*. I. Life cycle and natural history. J. Lepid. Soc. No. 26 (1972); p.155 – 170.
- SOMME, L. 1989. Tolerance to low temperatures and desiccation in insects from Andean paramos. Artic and Alpine Research. Vol. 18, No. 3. p. 253 – 257. En : Estudio regional de las mariposas altoandinas en la cordillera Oriental de Colombia. Revista Insectos de Colombia, 7 (1996); p. 149-180.
- TOBAR, L. 2000. Diversidad de mariposas (Lepidoptera: Rhopalocera) en la parte alta de la cuenca del río el Roble (Quindío) y sus hábitos de polinización. Bogotá, Tesis de grado (Biólogo). Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias. Departamento de Biología, 180 p.

## Bioindicadores en agroecosistemas cafeteros

Zulma Nancy Gil Palacio, Ing. Agr.

Asistente de Investigación, Disciplina de Entomología, Cenicafé, Chinchiná; correo e.: zulma.gil@cafedecolombia.com

En Colombia, la región Andina, en donde se encuentra concentrada una gran parte de la población humana, ha sido una de las áreas más afectadas por la transformación de los ecosistemas naturales. Las laderas andinas han sufrido un proceso intenso y extenso de conversión de bosques en potreros, cultivos y zonas urbanas. Esta transformación ha sido especialmente severa en los valles interandinos y en los pisos bajos y medios, en donde se localizan las zonas llamadas ganaderas y cafeteras. Además, estas áreas están pobremente representadas en el sistema de parques naturales y reservas en el país, lo cual agrava su estado de conservación. Sin embargo, un gran interés ha surgido recientemente por la biodiversidad en regiones agrícolas, posiblemente motivado por la magnitud de la pérdida de biodiversidad y por el creciente interés por productos agrícolas ambientalmente sostenibles (Duran *et al.* 2004).

El café fue por más de un siglo el principal producto de la economía nacional y por tanto, uno de los que mayor incidencia ha tenido en el desarrollo económico de Colombia (Junguito *et al.* 1993). Las zonas cafeteras se han localizado en toda la región andina y Sierra Nevada de Santa Marta, en un rango altitudinal muy específico que puede variar entre las diferentes regiones. Estas regiones han experimentado un importante desarrollo agropecuario que ha venido acompañado de una alta ocupación humana y un intenso desarrollo urbano, industrial y vial. La caficultura en las tres últimas décadas ha experimentado importantes transformaciones debido a varios aspectos no relacionados.

De acuerdo al inventario cafetero, en Colombia el 33% del área en café corresponde a cultivos a plena exposición, el 39% a cafetales con sombrío, y el resto (28%) a cafetales con semisombra; estas proporciones varían marcadamente entre las regiones cafeteras del país; además, cada región presenta condiciones físicas, bióticas y abióticas y condiciones culturales que determinan potenciales y limitantes para la conservación de la biodiversidad (Botero, 2000).

La llamada revolución verde colocó la productividad por encima del ambiente y a pesar de sus logros medibles en resultados físicos, económicos y sociales dejó secuelas intolerables en su entorno, ya que los mismos se mantuvieron mediante un fuerte subsidio de insumos. La vulnerabilidad de los sistemas de producción se pone en evidencia cada vez que los subsidios deben ser interrumpidos. Es así que cuando un sistema requiere de altos insumos externos para funcionar la sustentabilidad del mismo está en juego (Viglizzo, 2001).

Numerosos autores coinciden en indicar que el uso de invertebrados como bioindicadores de biodiversidad constituye, por su abundancia y riqueza de especies, una herramienta a adoptar para evaluar los daños por la introducción de distintas prácticas en el agroecosistema (pesticidas, prácticas agronómicas, fertilizantes químicos, y monocultivos).

En los últimos años, los insectos se han constituido en el taxón bioindicador más confiable para la evaluación de los cambios ocasionados por la actividad humana, pues son mucho más sensibles a cambios ambientales que las aves, mamíferos y plantas (Aldana y Chacón de Ulloa, 1999). Es así

como algunos taxa de insectos han sido propuestos como grupos indicadores de biodiversidad y de deterioro ambiental. Entre estos están los Coleoptera: Cicindellidae (Pearson 1993, Pearson y Cassola, 1992), Lepidoptera: Heliconiinae e Ithomiinae, e Hymenoptera: Formicidae.

Los bioindicadores son grupos de especies o grupos taxonómicos que con su presencia pueden indicar el estado de la biota en cuanto a parámetros como biodiversidad y biogeografía o grado de intervención humana (Kremen, 1993); el uso de estas especies indicadoras ahorra tiempo, dinero y esfuerzo en trabajos de prospección y vigilancia ecológica, constituyéndose en una herramienta de primera mano para el análisis ambiental (Pearson 1993, Pearson y Cassola, 1992).

Los bioindicadores pueden ser clasificados de acuerdo al nivel de organización biológica (composición química, síntoma de daño, presencia o ausencia de especies, estructura de la comunidad) y a su sensibilidad y resolución (Van Straalen, 1998).

La desaparición de una simple especie desde un paisaje puede ser consecuencia de una serie de eventos combinados que incluyen el colapso de la población, las prácticas de preparación del suelo, las dimensiones del paisaje y la contaminación (Burel, 1995).

En la zona cafetera se han desarrollado varias investigaciones con insectos y aves encaminadas a evaluar como las prácticas agronómicas aplicadas durante el proceso de producción de café afectan la biodiversidad, varios organismos han sido estudiados como bioindicadores: las mariposas diurnas, las hormigas los coleópteros: Scarabaeidae y las aves.

Valencia *et al.* (2005) utilizaron las mariposas diurnas como bioindicadores en el cultivo del café y reportan que el café bajo sombrío es el que alberga mayor riqueza de especies (número de especies) comparado con los sistemas de café a libre exposición y bosque. En la unidad paisajística sombrío, se registraron 6993 individuos distribuidos en 163 especies, mientras que en la unidad bosque fue inferior con un registro de 4959 individuos en 106 especies; el número de individuos que se registraron en la unidad paisajística café a libre exposición fue de 6138 distribuidos en 140 especies.

En el mismo estudio se encontró que la mayor diversidad y mejor uniformidad en la distribución de las especies se presenta en los cafetales bajo sombrío y la menor en los relictos de bosque pero la equidad es mayor para el bosque seguida por el cafetal a libre exposición y por último el cafetal bajo sombrío (Tabla 1).

**Tabla 1. Índices calculados (Riqueza, Diversidad y Equidad) de las tres unidades paisajísticas.**

ÍNDICE	Bosque	Sombrío	L. exposición
Margalef	12,3	18,3	15.9
Shannon	3,38	3,92	3,51
Simpson's	0,0553	0,0364	0,0513
Hill's N0	106	163	140
Hill's N1	30	50	34
Hill's N2	18	28	20
Equidad E5	0,5998	0,5365	0,5681



Otro de los grupos estudiados en la zona cafetera es el de las hormigas, con el fin de conocer las comunidades de hormigas presentes en áreas específicas ya que han sido consideradas ecológicamente especiales dadas sus propiedades como indicadores de biodiversidad (Roth *et al.* 1994). La diversidad de hormigas puede reflejar la naturaleza de la vegetación, las condiciones físicas y posiblemente la variedad de otros invertebrados que están presentes en una área dada (Andersen y Majer, 1991).

Duran *et al.* (2003) desarrollaron la caracterización de hormigas en paisajes cafeteros de Colombia; los resultados indicaron que el 60% de las especies de hormigas presentes en los bosques también están presentes en cafetales de sombrío y el 62% en café con sombra en cañada. Estadísticamente no encontraron diferencias significativas entre la riqueza de especies de cada elemento (bosque secundario, café con sombra, café en cañada, café a libre exposición, potrero con rastrojo y potrero limpio), igualmente se observó que existe un número alto de especies de hormigas en los cafetales a libre exposición que son compartidas con los otros elementos del paisaje.

En otros estudios realizados por Vélez *et al.* (2004) reportan que los cafetales albergan una gran diversidad de especies (137) presentándose la mayor diversidad en los fragmentos de bosque pero la mayor dominancia en los cafetales a libre exposición.

En otro estudio realizado por Gil *et al.* (2002) con coleópteros de la familia Scarabaeidae con el fin de evaluar el efecto del endosulfan sobre la diversidad de artrópodos de la zona cafetera se encontró que es mayor el número de individuos en los sistemas sin aplicación de insecticidas y bajo sombrío con 624 individuos (369 bajo sombrío y 255 a libre exposición) pero la distribución de las abundancias entre las especies es más equitativa en los sistemas con aplicación de insecticidas, porque la dominancia la comparten varias especies, contrario a lo que ocurre en los sistemas sin aplicación. Los sistemas sin aplicación, con sombra y a libre exposición comparten el 80,1% de las especies y estos a su vez comparten el 52, 1% de las especies con el sistema con aplicación a libre exposición.

Igualmente se han realizado estudios utilizando las aves como indicadores de la calidad del hábitat, ya que es un grupo muy diverso, fácil de estudiar algunas son sensibles a las alteraciones o disturbios como los causados por la deforestación. La presencia o ausencia de ciertas especies de aves dará información sobre la salud o el estado del medio ambiente en cada región y permitirá desarrollar programas de conservación y recuperación. Las aves conforman un grupo de especies que ocupan muchos nichos ecológicos y que pueden ser identificadas con relativa facilidad por su apariencia o sus cantos. Además, muchas especies pueden ser censadas utilizando un solo método de muestreo (Botero y Lentijo, 2004).

Se han estudiado las aves en diferentes componentes del paisaje cafetero: cafetales con diferentes tipos de sombríos, fragmentos de bosque y en rastrojos. Se ha examinado el uso que las aves hacen de corredores entre fragmentos de bosque y la distribución y el estado de las especies en una región particular; de estos estudios se ha concluido que algunos tipos de cafetales con sombrío son habitados por muchas especies de aves y que además, en esos árboles de sombrío muchas aves migratorias encuentran alimento y refugio durante su estadía en el trópico, se concluyó también que los fragmentos de bosque y rastrojo y las cañadas arborizadas tienen un valor especial para la conservación de muchas aves cuyas poblaciones han sido gravemente diezmadas (Botero y Lentijo, 2004).

De los anteriores estudios se puede concluir que el cultivo del café es un agroecosistema ecológicamente sostenible siempre y cuando se desarrollen prácticas agronómicas adecuadas y se haga uso racional de insecticidas, contrario a lo que afirman autores como Vélez y Constantino (1982) que con la tecnificación de la caficultura la biodiversidad y en especial la de mariposas diurnas se ha ido desapareciendo debido a que se ha talado el bosque original.

Las cañadas arborizadas que se contemplan en las orillas de los cafetales albergan una gran diversidad no solo de insectos sino también de vegetación (plantas parasitas, enredaderas etc.), aves entre otros.

Los fragmentos de bosque existentes en la región cafetera se constituyen en verdaderos reservorios de la diversidad biológica, con efectos muy importantes dentro de la fauna insectil de cafetales y áreas productivas agrícolas cercanas.

La vegetación acompañante del café en especial las arvenses brinda refugio y alimentación a la fauna en especial a la benéfica.

## Literatura Citada

- ALDANA, R.; CHACÓN de U., P. 1999. Megadiversidad de hormigas (Hymenoptera: Formicidae) de la cuenca media del río Calima. *Revista Colombiana de Entomología*. 25 (1-2): 37- 45.
- ANDERSEN, A. N.; MAYER, J. D. 1991. The estructura and biogeography of rainforest ant communities in the Kimberley region of northwestern Australia p. 336-346. En: MACKENZIE, N. L.; JOHNSTON, R. B.; KENDRICH, P. J. (eds.), *Kimberley Rainforests of Australia*. Surrey Beatty and Sons, Chipping Norton, NSW.
- BOTERO E, J. E. 2000. Oportunidades de conservación en la zona cafetera colombiana. En: FORO INTERNACIONAL CAFÉ Y BIODIVERSIDAD (Agosto 10 - 11, 2000: Chinchiná, Colombia). *Memorias del Foro Internacional Café y Biodiversidad*. Chinchiná, Colombia: Cenicafé - Colciencias - Instituto Humboldt. s.p.
- BOTERO E., J. E.; LENTIJO J., G. M.; ORREGO S., O. A. 2004. Biodiversidad. *Biocarta (Colombia) No. 1:1-4*. 2004.
- BUREL, F. 1995. Ecological patterns and processes in European Agricultural landscape. *Landscape and urban planning* 31: 1-412.
- DURAN, S. M.; GARCÍA C, R.; VÉLEZ, J. G.; ECHEVERRY A, O. A.; BOTERO E, J. E. 2004. Caracterización de la biodiversidad en paisajes rurales cafeteros. Informe. Chinchiná-Cenicafé. 127 p.
- GIL P., Z. N.; POSADA F., F. J.; BUSTILLO P., A. E. 2002. Evaluación del efecto de endosulfan sobre la diversidad de artrópodos de la zona cafetera. In: CONGRESO de la Sociedad Colombiana de Entomología, 29. Montería (Colombia), Julio 17-19, 2002. Resúmenes. p. 81.
- JUNGUITO, B. R.; PIZANO, S. D. 1991. Producción de café en Colombia. Fedesarrollo Fondo Cultural Cafetero. Santafé de Bogotá. 320 p.

- KREMEN, C.; COLWELL, R. K.; ERWIN, T. L.; MURPHY, D. D.; NOSS, R. F.; SANTAYAN, M. A. 1993. Terrestrial arthropod assemblages: Their use in conservation planning. *Conservation biology* (Reino Unido), 7(4): 796 – 808.
- PEARSON, D. L.; CASSOLA, F. 1992. World wide species richness patterns of tiger beetles (Coleoptera: Cicindelidae): indicator taxon for biodiversity and conservation studies. *Conservation Biology*, 6 (3): 376-390.
- PEARSON, D. L. 1993. Insectos y conservación: una nueva frontera. En: V CONGRESO LATINOAMERICANO Y XII VENEZOLANO DE ENTOMOLOGÍA (Julio 4 – 8, 1993: Paríamar, Venezuela). Resúmenes del V Congreso Latinoamericano y XII Venezolano de Entomología. Paríamar, Venezuela, p. 245.
- ROTH, D. S.; PERFECTO, I.; RATHCKE. 1994. The effects of management systems on groundforaging ant diversity in Costa Rica. *Ecological Applications* 4: 423-436.
- VALENCIA M, C. A.; GIL P, Z. N.; CONSTANTINO, L. M. 2005. Mariposas diurnas de la zona Central Cafetera Colombiana. Chinchiná (Colombia), Cenicafé, 244 p.
- VAN STRAALLEN, N. M., 1998. Evaluation of bioindicator systems derived from soil arthropod communities. *Applied soil Ecology* 9:429-437.
- VELEZ H., M.; PRIETO H., S.; GONGORA B., C. E. 2004. Diversidad de hormigas en la zona central cafetera colombiana. In: CONGRESO de la Sociedad Colombiana de Entomología, 31. Bogotá (Colombia), Julio 28-30, 2004. Resúmenes. Bogotá (Colombia), SOCOLEN, : p. 78.
- VELEZ, J F.; CONSTANTINO, E. 1989. El Encanto de las Mariposas de Colombia. *Albúm Renacer*, Material didáctico, Bogotá. D. C. 64 p.
- VIGLIZZO, E., 2001. La trampa de Malthus. Agricultura, competitividad y medio ambiente en el siglo XXI. 1º Edición. Ed. Universitaria de Buenos Aires. 189 p.

## La especiación de insectos a través de las zonas de hibridación

Clara Saldamando, Biol., Ph. D.

Corpoica, Nataima, Manejo integrado de Plagas. Correo e.: saldamando@yahoo.com

### Introducción

El tema de esta presentación se basa en el estudio de la evolución de las barreras de aislamiento reproductivas entre *Chorthippus brunneus* y *C. jacobsi*, dos especies de saltamontes que se encuentran estrechamente emparentadas y cuyos rangos se encuentran en la naturaleza produciendo una zona de hibridación mosaica y bimodal en España (Bridle *et al.* 2001, 2002, Bailey *et al.* 2003, 2004, Saldamando *et al.* 2005 a y b). Para llevar a cabo este estudio, un carácter importante del aislamiento reproductivo entre estas dos especies fue tomado en cuenta: el canto de los machos ("male calling song"), el cual utilizan para atraer a las hembras antes de aparearse. Este estudio se concentró en el análisis de las bases genéticas del canto entre estas dos especies (Saldamando *et al.* 2005 b). Otro aspecto importante de esta investigación fue el aislamiento ecológico y temporal, ambos de tipo parcial, entre *Chorthippus brunneus* y *C. jacobsi* en esta zona de hibridación, lo cual aparentemente sugiere que el aislamiento precigótico juega un papel importante en la estructura de esta zona de contacto (Bailey *et al.* 2004, Saldamando *et al.* *in press*). Sin embargo, más interrogantes surgieron durante el desarrollo de esta investigación, tales como la importancia del aislamiento postcigótico y la producción de un nuevo programa de computador escrito para analizar las diferencias entre los cantos de estas dos especies y sus híbridos (Saldamando *et al.* 2005b).

### El proceso de especiación

El estudio de la especiación (origen de nuevas especies) ha sido una de las áreas más intensamente estudiadas en el campo de la biología evolutiva, e información substancial existe sobre el origen de las especies y sobre las fuerzas evolutivas que conllevan a la especiación (Turelli *et al.* 2001). El concepto de especie más ampliamente aceptado y difundido en la biología evolutiva, es el concepto biológico de especie (Mayr 1942), en el cual la evolución de organismos diploides sexuales está relacionada con "barreras de aislamiento reproductivo que previenen el flujo genético entre individuos de diferentes especies, pues estas no se reconocen como especies entre sí" (Mayr 1942).

### Tipos de aislamiento reproductivo

El aislamiento reproductivo previene la formación de híbridos entre las especies (Dobzhansky 1937) y éste ha sido clasificado dentro de dos categorías: precigótico (antes de la formación del cigoto) y postcigótico (después de la formación del cigoto) (Dobzhansky 1937, Mallet 1995, Turelli *et al.* 2001). Las barreras de aislamiento precigótico se han dividido en diferentes categorías: temporal (las dos especies o taxa se reproducen en diferentes épocas), espacial (los taxa habitan en diferentes hábitats o nichos), etológico (hembras y machos de los taxa no se reconocen comportamentalmente al momento de aparearse) y gamético (incompatibilidad química de los gametos de los taxa que intentan aparearse). Por otro lado, el aislamiento postcigótico presenta los siguientes casos: inviabilidad híbrida, esterilidad híbrida y break down híbrido (los híbridos presentan un menor "fitness" con respecto a sus especies parentales) (Dobzhansky 1937).

## Zonas de hibridación y especiación

La especiación puede ser estudiada desde diferentes perspectivas biológicas. Por ejemplo, cuando se encuentran patrones de variación genética a través del tiempo y son analizados por medio de la cladística, en la cual, el investigador busca caracteres homólogos (misma función y origen) entre las especies ancestrales y descendientes, produciendo un árbol filogenético (Brooks *et al.* 1988). Por otro lado, la especiación también puede estudiarse cuando se observan patrones de variación en el espacio de las especies que se encuentran en la naturaleza, donde las zonas de hibridación se producen (Harrison 1990). Estas zonas de contacto son "*ventanas del proceso evolutivo*" (Harrison 1990) por que ellas nos permiten estudiar la evolución de las barreras de aislamiento precigótico y postcigótico *in situ* (Hewitt 1993).

Es también importante tener en cuenta que, las zonas de hibridación son excelentes repertorios para el estudio de la genética de la especiación, dado que a través de ellas se pueden analizar las bases genéticas de los caracteres relacionados con el aislamiento reproductivo (p. e. canto de los machos, comportamiento de preferencia de las hembras, esterilidad híbrida, entre otros) (Butlin y Ritchie 1994, 2001) y determinar cuántos genes controlan estos caracteres (Barton y Gale 1993) y cómo se interrelacionan (Turelli *et al.* 2001). En el caso de las zonas de tensión, el investigador también puede estimar el tiempo evolutivo de divergencia entre las especies que conforman la zona de contacto, la fuerza de la selección natural en contra de los híbridos y la tasa de dispersión de las especies parentales que hibridan (Barton y Hewitt 1985, Szymura y Barton 1991, Barton y Gale 1993). Por todas estas razones, las zonas de hibridación son consideradas "*laboratorios naturales*" (Barton y Hewitt 1989).

## *Chorthippus brunneus* y *C. jacobsi*, las especies del presente estudio

*Chorthippus brunneus* y *C. jacobsi* son dos especies de saltamontes que están cercanamente emparentadas y pertenecen al grupo *Biguttulus* (Ragge 1987). La evolución de este grupo y la fauna Europea en general ha sido especulada con la existencia de los refugios del Pleistoceno (Hewitt 1993). Se ha sugerido que las especies del grupo *Biguttulus* debieron haber divergido desde la última glaciación, aproximadamente hace 20.000 millones de años. Una reconstrucción de la fauna y flora en las líneas costeras de Europa realizada por Ragge (1987) muestra que la vegetación de esa época era de tipo tundra y que todas las condiciones ecológicas eran de este tipo en Europa occidental. Estas condiciones fueron desventajosas para los ortópteros y por ello, éstos se desplazaron a las penínsulas Ibérica, Italiana y a los Balcanes. *C. brunneus* es frecuentemente encontrado en el norte de Europa y esta especie se encuentra en simpatria (mismas localidades) con su especie hermana *C. biguttulus*. Por el contrario, *C. jacobsi* no está tan ampliamente distribuida en Europa, por que es endémica de la península Ibérica (Ragge 1987, 1990).

*C. brunneus* y *C. jacobsi* son especies recientes dado que el valor de su coeficiente de aislamiento precigótico  $I=0.59$  (Bailey 2001) es muy similar a una especie emparentada *C. parallelus* ( $I=0.50$ ) (Ritchie *et al.* 1989), pues las dos subespecies de *C. parallelus* se caracterizan por tener un tiempo de divergencia de 500.000 años (Bailey 2001). *C. brunneus* y *C. jacobsi* son idénticas morfológicamente, aunque ellas difieren en su patrón de canto y en el número de púas de sus patas posteriores (Ragge y Reynolds 1988). *C. brunneus* tiene alrededor de 70 púas, mientras que *C. jacobsi* tiene alrededor de 110 (Bridle *et al.* 2001). Sin embargo, aunque las púas están involucradas en la producción del canto, las diferencias temporales en el canto no son generadas

por el número de púas de estas especies, sino por las diferencias comportamentales de éstas, pues no se ha encontrado una correlación entre estos dos caracteres (Butlin y Hewitt 1988<sup>a</sup>, Saldamando *et al.* 2005 b), por ello se cree que la evolución de las púas se produjo de manera neutral (Bridle 1998, Bridle *et al.* 2001, 2002).

Las especies del grupo *Biguttulus* tienen tres tipos de cantos: el canto de los machos (male calling) para atraer a las hembras en el campo, el canto de apareamiento producido por los machos antes de la cópula y el canto de rivalidad, que se produce cuando los machos son perturbados en la naturaleza (Perdeck 1958). En el caso de *C. brunneus* y *C. jacobsi* la divergencia del canto del macho (male calling song) ha atraído mucho la atención de los investigadores dado que este carácter ha evolucionado drásticamente y rápidamente entre estas dos especies (Bridle *et al.* 2001, 2002). Tres componentes del canto han sido importantes para la identificación de estas dos especies y sus híbridos: longitud del canto (echeme length), longitud de la sílaba (syllable length), coeficiente de variación de la longitud de la sílaba y (Bridle *et al.* 2002) y longitud de la frase (phrase length) (Saldamando *et al.* 2005b). Todos ellos son más cortos y menos complejos en *C. brunneus* que en *C. jacobsi* y los híbridos producen valores intermedios entre ellos (Saldamando *et al.* 2005b).

La zona de hibridación entre *C. brunneus* y *C. jacobsi* ha sido descrita como de tipo mosaico y bimodal por Bridle *et al.* (2001, 2002). El mosaicismo se explicó a través de una desviación de los datos de la zona de los típicos modelos de las zonas de tensión, pues los valores de covarianzas y varianzas en esta zona de hibridación son mayores que los valores esperados en una zona de tensión (Bridle *et al.* 2001, 2002). En una típica zona de tensión altos valores de varianzas y covarianzas se encuentran en el centro de la zona de contacto, pues allí están los híbridos (Barton y Gale 1993), pero por el contrario en la zona de hibridación entre estos dos saltamontes, altos valores de ambas variables se encontraron en toda la zona (Bridle *et al.* 2001, 2002, Saldamando *et al.* *In press*). Más aún, en muestreos realizados por Bridle *et al.* (2001, 2002), Bailey *et al.* (2004) y Saldamando *et al.* (*in press*) se encontraron poblaciones donde ambas especies coexistían sin aparearse, y poblaciones donde individuos de tipo *C. brunneus* o *C. jacobsi* fueron encontrados, al primer tipo de población se le llamó bimodal y al segundo unimodal (Saldamando *et al.* *In press*).

Clinas para el número de púas y el canto de los machos fueron modeladas por Bridle *et al.* (2001, 2002) quienes encontraron un ancho de 5 km para el primer carácter y de 2 km para el segundo. Los autores explicaron que estas diferencias podrían darse dado que los genes de ambos caracteres no se encuentran ligados y por que debe existir un efecto de selección natural más fuerte para el canto que para el número de púas. Bridle *et al.* (2001, 2002) también estimaron el flujo genético de esta zona de hibridación entre 0.11 a 0.16 km/gen<sup>-0.5</sup>. Además, Bridle (1998) también analizó las diferencias moleculares entre estas dos especies usando microsatélites y DNA mitocondrial y él no encontró una clara divergencia genética entre estas dos especies que estuviera relacionada con un evento biogeográfico. La baja divergencia genética encontrada por Bridle (1998) no es sorprendente dado que en varios estudios bioquímicos y moleculares (aloenzimas (Hewitt 1993), RFLP'S (Manson *et al.* 1995) en otras especies emparentadas el mismo género no se encontraron grandes diferencias genéticas entre ellas.

En otros estudios realizados en esta zona de hibridación por Bailey *et al.* (2003) se llevaron a cabo estudios de dispersión de estos saltamontes basados en el método de marca - recaptura a partir del cual ellos encontraron una medida de dispersión directa de 30 m por generación. Bailey *et al.* (2003) argumentan que los estimativos indirectos de flujo genético realizados por Bridle *et al.* (2001)

no son aptos para esta zona de contacto dado que se basaron en modelos erróneos de zonas de tensión para calcularlo. Además, Bailey *et al.* (2004) también estudiaron el origen del mosaicismo de la zona de contacto en un área pequeña de la zona en la que encontraron aislamiento ecológico y temporal parcial entre estas dos especies pues los individuos tipo *C. brunneus* se encontraron casi exclusivamente en los valles y a finales del verano, mientras que *C. jacobsi* se encontró más frecuentemente en valles y montañas y a principios del verano.

## El presente estudio

El tema principal de esta investigación esta basado en cruces entre estas dos especies para responder preguntas relacionadas con a) el efecto del aislamiento reproductivo de tipo endógeno entre estas dos especies (Saldamando *et al.* 2005 a, b) las bases genéticas de la divergencia en el canto de estas dos especies y por lo tanto la genética de la especiación y finalmente en realizar muestreos en las montañas Cantábricas para evaluar c) el efecto de la asociación al hábitat y estacionalidad en la estructura de esta zona de contacto, para así encontrar explicaciones sobre la estructura de ésta zona mosaica y bimodal (Saldamando *et al.*, *in press*).

## Literatura Citada

- BAILEY, R. I. 2001. Coexistence in a mosaic overlap zone in *Chorthippus* grasshoppers. Ph. D. thesis University of Leeds.
- BAILEY, R. I., M. E. LINEHAM, C. D. THOMAS; R. K. BUTLIN. 2003 Measuring dispersal and detecting departures from a random walk model in a grasshopper hybrid zone. *Ecological Entomology* 28: 129-138.
- BAILEY, R. I., C. D. THOMAS; R. K. BUTLIN. 2004. Premating barriers to gene exchange and their implications in a mosaic hybrid zone between *Chorthippus brunneus* and *Chorthippus jacobsi*. *J. Evolution. Biol* 17: 108-119.
- BARTON, N. H.; G. H., HEWITT. 1985. Adaptation, speciation and hybrid zones. *Ann. Rev. Eco. Sys.* 16: 113-148.
- BARTON, N. H.; K. S., GALE. 1993. Genetic analysis of hybrid zones. In *Hybrid and Evolutionary Process*. R. G. Harrison. Ed, Oxford University Press.
- BRIDLE, J. R. 1998. Spatial structure in a grasshopper hybrid zone. Ph. D. thesis. School of Biology, University of Leeds.
- BRIDLE, J. R., S. J. E. BAIRD; R. K. BUTLIN. 2001. Spatial structure and habitat variation in a grasshopper hybrid zone. *Evolution*. 55: 1832-1843.
- BRIDLE, J. R.; R. K. BUTLIN. 2002. Mating signal variation and bimodality in a mosaic zone between *Chorthippus* grasshopper species. *Evolution*. 56: 1184-1198.
- BUTLIN, R. K.; G. M. HEWITT. 1988. Genetics of behavioural and morphological differences between parapatric subspecies of *Chorthippus parallelus* (Orthoptera: Acrididae). *Biol. Jour. Linn. Soc.* 33: 233-248.
- BUTLIN, R. K.; M. G. RITCHIE. 1994. Behaviour and Speciation. P 43-79. In *Behaviour and Evolution*. P. J. B Slater and T. R. Halliday, Eds. Cambridge University Press.

- BUTLIN, R. K.; M. G. RITCHIE. 2001. Evolutionary biology: searching for speciation genes. *Nature*. 412, 31-33.
- DOBZHANSKY, T. 1937. *Genetics and the Origin of Species*. New York: Columbia Univ. Press.
- HARRISON, R. G. 1990. Hybrid zones: Windows on evolutionary process. *Oxford Surveys in Evolutionary Biology* (D. J. Futuyma and J. Antonovics, eds.) 7:69-128.
- HEWITT, G. M. 1993. After the ice: *Parallelus* meets *Erythropus* in the Pyrenees. In *Hybrid zones and the evolutionary process*. Oxford University Press, Inc.
- MALLET, J. 1995. A species definition for the modern synthesis. *Trends Ecol. Evol.* 10:294-299.
- MAYR, E. 1942. *Evolution and the diversity of life*. Belknap Press.
- ORR, H. A. 2001. The genetics of species differences. *Trends Ecol. Evol.* 16 (7): 343-350.
- PERDERCK, A. C. 1958. The isolating value of specific song patterns in two sibling species of grasshoppers (*Chorthippus brunneus* Thunb. and *C. biguttulus* L.). *Behaviour*. 12:1-75.
- RAGGE, D. R. 1987. Speciation and biogeography of some southern European Orthoptera, as revealed by their songs. In B. Baccetti, ed., *Evolutionary Biology of Orthopteroid Insects*, p 412-426. Ellis Horwood, Chichester.
- RAGGE, D. R.; W. J. REYNOLDS. 1988. Songs and taxonomy of the grasshoppers of the *Chorthippus biguttulus* group in the Iberian peninsula (Orthoptera: Acrididae). *Journal of Natural History*. 22: 897 - 929.
- SALDAMANDO, C. I., TATSUTA, H. AND R. K. BUTLIN. SALDAMANDO, C. I., TATSUTA, H.; R. K. BUTLIN. 2005. Hybrids between *Chorthippus brunneus* and *C. jacobsi* (Orthoptera: Acrididae) do not show endogenous postzygotic isolation. *Biological Journal of the Linnean society* 84:195-203.
- SALDAMANDO C. I., MIYAGUCHI S., TATSUTA H., KISHINO H, BRIDLE J; R. K. BUTLIN. 2005. Inheritance of song and stridulatory peg number divergence between *Chorthippus brunneus* and *C. jacobsi*, two naturally hybridising grasshopper species (Orthoptera: Acrididae). *Journal of Evolutionary Biology*. 18:703-712.
- TREGENZA T., V. L., PRITCHARD; BUTLIN R. K. 2000b. The origins of premating reproductive isolation: testing hypothesis in the grasshopper *Chorthippus parallelus*. *Evolution*. 54: 1687-1698.
- TURELLI M., N. H. BARTON ; J. COYNE. 2001. Theory and speciation. *Trends Ecol. Evol.* 16: 330-343.



## Generalidades del marco político internacional en material de colecciones biológicas

Yaneth Muñoz-Saba

Profesora Asociada, Instituto de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Colombia ydmunozs@unal.edu.co

Dada la relevancia que se presenta a nivel mundial por los temas referentes al valor de los recursos naturales y del medio ambiente se celebró en Río de Janeiro en 1992 La Cumbre de la Tierra. A partir de dicha Cumbre se han redefinidos una serie de protocolos y políticas a nivel internacional y nacional, con el fin de propender por el manejo adecuado tanto del acceso a los recursos genéticos, como del conocimiento tradicional y de las Colecciones Biológicas como centros de referencia taxonómica y reservorios de los recursos genéticos.

La Cumbre de la Tierra, se constituyó en el primer reconocimiento sobre este tema en donde se adoptaron acuerdos generales para la definición de medidas de diferente índole que a nivel local, regional y mundial propendan por el aprovechamiento racional y equitativo de los recursos. En este sentido y bajo la bandera del desarrollo sostenible de los pueblos, las delegaciones de 150 países firmaron el Convenio de Diversidad Biológica (1991), el cual se constituyó en el primer acuerdo global para la conservación y uso sostenible de la biodiversidad.

El Convenio pretende la conservación de la diversidad genética, biológica y ecosistémica incorporando el contexto socio-económico y el político a fin de orientar la generación e implementación de estrategias para el fortalecimiento de los recursos. Esto se establece mediante el uso de la información derivada del conocimiento científico sobre el estado y características de los diferentes componentes de la biodiversidad, de las interrelaciones entre cada uno de estos y de la forma como funcionan (Montenegro *et al.* 2005).

La investigación científica se constituye por ende, en uno de los instrumentos que permiten consolidar y orientar el proceso de toma de decisiones relacionado con los cambios de comportamiento orientados a la conservación de los recursos naturales y su aprovechamiento sostenible, ya que dicha información puede permitir la construcción de indicadores de manejo de la diversidad biológica al nivel nacional, regional y global (Montenegro *et al.* 2005).

El conocimiento de la biodiversidad no solo se obtiene por medio de evaluaciones *in situ*, sino también *ex situ*, a través de los especímenes depositados en las Colecciones Biológicas, las cuales según en Convenio de Diversidad Biológica se constituyen en la base de la información taxonómica de las especies identificadas en el planeta, así como en fuente de su información genética.

Por lo tanto, a partir de La Cumbre de la Tierra se replantearon y definieron una serie de políticas a nivel global no solo para la conservación de los recursos biológicos sino también para la conservación y manejo al acceso a estos recursos y al conocimiento tradicional.

### La Iniciativa Global en Taxonomía (GTI) del Convenio de Diversidad Biológica (CDB)

El propósito de la Iniciativa Global en Taxonomía (GTI, siglas en inglés) propuesta por el Cuerpo Subsidiario Científico de la CDB (SBSTTA) en 1996 es la de remover o reducir el impedimento taxonómico, o en otras palabras, los vacíos en conocimiento en el sistema taxonómico, incluyendo

aquellos asociados a los sistemas genéticos y, la escasez de taxónomos y curadores entrenados, ya que el impacto que dichas deficiencias se denota en la habilidad para conservar, usar y compartir los beneficios de la diversidad biológica.

El GTI ha sido establecido por la Conferencia de las Partes de la CDB con el fin de: (1) reducir la falta de información taxonómica y capacidad disponible en muchas partes del mundo, especialmente en el Neotrópico en algunos grupos focales, y (2) Propender por el fortalecimiento de la toma de decisiones en conservación, uso sostenible y distribución equitativa de los beneficios derivados de los recursos genéticos.

El GTI está compuesta por el secretario ejecutivo de la CDB, un consorcio del grupo coordinador de las agencias de las Naciones Unidas interesadas (UNEP, FO, UNESCO) y representantes de instituciones que trabajan en taxonomía en cada región. Los objetivos son: (1) promover e implementar el programa de trabajo del GTI, (2) definir puntos locales para la implementación del GTI, (3) proveer información actualizada acerca de los requerimientos legales para el intercambio de especímenes biológicos y sobre la legislación actual y reglamentos para acceder a la distribución equitativa de beneficios en términos de las necesidades para el GTI y, (4) iniciar la creación de redes nacionales y regionales para ayudar a las partes en sus necesidades taxonómicas en la implementación de la CDB.

### **Normativa Ambiental Colombiana**

La normativa en legislación ambiental en Colombia se remonta desde la década de 1970, a continuación se mencionan algunas de las reglamentaciones más relevantes:

- Acuerdo 38 de 1973, referente al Estatuto de Flora Silvestre (Artículo 8).
- Decreto Ley 2811, referente al Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y de Protección del Medio Ambiente.
- Artículo 51, sobre el derecho de "usar" los recursos naturales.
- Artículos 54, 56 al 58, sobre los permisos de estudio de los recursos naturales renovables.
- Artículo 258, sobre el funcionamiento de los jardines botánicos, zoológicos, colecciones de historia natural (herbarios, colecciones zoológicas), museos.
- Decreto 622 de 1977, referente al Sistema de Parques Nacionales Naturales.
- Artículo 33 de 1978, referente a las expediciones científicas para adelantar investigaciones de fauna y flora silvestre.
- Decreto 1608 de 1978, referente al Código en materia de fauna silvestre.
- Título V, Capítulo I el cual reglamenta el registro de las colecciones de historia natural y reglamenta la colección de especímenes biológicas y el intercambio relacionado con los ejemplares únicos (tipos).

- Decreto 1681 de 1978, referente al Código en materia de recursos hidrobiológicos.
- Ley 17 de 1981, referente a la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre (CITES).
- Ley 84 de 1989, referente al Estatuto Nacional de Protección a los Animales.
- Ley 13 de 1990, referente al Estatuto General de Pesca.
- Decreto 644 de 1990, referente a la investigación científica o tecnológica marina.
- Decreto 2256 de 1991, referente a la Ley 13 de 1990.

### **¿A partir de la CDB, qué se ha hecho en Colombia?**

A partir de La Cumbre de la Tierra se establece la Ley 99 de 1993, cuyo objeto principal es la creación del Ministerio del Medio Ambiente y la reorganización del Sistema Nacional Ambiental (SINA) y se establecen algunos lineamientos referente a la normativa tanto ambiental como de salud pública, así:

- Resolución 8430 de 1993, referente a la normativa para la investigación en salud.
- Ley 165 de 1994, referente al ámbito del Decreto sobre Diversidad Biológica, en el cual: “ la variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos entre otras cosas, los ecosistemas terrestres y marinos y otros ecosistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte; comprende la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y de los ecosistemas”.
- Decreto 1600 de 1994, referente a la normativa para las Colecciones (redes y criterios de colección) y la normativa acerca de los ejemplares únicos (tipo) y el canje de los duplicados.
- Decreto 1753 de 1994, referente a la normativa sobre las licencias ambientales.
- Ley 165 de 1994, referente al Convenio de la Diversidad Biológica (CDB).
- Decisión 391 de 1996, referente al régimen común sobre acceso a recursos genéticos.
- Ley 299 de 1996, referente a la protección de la flora y la reglamentación de los jardines botánicos.

A pesar de los esfuerzos realizados por el Instituto Nacional de los Recursos Naturales (INDERENA) y posteriormente por el Ministerio del Medio Ambiente, se sigue presentando una problemática a nivel ambiental, debido a: (1) el exceso en el número de normas y procedimientos que regulan la investigación en el país, (2) la limitada capacidad de control y seguimiento por parte de las autoridades competentes y, (3) la falta de mecanismos de divulgación e intercambio de información en material de investigación científica.

Por lo anterior el Ministerio del Medio Ambiente propuso las siguientes acciones a seguir: (1) revisión y ajuste del marco normativo con el fin de hacerlo ágil, eficiente y transparente y, (2) definición y adopción de mecanismos para su implementación.

Como resultado de esta autoevaluación ambiental realizada por el Ministerio surge el Decreto 309 de 2000, referente a la reglamentación de los permisos de investigación científica en diversidad biológica. En dicho Decreto los instrumentos políticos rectores fueron:

- La Convención CITES (1971), referente al comercio y la movilización de los especímenes biológicos.
- La CDB (1991), referente a la Iniciativa Global en Taxonomía.
- La Constitución Política Colombiana de 1991, referente a la promoción de la ciencia y la tecnología.
- La Política de Fauna Silvestre de 1997, referente a las colecciones de fauna silvestre y,
- La Política de Biodiversidad (1997), referente a las colecciones biológicas.
- A partir del Decreto 309 de 2000 las directrices de la normativa ambiental en Colombia es potestad del Ministerio del Medio Ambiente, excepto:
- EL Estatuto General de Pesca, Ley 13 de 1990, cuya competencia es del Instituto Nacional de Pesca (INPA).
- La Jurisdicción de las aguas marinas, Decreto 644 de 1990, cuya competencia es de la División de Investigación Marítima (DIMAR) y el Ministerio de Relaciones Exteriores y,
- La política de especies domésticas y humanas, que es competencia del Ministerio de Agricultura y el Ministerio de Protección Social, excepto cuando involucran especímenes o muestras de fauna y flora silvestre.

### **¿Qué mantiene el Decreto 309?**

- El permiso de investigación científica.
- La obligación de registrar colecciones.
- El canje de muestras biológicas. Tanto la exportación como la importación de material biológico se rige siguiendo lo propuesto en la Convención CITES (1971).
- El acceso a los recursos genéticos se rige con las disposiciones de la Decisión Andina 391 de 1996, la cual protege el conocimiento tradicional asociado con el recurso genético.

### **¿Qué deroga el Decreto 309?**

- El permiso de estudio de caza y/o recolección, el permiso de estudio ahora incluye todas las actividades de investigación científica.
- Los permisos individuales por cada investigación, ahora se establece un permiso único de investigación para las personas jurídicas.

- Los permisos de cada autoridad competente en el área del proyecto, ahora se establece un solo permiso por proyecto.
- Los salvoconductos de movilización por cada Corporación que ejerciera competencia en el área del proyecto, ahora los salvoconductos de movilización están incluidos en el permiso de investigación.
- No se establecía un término definido para que la actividad competente expidiera o negara el permiso y se optaba por el término establecido en el Código Contencioso Administrativo que es de tres (3) meses para que opere el silencio administrativo, ahora a partir de la presentación de la solicitud, con el lleno de los requisitos legales, la autoridad ambiental competente tiene un término de 30 días para otorgar o negar el permiso.
- Se prohibía la sesión de permisos de investigación.
- Se requería permiso del Ministerio del Medio Ambiente para importar o exportar muestras de material biológico, ahora se requiere autorización, únicamente con instituciones científicas extranjeras en calidad de préstamo o canje.
- Se prohibía la salida de tipos únicos del país, ahora se permite en calidad de préstamo.
- Existían excesivas condiciones para los extranjeros que pretendían desarrollar una investigación científica en el país, p. e. pólizas, cauciones, ahora solo deben involucrar coinvestigadores nacionales en sus proyectos.

### **¿Qué adiciona el Decreto 309?**

- La consulta previa con representantes de las comunidades tradicionales cuando se pretenda realizar algún proyecto de investigación en sus territorios, Ley 70 de 1993.
- Se da reconocimiento de los derechos de propiedad intelectual y confidencialidad en la investigación científica.
- Decreto 309 de 2000, exime a autoridades ambientales de obtener permiso de estudio.

### **¿Qué obliga el Decreto 309?**

- Presentar informes parciales y/o finales de las actividades, según lo disponga la autoridad ambiental.
- Tomar las muestras de especímenes o muestras de diversidad biológica sobre las cuales versa el permiso, en la cantidad autorizada, sin que puedas comercializarlas de ninguna forma.
- Depositar el material biológico, en los términos de vigencia del permiso, en una colección previamente registrada por el Instituto Alexander von Humboldt.
- Enviar al Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial copia de las publicaciones resultado de la investigación.

- Efectuar la publicación del encabezado y el pronunciamiento de la autoridad ambiental competente del formato, en un diario de amplia circulación nacional o local, copia de la misma se deberá allegar a la autoridad ambiental competente.

## **Problemática del Decreto 309 de 2000**

### ***¿Quién tramita el permiso de investigación?***

- Si el proyecto cubre varias jurisdicciones en principio el permiso es tramitado por el Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial o este según su criterio puede designar su autorización a la autoridad ambiental y/o áreas marinas, excepto la jurisdicción de CORALINA.
- Parques Nacionales (UAESPNN), cuando cubre jurisdicciones de áreas del Sistema de Parques Nacionales Naturales.
- Corporaciones Autónomas Regionales y autoridades ambientales de grandes centros urbanos y distritos con rango constitucional o legal en el área de jurisdicción.

### ***¿Por qué la consulta previa?***

La Consulta previa con Representantes de Comunidades Indígenas y Negras Tradicionales para Aprovechamiento de Recursos Naturales Renovables en sus Territorios, se debe hacer por que lo exige: (1) la Ley 21 de 1991, la cual aprobó el Convenio 169 OIT, (2) la Constitución Política, párrafo - artículo 330, (3) la Ley 70 de 1993, en sus artículos 8 y 17, (4) la Ley 99 de 1993, en su artículo 76, (5) el Decreto 1320 de 1998.

### ***El Decreto en Acceso a Recursos Genéticos***

El permiso de estudio no condiciona la autorización de acceso, para ello se debe solicitar permiso teniendo en cuenta lo estipulado en: (1) la Decisión Andina 391 de 1996; (2) el Convenio de Diversidad Biológica, Ley 165 de 1994; (3) la Decisión Andina 391 de 1996, la cual regula la temática a nivel subregional; (4) el Decreto 730 de 1997 en la cual se designa como Autoridad Nacional Designada al Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; y (5) la Resolución 620 de 2002, el cual se establece el procedimiento a seguir.

En conclusión se han derogado y creado normativas a nivel ambiental en Colombia con el fin de proteger los recursos naturales, el acceso a los recursos genéticos y el conocimiento tradicional, pero desafortunadamente nos hemos empantanado en tanto requerimientos que ahora se habla de la "ilegalidad en la investigación" en Colombia ya que es imposible llegar a acceder a un permiso de investigación y más aun a un permiso de acceso a recursos genéticos, más teniendo en cuenta que se entiende por *Acceso* como la "obtención y utilización de los recursos genéticos conservados en condiciones *ex situ* e *in situ*, de productos derivados o, de ser el caso, de sus componentes intangibles, con fines de investigación, prospección biológica, conservación, aplicación industrial o aprovechamiento comercial, entre otros", por lo tanto seguiremos siendo también en investigación científica un país tercermundista.

Terminó de imprimirse en el mes de  
julio de 2005 en los talleres de



[www.produmedios.com](http://www.produmedios.com)

Tel.: 288 5338

Bogotá, DC - Colombia