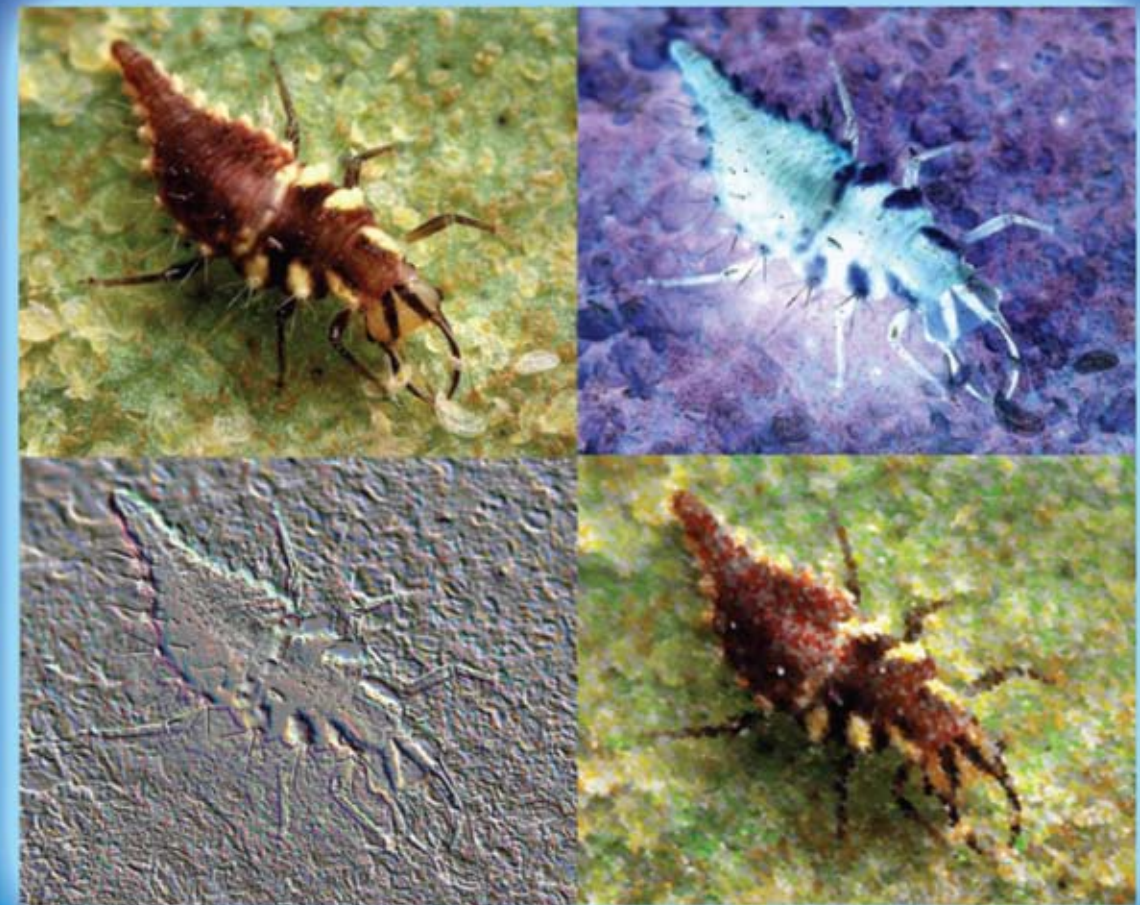


TEORÍA Y APLICACIÓN DEL  
**CONTROL  
BIOLÓGICO**



TEORÍA Y APLICACIÓN DEL  
CONTROL BIOLÓGICO

L. A. Rodríguez del Bosque  
H. C. Arredondo Bernal  
Editores

L. A. Rodríguez del Bosque  
H. C. Arredondo Bernal  
Editores

TEORÍA Y APLICACIÓN DEL  
**CONTROL**  
**BIOLÓGICO**

**L. A. Rodríguez del Bosque**  
**H. C. Arredondo Bernal**  
Editores

## TEORÍA Y APLICACIÓN DEL CONTROL BIOLÓGICO

No está permitida la reproducción total o parcial de este libro, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, por fotocopia, por registro u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito de los titulares de derecho de autor.

ISBN 978-968-5384-10-0

Derechos reservados © 2007

Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria

Insurgentes Sur No. 489, piso 16

Col. Hipódromo Condesa

C.P. 06100 México, D.F.

Diseño de portada e interiores: L. A. Rodríguez del Bosque

Primera Edición

Tiraje: 1,000 ejemplares

Impreso en México

Esta obra se terminó de imprimir en noviembre de 2007



Sociedad Mexicana de Control Biológico, A.C.

Mesa Directiva 2005-2007:

Presidente: *Hugo César Arredondo Bernal*

Vice-Presidente: *Jorge E. Ibarra Rendón*

Secretario: *Héctor González Hernández*

Tesorera: *María Cristina del Rincón Castro*

La cita correcta de este libro es:

Rodríguez-del-Bosque, L. A. y H. C. Arredondo-Bernal (eds.). 2007 Teoría y Aplicación del Control Biológico. Sociedad Mexicana de Control Biológico, México. 303 p.

## PRÓLOGO

El control biológico de organismos nocivos para la agricultura, ganadería y recursos naturales ha cobrado un renovado interés a nivel mundial durante las últimas dos décadas por razones económicas, ambientales y de salud humana. El estudio y aprovechamiento de los enemigos naturales (parasitoides, depredadores y patógenos) no es nuevo en México; sin embargo, el control biológico en nuestro país ha tenido un repunte importante en los últimos años como consecuencia de diversos factores, entre ellos la fundación en 1989 de la Sociedad Mexicana de Control Biológico (SMCB), la cual ha promovido el estudio, capacitación y transferencia de tecnología sobre esta disciplina a lo largo y ancho de la República Mexicana. Entre las acciones de capacitación de la SMCB, destaca el Curso Nacional de Control Biológico que organiza anualmente desde 1990. Así, el XVIII Curso se imparte del 11 al 13 de noviembre de 2007 en la bella ciudad de Mérida, Yucatán, con el apoyo de diversas organizaciones e instituciones. Este libro reúne las ponencias que prestigiados instructores del XVIII Curso han elaborado como apoyo didáctico a los capacitandos. Agradecemos cumplidamente a todos los instructores de México, E.U.A. e Italia por su participación en este curso y en los documentos que aquí se plasman.

El libro se compone de 18 capítulos en cuatro secciones. En la primera sección (Fundamentos) se incluyen los capítulos: 1. Introducción, Filosofía y Alcance del Control Biológico; 2. Fundamentos Ecológicos del Control Biológico; 3. Importancia de la Sistemática en Control Biológico; y 4. Métodos de Evaluación de Enemigos Naturales. La segunda sección (Parasitoides y Depredadores), la componen los capítulos: 5. Biología, Ecología y Etología de Parasitoides; 6. Depredación entre Artrópodos; 7. Uso de Depredadores para el Control Biológico de Plagas en México; y 8. Perspectivas del Uso de Raphidioptera y Neuroptera Coniopterygidae como Agentes de Control Biológico. En la tercera sección (Entomopatógenos) se incluyen los capítulos: 9. Hongos Entomopatógenos; 10. Uso de Bacterias en el Control Biológico; 11. Bioinsecticidas Virales; y 12. Bioseguridad de Agentes de Control Microbiano. Por último, la cuarta sección (Estudios de Caso) la integran los capítulos: 13. Control Biológico de Maleza; 14. Control Biológico de Insectos Plaga en el Sureste de México; 15. Control Biológico de Langostas y Saltamontes; 16. Control Biológico de la Cochinilla Rosada del Hibiscus *Maconellicoccus hirsutus* (Hemiptera: Pseudococcidae); 17. Enfoques y Tendencias del Control Biológico en México; y 18. Terminología sobre Control Biológico. Esperamos que este documento motive el estudio y aplicación del control biológico.

*Luis A. Rodríguez-del-Bosque*  
*Hugo C. Arredondo-Bernal*  
Editores, noviembre de 2007

# TEORÍA Y APLICACIÓN DEL CONTROL BIOLÓGICO

ISBN 978-968-5384-10-0

## CONTENIDO

Capítulo	Página
<b>A. FUNDAMENTOS</b>	
1. Introducción, Filosofía y Alcance del Control Biológico ..... <i>J. F. Barrera</i>	1
2. Fundamentos Ecológicos del Control Biológico ..... <i>L. A. Rodríguez-del-Bosque</i>	19
3. Importancia de la Sistemática en Control Biológico ..... <i>A. González-Hernández y J. I. López-Arroyo</i>	36
4. Métodos de Evaluación de Enemigos Naturales ..... <i>H. González-Hernández y C. Pacheco-Sánchez</i>	48
<b>B. PARASITOIDES Y DEPREDADORES</b>	
5. Biología, Ecología y Etología de Parasitoides ..... <i>J. S. Bernal</i>	61
6. Depredación entre Artrópodos ..... <i>M. H. Badii, J. Landeros, E. Cerna y S. Varela</i>	75
7. Uso de Depredadores para el Control Biológico de Plagas en México ..... <i>J. I. López Arroyo, E. Cortez-Mondaca, H. C. Arredondo-Bernal, M. Ramírez-Delgado, J. Loera-Gallardo y M. A. Mellín-Rosas</i>	90
8. Perspectivas del Uso de Raphidioptera y Neuroptera Coniopterygidae como Agentes de Control Biológico ..... <i>R. A. Pantaleoni</i>	106
<b>C. ENTOMOPATÓGENOS</b>	
9. Hongos Entomopatógenos ..... <i>R. Alatorre-Rosas</i>	127
10. Uso de Bacterias en el Control Biológico ..... <i>J. E. Ibarra</i>	144
11. Bioinsecticidas Virales ..... <i>M. C. Del Rincón-Castro</i>	160
12. Bioseguridad de Agentes de Control Microbiano ..... <i>C. Toriello y T. Mier</i>	179

D. ESTUDIOS DE CASO	
13. Control Biológico de Maleza .....	188
<i>R. N. Wiedenmann</i>	
14. Control Biológico de Insectos Plaga en el Sureste de México .....	201
<i>J. F. Barrera y J. I. López-Arroyo</i>	
15. Control Biológico de Langostas y Saltamontes .....	234
<i>L. Barrientos-Lozano</i>	
16. Control Biológico de la Cochinilla Rosada del Hibiscus <i>Maconellicoccus</i> <i>hirsutus</i> (Hemiptera: Pseudococcidae) .....	250
<i>L. A. Valencia-Luna, T. Santiago-Islas, A. Zamora y H. C. Arredondo-Bernal</i>	
17. Enfoques y Tendencias del Control Biológico en México .....	267
<i>L. A. Rodríguez-del-Bosque y H. C. Arredondo-Bernal</i>	
18. Terminología sobre Control Biológico .....	277
<i>L. A. Rodríguez del Bosque</i>	

---

## **Autores**

- A. González-Hernández*, Universidad Autónoma de Nuevo León, México
- A. Zamora*, Dirección General de Sanidad Vegetal, México
- C. Pacheco-Sánchez*, Instituto Politécnico Nacional, México
- C. Toriello*, Universidad Nacional Autónoma de México, México
- E. Cerna*, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, México
- E. Cortez-Mondaca*, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México
- H. C. Arredondo-Bernal*, Centro Nacional de Referencia de Control Biológico, México
- H. González-Hernández*, Colegio de Postgraduados, México
- J. E. Ibarra*, Instituto Politécnico Nacional, México
- J. F. Barrera*, El Colegio de la Frontera Sur, México
- J. I. López-Arroyo*, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México
- J. Landeros*, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, México
- J. Loera-Gallardo*, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México
- J. S. Bernal*, Texas A&M University, E.U.A.
- L. A. Rodríguez- del-Bosque*, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México
- L. A. Valencia-Luna*, Dirección General de Sanidad Vegetal, México
- L. Barrientos-Lozano*, Instituto Tecnológico de Cd. Victoria, México
- M. A. Mellín-Rosas*, Centro Nacional de Referencia de Control Biológico, México
- M. C. Del Rincón-Castro*, Instituto Politécnico Nacional, México
- M. H. Badii*, Universidad Autónoma de Nuevo León, México
- M. Ramírez-Delgado*, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México
- R. A. Pantaleoni*, Universidad de los Estudios de Sassari, Italia
- R. Alatorre-Rosas*, Colegio de Postgraduados, México
- R. N. Wiedenmann*, University of Arkansas, E.U.A.
- S. Varela*, Universidad Autónoma de Tamaulipas, México
- T. Mier*, Universidad Autónoma Metropolitana, México
- T. Santiago-Islas*, Dirección General de Sanidad Vegetal, México

---

---

## Capítulo 1

### Introducción, Filosofía y Alcance del Control Biológico

*J. F. Barrera*

El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR)  
Apartado Postal 36, Carretera Antigua Aeropuerto km. 2.5, Tapachula, Chiapas, 30700 México  
jbarrera@tap-ecosur.edu.mx

---

---

#### CONTENIDO

<i>El Concepto y la Premisa Fundamental</i> .....	2
<i>Desarrollo Histórico</i> .....	3
<i>Ventajas, Desventajas, Beneficios y Riesgos</i> .....	9
<i>Tipos de Enemigos Naturales</i> .....	11
<i>Estrategias de Control Biológico</i> .....	13
<i>Alcance y Futuro</i> .....	14
<i>Literatura Citada</i> .....	16

Barrera, J. F. 2007. Introducción, filosofía y alcance del control biológico, pp. 1-18. *En:* L. A. Rodríguez-del-Bosque y H. C. Arredondo-Bernal (eds.), *Teoría y Aplicación del Control Biológico*. Sociedad Mexicana de Control Biológico, México. 303 p.



## EL CONCEPTO Y LA PREMISA FUNDAMENTAL

A más de un siglo del exitoso uso de la catarinita *Rodolia cardinalis* (Mulsant) para el control de la escama *Icerya purchasi* Maskell en California, E.U.A., caso a partir del cual se considera inició el control biológico como disciplina científica, estamos asistiendo a un uso más amplio del control biológico. Sin embargo, de manera general, la tendencia hacia el uso casi único y excesivo de plaguicidas sintéticos es aún persistente. Así pues, al inicio del siglo XXI tenemos el reto de disminuir esa tendencia y sustentar el control de plagas en un manejo más racional, donde el control biológico actúe como pilar y eje de su desarrollo y aplicación. Indudablemente que la enseñanza del control biológico no solo hacia los técnicos y agricultores, sino también hacia el público en general, será un factor clave para lograr este propósito. En este orden de ideas, el objetivo del presente capítulo es ofrecer una introducción al control biológico, a través de la cual esperamos por un lado difundir su filosofía y alcance, además de facilitar la comprensión e integración de los demás temas que se ofrecen en este libro que edita la Sociedad Mexicana de Control Biológico, A. C. (SMCB). La SMCB ha sido promotor importante del control biológico en México, tanto por los eventos que organiza (congresos, cursos, talleres, exposiciones tecnológicas) como por sus publicaciones periódicas (memorias de los eventos, el boletín “El Entomófago” y la revista científica “Vedalia”) y su página en Internet ([www.controlbiologico.org.mx](http://www.controlbiologico.org.mx)). Un grupo de socios de la SMCB también colaboraron en el primer libro sobre control biológico editado en México (Badii *et al.* 2000). Asimismo, la SMCB ha sido impulsora junto con el gobierno federal en definir la normatividad que regula la movilización y calidad de los agentes de control biológico importados y producidos en el país (Arredondo y Hernández 2002).

El término “control biológico” fue usado por primera vez por H. S. Smith en 1919, para referirse al uso de enemigos naturales (introducidos o manipulados) para el control de insectos plaga. Su alcance se ha extendido con el tiempo, a tal grado que ahora se presentan problemas para definirlo adecuadamente, en particular porque el término implica aspectos académicos y aplicados (Wilson y Huffaker 1976, Garcia *et al.* 1988, Eilenberg *et al.* 2001). Aquí se entenderá como control biológico al “uso de organismos vivos como agentes para el control de plagas” (Greathead y Waage 1983). También nos acogemos a la postura de Eilenberg *et al.* (2001), quienes indican que “organismos vivos” incluye a los virus, pero se excluyen los genes o fragmentos de genes y los metabolitos obtenidos sin los organismos que los producen. De acuerdo con Huffaker (1985), la premisa del control biológico descansa en que bajo ciertas circunstancias muchas poblaciones son llevadas a bajas densidades por sus enemigos naturales. Este efecto se origina de la interacción de ambas poblaciones (plaga y enemigo natural), lo cual implica una supresión del tipo densidad-dependiente, que se

traduce como el mantenimiento de ambas poblaciones en equilibrio. Bajo este concepto, la población del enemigo natural depende a su vez de la población de la plaga, es decir la interacción de las poblaciones significa una regulación y no un control (Summy y French 1988, Rodríguez-del-Bosque 1991). También se dice que los enemigos naturales hacen que el control biológico sea autosostenible o parcialmente autosostenible, por lo tanto los métodos que no los utilizan como semioquímicos (feromonas, atrayentes, repelentes), insectos estériles, plantas resistentes u organismos modificados genéticamente no son autosostenibles y no pueden ser incluidos en control biológico (Fig. 1) (Huffaker 1985, Garcia *et al.* 1988).

## DESARROLLO HISTÓRICO

Por mucho tiempo han existido ejemplos del uso de enemigos naturales para el control de plagas y quizá el caso más antiguo (hace al menos 800 años), es el que hace referencia al uso de hormigas por agricultores chinos. Sin embargo, el control biológico nace como un método científico hacia el final del siglo XIX con el exitoso caso de la introducción desde Australia a California de *R. cardinalis* contra la escama algodonosa de los cítricos *I. purchasi* ocurrido en 1888 (Simmonds *et al.* 1976). De acuerdo con lo anterior, el control biológico como método científico es relativamente moderno, ya que tiene una edad de poco más de cien años. Algunos hechos históricos sobresalientes del control biológico se presentan en el Cuadro 1.

Los principales logros del control biológico en América Latina han sido contra la mosca prieta de los cítricos *Aleurocanthus woglumi* Ashby en Mesoamérica; el barrenador de la caña de azúcar *Diatraea saccharalis* (F.) en Cuba, Perú, Brasil y el Caribe; la escama harinosa *I. purchasi* en casi todos los países; el pulgón lanígero de la manzana *Eriosoma lanigerum* (Hausmann) en Uruguay, Chile y Argentina; la escama negra *Saissetia oleae* (Oliver) en Chile y Perú (Altieri *et al.* 1989, Zapater 1996). Aunque el control biológico de insectos en México despertó el interés de los especialistas desde el siglo pasado, fue hasta 1942 cuando se realizaron los trabajos más decididos con la introducción de *Aphelinus mali* (Haldeman) para el control del pulgón lanígero del manzano *E. lanigerum* en Coahuila. En 1938 e hizo el primer intento para el control biológico de la mosca prieta de los cítricos *A. woglumi*, pero fue entre 1949 y 1950 cuando el Departamento de Agricultura de E.U.A. y la entonces Dirección de Defensa Agrícola de México, llevaron a cabo un programa para la introducción de enemigos naturales desde la India y Pakistán con resultados espectaculares en el control de esta plaga (Jiménez 1958, Smith *et al.* 1964, Carrillo-Sánchez 1985). Posteriormente, se establecieron diferentes programas de introducción de enemigos naturales previamente introducidos a E.U.A.; las plagas consideradas y

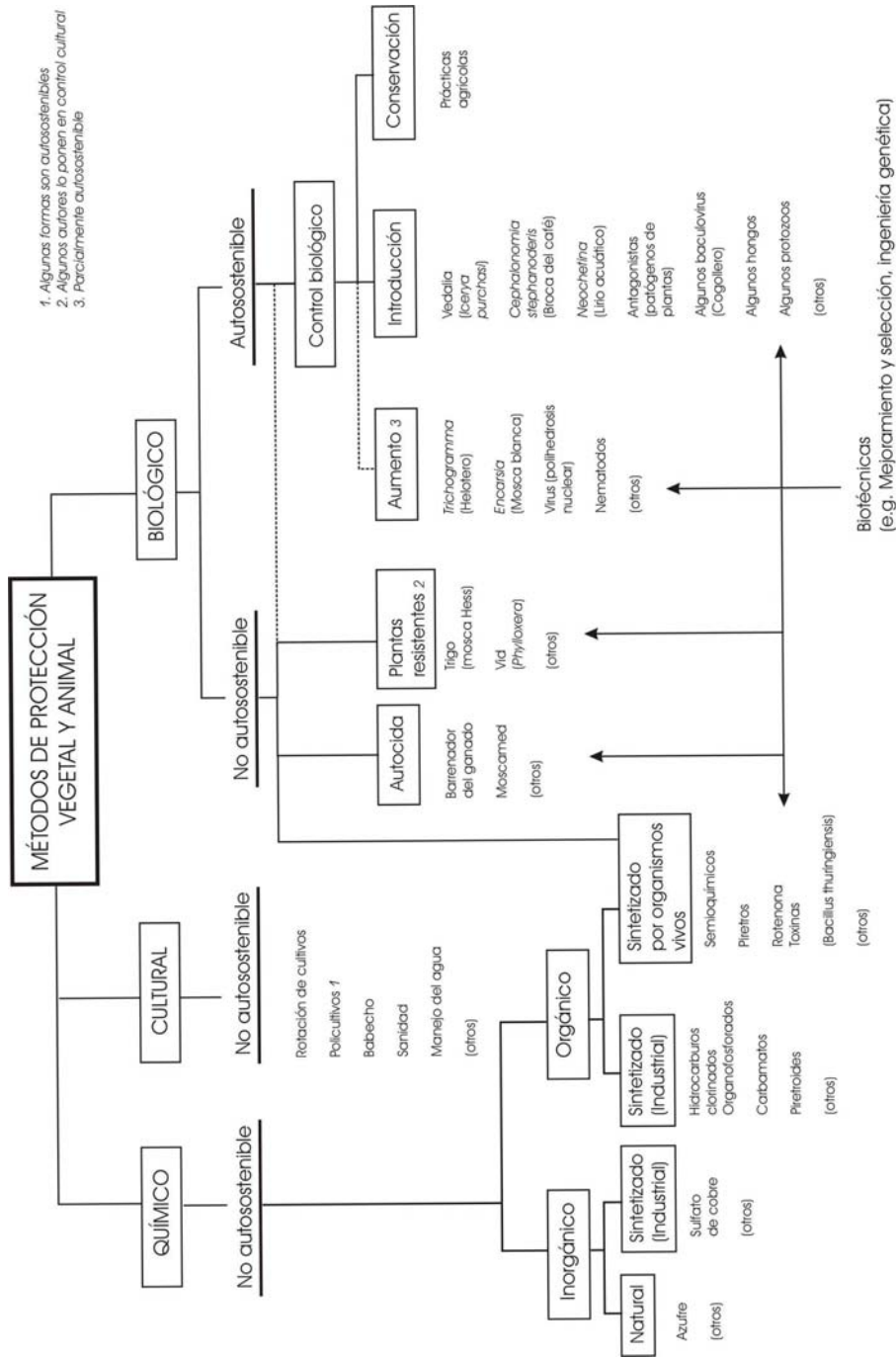


Figura 1. Métodos para la protección vegetal y animal con algunos ejemplos (modificado de Huffaker y Dahistein 1999).

**Cuadro 1. Selección de casos y eventos notables de control biológico en el mundo.**

AÑO	ACONTECIMIENTO HISTÓRICO	ENEMIGO NATURAL	ESPECIE PLAGA
1200	Los chinos usaron hormigas para el control de un defoliador en cítricos	<i>Oecophylla smaragdina</i>	<i>Tessarotoma papillosa</i>
1200	Utilidad reconocida de Coccinellidae	Catarinitas	Afidos y escamas
1602	Primer reporte de "parasitismo"	<i>Apanteles glomeratus</i>	<i>Pieris rapae</i>
1706	Vallisneri interpreta correctamente el parasitismo	<i>Apanteles glomeratus</i>	<i>Pieris rapae</i>
1718	Parasitismo sobre lepidópteros en Inglaterra	Ichneumonidae	Orugas
1726	Registro de Hongos patógenos sobre larvas de Lepidoptera	Hongos	Noctuidae
1734	Se sugirió el uso de Syrphidae contra pulgones en invernadero	Sirfidos	Afidos
1752	Chinches asesinas para el control de chinches de la cama	Redúvidos	<i>Cimex lectularius</i>
1762	Introducción del pájaro Mynah de la India a Mauritania	<i>Acridotheres tristis</i>	Locústido rojo
1763	Coleoptero sugerido para usarse (no fue usado)	<i>Calosoma sycophanta</i>	Orugas
1764	Se introdujeron a Jamaica hormigas para el control de escamas	<i>Formica</i> sp.	Escamas
1776	Chinches asesinas contra chinches de cama	<i>Reduvius personatus</i>	<i>Cimex lectularius</i>
1789	Se recomendó el control biológico de ratas en Jamaica	Enemigos naturales	Ratas
1800	Se discute la acción de ichneumónidos como factor de control natural	Ichneumónidos	Orugas de la calabaza
1827	Se sugiere coleccionar larvas parasitadas para su posterior liberación	Parasitoides	Larvas parasitadas
1837	Kollar introduce el concepto de control natural		
1835	Bassi es el primero en recomendar el uso de patógenos contra plagas	Patógenos	Plagas
1840	Varios enemigos naturales usados para controlar larvas de la palomilla gitana y tijeretas	<i>Calosoma sycophanta</i> , <i>Staphylinus olens</i>	<i>Porteria dispar</i> , <i>Forficula auricularia</i>
1844	Coleopteros usados experimentalmente en Milan para controlar plagas	Estafilinidos y carábidos	Plagas del jardín
1856	Se sugiere la importación de parásitos a Estados Unidos de Europa	Parásitos	<i>Contarinia tritici</i>
1859	Un sapo se introduce a Puerto Rico contra plagas en caña de azúcar	<i>Bufo marinus</i>	Escarabeidos
1866	Walsh (EUA) sugiere la importación de insectos contra malezas	Insectos	Malezas
1870	Introducción a Trinidad de una comadreja contra ratas de campo	<i>Mungos birmanicus</i>	Rata de campo
1870	Parásitos del picudo del ciruelo llevados de un área (Missouri) a otras	Parásitos	<i>Conotrachelus nenufar</i>
1870	Parásitos trasladados en ramas infestadas de un huerto a otro (Illinois)	<i>Aphytis mytilaspidis</i>	Escamas
1873	Acaros enviados de Estados Unidos a Francia	<i>Tyroglyphus phylloxerae</i>	<i>Phylloxera vitifoliae</i>
1874	Coccinélido enviado de Inglaterra a Nueva Zelanda	<i>Coccinella undecimpunctata</i>	Afidos
1879	Utilización de un hongo para el control de un coleóptero	<i>Metarrhizium anisopliae</i>	<i>Anisophia austriaca</i>
1880	Araña social sudafricana para controlar moscas	<i>Stegodyphus mimosarum</i>	Mosca casera
1882	Parásito llevado de Estados Unidos a Canadá	<i>Trichogramma</i> sp.	<i>Nematus ribessi</i>
1883	Parásito llevado de Inglaterra a Estados Unidos	<i>Apanteles glomeratus</i>	<i>Pieris rapae</i>
1888	La <i>Vedalia</i> introducida de Australia a California. Éxito espectacular	<i>Rodolia cardinalis</i>	<i>Icerya purchasi</i>

**Cuadro 1. Continuación.**

1893	Se sugiere uso de hongos contra una maleza en Nueva Jersey	<i>Puccinia suaveolens</i>	<i>Cirsium arvense</i>
1903	Control exitoso de nopales en Australia	Insectos y microbios asociados	<i>Opuntia</i> sp
1927	Un hongo descrito en Cuba se sugiere contra una maleza	<i>Ustilunia zonata</i>	<i>Dichrostachys nutans</i>
1946	Se sugiere el uso de un hongo para controlar maleza	<i>Colletotrichum destructivum</i>	<i>Cuscuta</i>
1956	“Entomophaga”, primera revista periódica sobre control biológico		
1960	Caso de control biológico exitoso en Rusia	<i>Alternaria cuscutacidae</i>	<i>Cuscuta</i>
1962	Insectos llevados de México a Hawaii y Antillas contra una maleza	<i>Plagiohamus stinipennis</i> <i>Aerenicopsis championi</i> <i>Phossus argentiferus</i>	<i>Lantana camara</i>
1963	Se descubre una enfermedad virosa en algas que estimula el uso de virus	Virus	Algas
1971	Liberaciones exitosas de un hongo contra maleza en Australia	<i>Puccinia chondrillina</i>	<i>Chondrilla juncea</i>
1988	Se introducen a Ecuador y México parasitoides africanos para el control de la broca del café	<i>Cephalonomia stephanoderis</i> , <i>Prorops nasuta</i>	<i>Hypothenemus hampei</i>
1990	Inicia el control biológico de la broca con parasitoides en Centroamérica	<i>Cephalonomia stephanoderis</i>	<i>Hypothenemus hampei</i>
1995	H. R. Herren recibe el Premio de la Alimentación por sus contribuciones al control biológico del piojo de la mandioca en Africa	<i>Epidinocarsis lopezi</i>	<i>Phenacoccus manihoti</i>

sus enemigos naturales fueron: La escama algodonosa de los cítricos *I. purchasi* con *R. cardinalis*; la escama purpúrea *Lepidosaphes beckii* (Newm.) con el parasitoide *Aphytis lepidosaphes* Compere; la escama roja de Florida *Crysothrips aonidium* L. con el parasitoide *Aphytis holoxanthus* DeBach; la escama algodonosa de los pastos *Antonina graminis* Mask. con los parasitoides *Anagyrus antoninae* Timb. y *Neodusmetia sangwani* (Rao); las moscas de la fruta *Anastrepha ludens* (Loew) y *A. striata* Schiner con los parasitoides *Diacasmimorpha longicaudatus* (Ashmead), *Syntomosphyrum indicum* Silv. y *Pachycrepoides vindemmiae* (Rondani); y el pulgón manchado de la alfalfa *Therioaphis maculata* (Buckton) con las especies *Praon palitans* Muesebeck, *Aphelinus semiflavus* Howard y *Trioxyis utilis* Muesebeck (Carrillo-Sánchez 1985). Desde 1963 hasta la fecha, se cría al parasitoide *Trichogramma* spp. en centros localizados en muchos Estados de la República Mexicana. Desde el 2006 se cuenta con 60 laboratorios que producen y distribuyen 35 especies de agentes de control biológico, de los cuales el 20% son depredadores, el 48.5% parasitoides y el 31.5% patógenos (Arredondo 2006).

Algunas plagas recientemente tratadas con control biológico son la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Barrera *et al.* 2000), las moscas de la fruta *Anastrepha* spp. (Liedo y Cancino 2000), la cochinilla rosada del hibisco

*Maconellicoccus hirsutus* (Green) (Meyerdirk et. al. 2000, Arredondo 2006, García et al. 2007), el lirio acuático *Eichhorniae crassipes*, el pulgón café de los cítricos *Toxoptera citricida* (Kirkaldy) y la langosta *Schistocerca piceifrons* Walker (Arredondo y Hernández 2002). Una selección de casos y eventos notables de control biológico en México se presenta en el Cuadro 2.

**Cuadro 2. Selección de casos y eventos notables de control biológico en México.**

AÑO	ACONTECIMIENTO HISTÓRICO	ENEMIGO NATURAL	ESPECIE PLAGA
1900	Se nombra la Comisión de Parasitología Agrícola para introducir enemigos naturales para el control de la langosta en Yucatán	Enemigos naturales	Langosta
1902	Se cría un ácaro para el control del picudo del algodnero	<i>Pyemotes ventricosus</i>	<i>Anthonomus grandis</i>
1902	Se introduce una enfermedad virosa de Europa contra la rata	Danyz	Rata de campo
1911	Se aísla una bacteria de locústidos de Yucatán	<i>Cocobacillus acridiorum</i>	Chapulines
1922	Se introdujeron taquínidos de Cuba y Perú para controlar barrenadores del tallo	<i>Lixophaga diatraea</i> , <i>Paratheresia claripalpis</i>	Barrenadores de la caña de azúcar
1929	Se introduce <i>Trichogramma</i> a México	<i>Trichogramma minutum</i>	Larvas de lepidópteros
1938	Se introdujo un parasitoide de la mosca prieta de Panamá	<i>Eretmocerus serius</i>	<i>Aleurocanthus woglumi</i>
1940	Se introdujo un parasitoide a Coahuila contra el pulgón lanífero	<i>Aphelinus mali</i>	<i>Eriosoma lanigerum</i>
1942	Se introdujo un parasitoide de California contra escamas	<i>Cryptolaemus mountrouzieri</i>	Escamas harinosas
1943	Por segunda vez se introdujo a <i>Eretmocerus</i> de Panamá	<i>Eretmocerus serius</i>	<i>Aleurocanthus woglumi</i>
1949	Primer caso exitoso en México al introducir de la India y Pakistán a cuatro parasitoides para el control de la mosca prieta de los cítricos	<i>Amitus hesperidum</i> <i>Encarsia (=Prospaltella)</i> opulenta, <i>E. clypealis</i> y <i>E. smithi</i>	<i>Aleurocanthus woglumi</i>
1953-57	Se llevan catarinitas entre estados contra pulgón amarillo	<i>Coleomegilla maculata</i>	<i>Sipha flava</i>
1953-57	Se iniciaron los trabajos para controlar la conchuela del frijol	<i>Paradexodes epilachna</i>	<i>Epilachna varivestis</i>
1953	Por segunda vez se introdujo a <i>Aphelinus</i> contra el pulgón lanífero	<i>Aphelinus mali</i>	<i>Eriosoma lanigerum</i>
1954	Se creó el Departamento de Control Biológico	-	-
1954	Se introducen de Hawaii parasitoides con el fin de controlar al complejo de moscas de la fruta del género <i>Anastrepha</i>	<i>Opius</i> spp, <i>Syntomosphyrum indicum</i> , <i>Dirhynus giffardii</i> , <i>Trybliographa daci</i>	<i>Anastrepha</i> spp.
1954	Se introdujo un parasitoide contra la escama púrpura	<i>Aphytis lepidosaphes</i>	<i>Lepidosaphes beckii</i>
1955	Se introdujeron varios parasitoides de Estados Unidos para el control del gusano rosado	<i>Chelonus</i> sp., <i>Bracon</i> spp., <i>Apanteles</i> sp.	Gusano rosado
1955	Se introdujo un Histeridae contra el picudo del banano	<i>Plaesius javanus</i>	<i>Cosmopolites sordidus</i>

**Cuadro 2. Continuación.**

1955	Se introdujeron de Texas a parasitoides para controlar la escama del zacate	<i>Anagynus antoninae</i> <i>Dusmetia sangwani</i>	<i>Antonina graminis</i>
1956	Se introduce de Guam un enemigo natural de la conchuela del frijol	<i>Pleurotropis epilachna</i>	<i>Epilachna varivestis</i>
1956	Se trabajó con los redúvidos y un Syrphidae de Trinidad contra la mosca pinta o salivazo	<i>Castolux</i> sp., <i>Zelus</i> sp., <i>Sinea</i> sp., <i>Salpingogaster nigra</i>	Salivazo
1957	Se introdujeron varios enemigos naturales de California para el control del pulgón manchado de la alfalfa	<i>Praon palitans</i> , <i>Tryoxis utilis</i> , <i>Aphelinus semiflavus</i> , <i>Hippodamia convergens</i>	<i>Therioaphis maculata</i>
1963	Primer Centro de Reproducción de Insectos Benéficos en Torreón		
1969	Introducción de un parasitoide de Estados Unidos a México	<i>Amitus spiniferus</i>	<i>Aleurothrixus floccosus</i>
1973	Primer curso de Control Biológico impartido en México		
1973	Primera Reunión Nacional de Control Biológico en México		
1975	Sanidad Vegetal publica la primera lista de insectos benéficos		
1988	Introducción de parasitoides africanos contra la broca del café	<i>Cephalonomia stephanoderis</i> , <i>Prorops nasuta</i>	<i>Hypothenemus hampei</i>
1989	Se funda la Sociedad Mexicana de Control Biológico		
1993	Inicio del control biológico del lirio acuático con curculiónidos en Sinaloa	<i>Neochetina bruchi</i> , <i>N. eichhorniae</i>	<i>Eichhornia crassipes</i>
1993	Inicia la búsqueda de hongos entomopatógenos contra la langosta	<i>Metarhizium anisopliae</i>	<i>Schistocerca piceifrons piceifrons</i>
1994	Se inicia en Veracruz la búsqueda de enemigos naturales nativos del minador de los cítricos	Predominantes: <i>Cirrospilus</i> spp.	<i>Phyllocnistis citrella</i>
1996-97	Se realiza la evaluación de liberaciones masivas de parasitoides contra moscas de la fruta en Chiapas	<i>Diachasmimorpha longicaudata</i>	<i>Anastrepha</i> spp.
1998	Se inaugura el laboratorio de producción masiva de parasitoides contra el picudo del algodón en Río Bravo, Tamaulipas	<i>Catolaccus grandis</i>	<i>Anthonomus grandis</i>
2000	Se liberan parasitoides de la cochinilla rosada en Baja California Norte	<i>Maconellicoccus hirsutus</i>	<i>Anagyrus kamali</i> <i>Gyranusoidea indica</i>
2000	Se libera la catarinita japonesa contra el pulgón café en la península de Yucatán	<i>Harmonia axyridis</i>	<i>Toxoptera citricida</i>
2000	Se introduce en Chiapas el parasitoide de adultos de la broca del café	<i>Phymastichus coffea</i>	<i>Hypothenemus hampei</i>
2000	Se evalúan dos aislamientos de hongos contra la langosta en Yucatán	<i>Metarhizium anisopliae</i> var. <i>acidum</i>	<i>Schistocerca piceifrons</i>

## VENTAJAS, DESVENTAJAS, BENEFICIOS Y RIESGOS

**Ventajas y desventajas.** El control biológico posee muchas ventajas (Summy y Frech 1988), como: (1) Poco o ningún efecto nocivo colateral; (2) casos raros de resistencia; (3) control de largo plazo; (4) elimina por completo o sustancialmente el uso de insecticidas; (5) relación beneficio/costo muy favorable; (6) evita plagas secundarias; (7) no provoca intoxicaciones; y (8) se puede usar como parte del Manejo Integrado de Plagas (MIP). Entre las desventajas se tienen: (1) Ignorancia sobre los principios del método; (2) reducido apoyo económico; (3) escaso personal especializado; (4) poca disponibilidad; (5) problemas de uso con umbrales económicos bajos; (6) dificultad para aplicarlo en complejos de plagas; (7) los agentes de control biológico son susceptibles a los plaguicidas; (8) los enemigos naturales se incrementan con retraso en comparación a las plagas que atacan, por lo cual, no proveen la supresión inmediata que se obtiene con los insecticidas; y (9) los resultados del control biológico no son tan espectaculares en el corto plazo como los insecticidas y por lo mismo, el agricultor tiene temor de perder su cosecha.

**Éxitos y fracasos.** El éxito en control biológico es difícil de medir. Desde el punto de vista ecológico, alguna clase de éxito se presenta cuando una especie introducida se establece por sí misma, en tanto que desde el punto de vista del control de la plaga, la única forma de medir el éxito es la económica (Hokkanen 1985). El éxito en control biológico se clasifica de tres formas (DeBach 1968): (1) Éxito completo es cuando el control biológico se obtiene y mantiene contra una plaga importante sobre una área extensa, a tal grado que la aplicación de insecticidas se vuelve rara; (2) éxito sustancial es cuando las ganancias son menos considerables, ya que la plaga controlada o el cultivo, son menos importantes. Esta situación se presenta también porque el área cultivada es pequeña o porque ocasionalmente se requiere del uso de insecticidas; (3) éxito parcial es cuando el control químico permanece como necesario, pero se reduce el número de aplicaciones; también se aplica a casos donde el éxito se obtiene en una pequeña porción del área infestada con la plaga.

Hasta 1970 se habían producido al menos 253 éxitos con la importación de enemigos naturales; de un total de 223 plagas, en 120 se había obtenido algún grado de control: 42 casos de éxito completo, 48 de éxito sustancial y 30 con éxito parcial. De estos datos se desprende que el éxito para controlar a una plaga con control biológico fue 54% (DeBach 1977). De acuerdo con otro reporte (Laing y Hamai 1976), el control biológico clásico de insectos plaga había ocurrido en 327 casos; de éstos, 102 habían tenido éxito completo, 144 éxito sustancial y 81 éxito parcial. En otro reporte, el porcentaje de éxitos sustanciales de control biológico de insectos plaga fue de 40%, en tanto que para malezas este porcentaje fue de 31% (Waage y Greathead 1988). Estos datos indican que el



control biológico no es la panacea del control de las plagas y que los éxitos obtenidos no son más que la punta del iceberg del trabajo que se ha hecho en el campo. Sin embargo, en las últimas décadas se aprecia un incremento en el número de éxitos completos, lo cual es un reflejo del progreso en el conocimiento de los procesos ecológicos y de una sólida experiencia empírica. Se puede decir que la disciplina está madurando (Hokkanen 1985).

**Beneficio/costo.** En términos económicos, los beneficios del control biológico han sido espectaculares, por ejemplo se ha calculado un retorno aproximado por cada dólar invertido de 30 a 1, mientras que para el control químico la relación ha sido de 5 a 1 (DeBach 1977, Hokkanen 1985). Datos proporcionados por Greathead y Waage (1983) indican que en California, en el periodo comprendido de 1923 a 1959, se ahorraron \$115.3 millones de dólares en cinco proyectos para el control de cinco plagas con un gasto de \$4.3 millones, es decir, por cada dólar invertido se ganaron 26.8. En Australia, los beneficios totales obtenidos en el control de cuatro plagas fueron de \$392 millones de dólares mientras que los costos de la investigación alcanzaron \$13.6 millones con una relación de 28.8 por 1. Algunos proyectos del International Institute of Biological Control (Inglaterra) muestran ganancias de hasta \$346.5 dólares por cada dólar invertido.

**El riesgo.** Frecuentemente se declara que la introducción de agentes de control biológico es ambientalmente segura y sin riesgos. Sin embargo, existen evidencias que indican que esta aseveración no es del todo cierta. Aunque este tema no es nuevo, los debates sobre los riesgos del control biológico continúan con mayor intensidad en años recientes (Howarth 1983, 1991, Simberloff y Stiling 1996, Louda *et al.* 2003). En un esfuerzo por analizar el impacto del control biológico sobre organismos no blanco en Hawaii, Funasaki *et al.* (1988) mencionan que en casi 100 años (1890-1985) se habían logrado establecer 243 especies de 679 introducidas para el control de insectos, malezas y otros organismos. De éstas, el 8.2% (20 casos) han atacado especies nativas hacia las cuales no iba dirigido el control, incluso el 7% (17 casos) atacaron organismos benéficos. De acuerdo con estos autores, la mayoría de los “errores” se cometieron por la carencia de planificación y pobre evaluación de los enemigos naturales antes de su introducción. En otras partes del mundo han ocurrido errores funestos, ya que ciertas introducciones se han visto implicadas en la extinción de especies. Un caso que ejemplifica este problema es la extinción de la palomilla del cocotero, *Levuana iridescens* Bethune-Baker, por la introducción en 1925 del taquínido *Bessa remota* (Aldrich) en Fiji (Kuris 2003).

Actualmente se reconoce que algún grado de riesgo acompaña a los programas de control biológico como en cualquier otra estrategia de control. Por lo tanto, a fin de reducir el riesgo inherente a las introducciones de enemigos

naturales, se deben seguir procedimientos científicamente probados (Funasaki *et al.* 1988, Howarth 1991). Un claro ejemplo de proceder correctamente se ha dado en Hawaii, donde en los últimos 21 años ninguna especie aprobada para su introducción y liberación se ha registrado que ataque especies nativas u otras especies no blanco (Funasaki *et al.* 1988). En otros casos, los problemas se presentan cuando el estatus de un organismo benéfico cambia hacia el estatus de plaga. Un ejemplo reciente es el de la palomilla del nopal, *Cactoblastis cactorum* Berg, que fuera introducida a Australia en 1925 para el control de cactus (*Opuntia* spp.) considerados malas hierbas por invadir más de 30 millones de hectáreas. La palomilla había tenido tanto éxito en el control de los nopales para 1930 que en la literatura se le considera como un magnífico ejemplo de control biológico de malezas (Holloway 1968). Posteriormente, en 1957-1960, *C. cactorum* fue introducida con el mismo propósito a varias islas de El Caribe y ocurrió una dispersión natural (o inducida accidentalmente) hacia la mayoría de las islas de la región. En 1989 la palomilla fue detectada en Florida, E.U.A. y con su rápida dispersión hacia el norte, preocupa seriamente su posible impacto sobre los cactus de esa región, así como sobre aquellos que son nativos del resto del continente Americano (Johnson y Stiling 1998). En agosto de 2006 la palomilla del nopal se detectó en Isla Mujeres, Quintana Roo, México (Zimmermann y Pérez Sandi 2006) y en enero de 2007 se reportó el primer caso positivo en México continental, cerca de Cancún, Q. Roo.

## TIPOS DE ENEMIGOS NATURALES

En principio, cualquier organismo y algunos productos orgánicos, tales como el estiércol del ganado, son susceptibles al control biológico. A partir del uso de insectos entomófagos para el control de insectos plaga, el control biológico se ha extendido al uso de una amplia gama de organismos para el control de insectos, ácaros, caracoles, algunos vertebrados y plantas tan diversas como algas, hongos, hierbas, arbustos y árboles. Entre los organismos usados como agentes de control se incluyen virus, bacterias y sus toxinas, hongos y otros microorganismos patógenos, nemátodos, caracoles, insectos, ácaros, y vertebrados de varias clases (Wilson y Huffaker 1976). Mientras que los organismos utilizados como agentes de control generalmente tienen como efecto la muerte directa del organismo que atacan, a veces pueden operar de otras formas, como el caso de los hongos antagonistas que inhiben el desarrollo de otros microorganismos mediante sustancias que excretan (antibióticos) o nemátodos que esterilizan a las hembras de los organismos afectados o como aquellos que reducen la capacidad reproductiva o competitiva de plantas (Wilson y Huffaker 1976). Stehr (1975), van den Bosch *et al.* (1982) y Greathead y Waage (1983) presentan los siguientes tipos de enemigos naturales:

**Depredadores.** Son individuos que consumen varios organismos durante su vida, y activamente buscan su alimento. Al organismo que consume un depredador se le denomina presa y por lo general es más pequeña que éste. Algunos consumen un rango amplio de especies presa (polífagos), otros un rango más estrecho (oligófagos) y otros más son altamente específicos (monófagos). Desde el punto de vista del control biológico, los depredadores oligófagos y monófagos son mejores como agentes de control. La mayoría de los depredadores consumen el mismo tipo de presa como inmaduros o como adultos. Las mantis, arañas y muchas especies de catarinitas (Coccinellidae) son ejemplos de depredadores.

**Parasitoides.** Generalmente se les incluye en la categoría de parásitos, pero un parasitoide es una clase especial de depredador que generalmente es del mismo tamaño que el organismo que ataca, también se caracterizan porque se desarrollan dentro o sobre un organismo, el cual casi siempre muere al ser atacado. El estado larvario del parasitoide es parasítico, mientras que los adultos son de vida libre y activos para buscar a los organismos que parasitan (huéspedes). Cada parasitoide consume un sólo huésped. A diferencia de los parásitos verdaderos, los parasitoides matan a su huésped. Hay parasitoides enteramente monófagos. Las avispidas parasíticas son buenos ejemplos de parasitoides.

**Patógenos.** Son microorganismos parasíticos que frecuentemente matan a su huésped. Los cadáveres de los huéspedes liberan millones de microbios individuales, que son dispersados por el viento y la lluvia. Debido a su tamaño diminuto y a su rápida reproducción en el huésped, los patógenos son más fáciles de producir masivamente que los parasitoides y pueden ser liberados contra las plagas con los equipos desarrollados para la aplicación de plaguicidas químicos. Varios tipos de microorganismos han sido usados en control biológico, como las bacterias, virus, hongos y protozoarios; los nematodos que atacan artrópodos se consideran dentro de este grupo. La utilización de patógenos para el manejo de las poblaciones de las plagas se llama “control microbioal” y es considerado como una subdivisión del control biológico.

Otras clases de enemigos naturales menos citadas son las siguientes: (1) Organismos para el control de malezas: los insectos fitófagos de malezas son similares en muchos aspectos a las plagas de los cultivos, pero tienen un alto grado de especificidad por su planta hospedera, lo cual asegura que éstos sólo atacarán a la maleza y no a los cultivos. Otros agentes de control de malezas son los nemátodos, hongos y otros microorganismos como protozoarios, bacterias, rickettsias y virus; (2) parásitos, los que tienden a debilitan, más que a matar a sus huéspedes y son muchos más pequeños que éstos. Los parásitos dependen de su huésped durante toda su existencia, excepto durante cortos periodos cuando se

dispersan; este estado lo pasan usualmente como huevos o esporas, por lo cual requieren un agente dispersor. Con excepción de algunos nemátodos parásitos de insectos, los parásitos no son buenos como agentes de control; y (3) antagonistas: existen agentes de control biológico que influyen sobre la abundancia de las plagas pero que no se alimentan directamente sobre ellas. Estos afectan a las poblaciones de las plagas por exclusión competitiva, misma que puede ser una simple exclusión física o mediante sustancias (antibióticos) que excretan los antagonistas. Estos agentes tienen particular importancia en el control biológico de fitopatógenos.

## ESTRATEGIAS DE CONTROL BIOLÓGICO

Los agentes de control biológico pueden ser usados de diferentes maneras para el control de las plagas agrícolas. Así, las características biológicas de los agentes de control determinan la estrategia a seguir (Greathead y Waage 1983). Se pueden distinguir tres formas o estrategias de control biológico: Por conservación, por introducción y por incremento (Anónimo 1990).

**Control biológico por conservación.** El primer paso en control biológico consiste en conservar (promover la actividad, supervivencia y reproducción) a los enemigos naturales nativos (o ya presentes en un cultivo), a fin de incrementar su impacto sobre las plagas (Anónimo 1990). La conservación de los entomófagos va dirigida preferentemente contra plagas endémicas; no obstante, también incluye el mejoramiento de las posibilidades de establecimiento de especies introducidas para el control biológico de plagas exóticas o incrementar la eficiencia de especies criadas masivamente en laboratorio (Trujillo 1991). Para lograr mejores resultados, se requiere conocer cuáles especies están presentes, qué plagas atacan y cuáles lo hacen mejor y bajo qué condiciones; en función de esta información, se pueden escoger las formas más apropiadas de protegerlos y ayudarlos (Anónimo 1991). Esta estrategia es la que más se presta a las condiciones de los países latinoamericanos, ya que la mayoría de las plagas son endémicas, forma parte de las prácticas agroecológicas y su aplicación suele ser más barata (Trujillo 1991).

**Control biológico por introducción.** Si no hay enemigos naturales que efectivamente controlen a la plaga, entonces se puede considerar la introducción y establecimiento permanente de nuevas especies (Anónimo 1990). Esta forma de control, también llamada control biológico clásico, es usada más frecuentemente en el control de plagas exóticas, las cuales comúnmente llegan a un área nueva sin factores naturales de control (Greathead y Waage 1983). Cuando se usa en el control de plagas nativas que carecen de enemigos naturales efectivos se le denomina “control biológico neoclásico” o control biológico clásico de nueva

asociación (Stehr 1975, Greathead y Waage 1983). En los casos exitosos, esta forma de control biológico puede reducir a la plaga a niveles por debajo de los umbrales económicos de manera indefinida (Greathead y Waage 1983, Anónimo 1990).

**Control biológico por incremento.** Cuando los enemigos naturales son biológicamente efectivos, pero fallan en controlar a las plagas no obstante los esfuerzos de conservación o introducción, se puede recurrir al incremento o aumento de su población a través de cría masiva y liberación inoculativa (el agente de control biológico se multiplica y controla a la plaga por un tiempo determinado) o inundativa (el control es realizado exclusivamente por los individuos liberados). Debido a que esta forma de control biológico puede ser más cara que las otras, sólo se deberá recurrir a ella si las otras formas de control biológico son ineficientes (DeBach y Hagen 1968, Anónimo 1990). Para que esta estrategia sea usada por los productores es necesario que sea competitiva en términos económicos con el control químico (Greathead y Waage 1983).

## ALCANCE Y FUTURO

**Integración del control biológico al Manejo Integrado de Plagas (MIP).** A pesar de la agricultura mecanizada y los avances de la tecnología, la producción de las plantas cultivadas es reducida por el efecto de una diversidad de plagas. En el afán de enfrentar a las plagas se utilizan intensamente los insecticidas químicos porque se les valora por su uniformidad y rápida acción, facilidad de aplicación, manejo y relativamente una larga vida útil. No obstante, los efectos colaterales derivados del uso de estos productos, tales como el daño a organismos no blanco y la inducción de resistencia en las plagas, ha propiciado una preocupación por la calidad del ambiente y a incrementar el énfasis en estrategias alternativas de control de plagas (Batra 1982). Entre las alternativas a los plaguicidas se tiene al control biológico, aunque el problema es que en muchos casos éste no provee una supresión económicamente aceptable de una plaga. Por ello, debe ser desarrollado y aplicado como un componente del MIP, pero si es una parte integral de éste (junto con plantas resistentes, métodos culturales y control con plaguicidas) debe procurarse que se constituya realmente en una entidad fuerte y vital (Tauber *et al.* 1985). Es probable que el incremento más dramático en la utilización del control biológico en sistemas de MIP, pueda darse al combinar plaguicidas selectivos y enemigos naturales efectivos.

En ciertos sistemas productivos, el desarrollo o selección de enemigos naturales resistentes a plaguicidas se percibe como altamente deseable (Hull y Beers 1985, Tauber *et al.* 1985). Los patógenos parecen ser los mejores sustitutos de los insecticidas de amplio espectro para ser usados en los sistemas de MIP

(Huffaker 1985). Uno de los problemas del control biológico es la carencia de precisión y predicción. A menos que se supere este problema, se dificultará mucho integrarlo en sistemas MIP (Tauber *et al.* 1985). La investigación fundamental y la teoría serán de enorme valor para identificar las causas del éxito o las que han hecho fallar a los programas de control biológico. Esta forma de investigación debe ser prioritaria para el futuro desarrollo del control biológico y el prerrequisito necesario para desarrollar una ciencia del uso de los entomófagos (Waage y Hassell 1982, citados por Hokkanen 1985). Para llevar a cabo la integración de este método con el MIP, se requiere de mucho apoyo financiero para la investigación y el desarrollo (Tauber *et al.* 1985).

**Futuro del control biológico.** En los próximos años el control biológico puede incrementarse debido a la concurrencia de varios factores como: (1) Incremento en el costo de los insecticidas; (2) incremento en el número de plagas resistentes a los plaguicidas; (3) preocupación de la sociedad sobre la contaminación del ambiente por plaguicidas; y (4) incremento de las normas que limitarán el uso de plaguicidas (Summy y French 1988). De acuerdo con Hoy (1985), los programas de control biológico clásico continúan siendo necesarios porque: (1) Las plagas exóticas continuarán entrando en los países de manera regular; (2) los programas previos que no fueron exitosos se podrían volver a intentar; y (3) los enemigos naturales exóticos podrían ser utilizados con mayor énfasis para el control de plagas nativas. Algunos datos en relación a las plagas exóticas indican que desde 1800 un total de 1683 especies se habían establecido en los E.U.A., y de éstas, 837 se introdujeron desde 1910 (Kim 1991).

Mucho del mercado futuro del control biológico clásico lo constituirá la habilidad de las plagas para escapar de las cuarentenas (Waage y Greathead 1988). Aunque el control biológico clásico continúa fascinando a los ecólogos, más atención se ha puesto recientemente sobre métodos inundativos, particularmente en el potencial comercial de los bioplaguicidas. Muchos inversionistas en proyectos de alto riesgo económico están poniendo su capital en el desarrollo de patógenos, sin embargo se debe mencionar que las empresas pequeñas deben competir fuertemente con las grandes y muchas de ellas están cerrando después de poco tiempo de operar; debido a esta situación, no se visualiza un salto grande en la industria de los productos microbiales (Waage y Greathead 1988).

En los países en desarrollo, donde es altamente elevado el costo de los insecticidas y frecuente la resistencia de las plagas a éstos, el control biológico tiene una aplicación especial que no ha sido ampliamente explotada (Greathead y Waage 1983). Por lo tanto, el control biológico constituye para América Latina el método de control de plagas más viable, ecológicamente recomendable y autosostenido (Altieri *et al.* 1989). En especial, el control biológico por

conservación es importante para países, que como México, tienen una agricultura basada principalmente en la siembra de los cultivos nativos; además esta estrategia de control biológico tiene la capacidad de promover el control de más de una especie plaga (Trujillo 1991). Por último, es importante señalar que la posibilidad de privatizar grandes superficies ejidales, la globalización de la economía, la inocuidad alimentaria, la agricultura orgánica y la introducción de plantas transgénicas con propiedades insecticidas, podrían alterar el marco ecológico y social dentro del cual se desarrolla el control biológico en México (Bernal y Quezada 1999, Arredondo y Hernández 2003). Por ello, urge llevar a cabo acciones inmediatas para impulsar el control biológico en acciones como: (1) Fortalecer las necesidades del control biológico clásico; (2) mejorar las tácticas de control biológico por aumento; (3) vigilar la calidad de los enemigos naturales disponibles en el mercado; (4) incrementar la eficiencia de la producción y distribución de enemigos naturales; (5) hacer conciencia entre los agricultores sobre la importancia del control natural; y (6) fortalecer las políticas de conservación y preservar la biodiversidad.

## LITERATURA CITADA

- Altieri, M. A., J. Trujillo, L. Campos, C. Klein-Koch, C. S. Gold y J. R. Quezada. 1989. El control biológico clásico en América Latina en su contexto histórico. *Manejo Integrado de Plagas* 12: 82-107.
- Anónimo. 1990. Manual de capacitación en control biológico. Cenicafé/ CIBC. Colombia. 174 p.
- Arredondo-Bernal, H. C. y V. M. Hernández. 2002. Sinopsis: situación actual del control biológico de plagas en México, pp. 175-186. *In: XIII Memoria del Curso Nacional de Control Biológico*. Sociedad Mexicana de Control Biológico
- Arredondo-Bernal, H. C. 2006. Aportaciones del control biológico en México, pp.218-232. *En: C.A. Ángel-Sahagún, (ed.), XVII Curso Nacional de Control Biológico*. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria-Sociedad Mexicana de Control Biológico. 250 p.
- Badii, M. H., A. E. Flores y L. J. Galán (eds.) 2000. Fundamentos y perspectivas de control biológico. Universidad Autónoma de Nuevo León, México. 462 p.
- Barrera, J. F., F. Infante, W. De la Rosa, A. Castillo y J. Gómez. 2000. Control biológico de la broca del café, pp. 211-229. *In: M.H. Badii, A.E. Flores & L. J. Galán W. (eds.), Fundamentos y perspectivas de control biológico*. Universidad Autónoma de Nuevo León, México. 462 p.
- Batra, S.W.T. 1982. Biological control in agroecosystems. *Science* 215: 134-139.
- Bernal, J. S. y J. R. Quezada. 1999. Perspectivas y desafíos para el control biológico en México. *Vedalia* 6: 3-14.
- Carrillo-Sánchez, J. L. 1985. Evolución del control biológico de insectos en México. *Folia Entomol. Mex.* 65: 139-146.
- DeBach, P. 1968. Éxitos, tendencias y posibilidades futuras, pp. 789-831. *In: P. DeBach, (ed.), Control biológico de las plagas de insectos y malas hierbas*. CECSA, México.
- DeBach, P. 1977. Lucha biológica contra los enemigos de las plantas. Mundi-Prensa, Madrid. 399 p.

- DeBach, P. y K. S. Hagen. 1968. Manipulación de especies entomófagas, pp. 515-546. *In:* P. DeBach (ed.), Control biológico de las plagas de insectos y malas hierbas. CECSA, México.
- Eilenberg, J., A. Hajek, and C. Lomer. 2001. Suggestions for unifying the terminology in biological control. *BioControl* 46: 387-400.
- Funasaki, G. Y., P. Y. Lai, L. M. Nakahara, J. W. Beardsley, and A. K. Ota. 1988. A review of biological control introductions in Hawaii. *Proc. Hawaii Entomol. Soc.* 28: 105-160.
- García-Valente, F., L. D. Ortega-Arenas, H. González-Hernández, J. A. Villanueva-Jiménez, J. López-Collado, A. González-Hernández y H. C. Arredondo-Bernal. 2007. Control biológico de la cochinilla rosada del hibisco *Maconellicoccus hirsutus* (Green) (Hemiptera: Pseudococcidae) en frutales de Bahía de Banderas, Nayarit. *Entomología Mexicana* 6(1): 488-492.
- García, R., L. E. Caltagirone, and A. P. Gutierrez. 1988. Comments on a redefinition of biological control. *BioScience* 38: 692-694.
- Greathead, D. J. and J. K. Waage. 1983. Opportunities for biological control of agricultural pests in developing countries. The World Bank, Washington, D.C., World Bank Technical Paper Number 11. 44 p.
- Hokkanen, H.M.T. 1985. Success in classical biological control. *CRC Crit. Rev. Plant Sci.* 3: 35-72.
- Holloway, J. K. 1968. Proyectos en el control biológico de malas hierbas, pp. 761-785. *In:* P. DeBach (ed.), Control biológico de las plagas de insectos y malas hierbas. CECSA, México.
- Howarth, F. G. 1983. Classical biocontrol: panacea o Pandora's box. *Proc. Hawaii Entomol. Soc.* 2/3: 239-244.
- Howarth, F. G. 1991. Environmental impacts of classical biological control. *Annu. Rev. Entomol.* 36: 485-509.
- Hoy, M. A. 1985. Improving establishment of arthropod natural enemies, pp.151-166. *In:* M.A. Hoy & D.C. Herzog (eds.), Biological control in agriculture IPM systems. Academic Press, N.Y.
- Huffaker, C. B. 1985. Biological control in integrated pest management: an entomological perspective, p. 13-23. *In:* M.A. Hoy & D.C. Herzog (eds.), Biological control in agriculture IPM systems. Academic Press, N.Y.
- Huffaker, C. B. and D. L. Dahlsten. 1999. Scope and significance of biological control, pp. 1-16. *In:* T.S. Bellows & T.W. Fisher (eds.), Handbook of biological control, principles and applications of biological control. Academic Press, San Diego.
- Hull, L. A. and E. H. Beers. 1985. Ecological selectivity: modifying chemical control practices to preserve natural enemies, pp. 103-122. *In:* M.A. Hoy & D.C. Herzog (eds.), Biological control in agriculture IPM systems. Academic Press, N.Y.
- Jiménez, E. J. 1958. El empleo de enemigos naturales para el control de insectos que constituyen plagas agrícolas en la República Mexicana. *Fitófilo* 21: 5-24.
- Johnson, D. and P. Stiling. 1998. Distribution and dispersal of *Cactoblastis cactorum* (Lepidoptera: Pyralidae), an exotic *Opuntia*-feeding moth, in Florida. *Florida Entomol.* 81: 12-22.
- Kim, K. C. 1991. Immigrant arthropod pests. *Crop Protection* 10: 4-5.
- Kuris, A. M. 2003. Did biological control cause extinction of the coconut moth, *Levuana iridescens*, in Fiji? *Biological Invasions* 5: 133-141.
- Laing, J. E. and J. Hamai. 1976. Biological control of insect pests and weeds by imported parasites, predators, and pathogens, pp. 685-743. *In:* C.B. Huffaker & P.S. Messenger (eds.), Theory and practice of biological control. Academic Press, N.Y.
- Liedo, P. y J. Cancino. 2000. Control biológico de moscas de la fruta, pp. 231-242. *In:* M.H. Badii, A.E. Flores & L. J. Galán W. (eds.), Fundamentos y perspectivas de control biológico. Universidad Autónoma de Nuevo León, México. 462 p.



- Louda, S. M., R. W. Pemberton, M. T. Johnson, and P. A. Follett. 2003. Nontarget effects- the Achilles' heel of biological control? Retrospective analyses to reduce risk associated with biocontrol introductions. *Annu. Rev. Entomol.* 48: 365-396.
- Rodríguez-del-Bosque, L. A. 1991. Teoría y bases ecológicas del control biológico, pp. 6-19. *In:* L.A. Rodríguez del Bosque & R. Alatorre (eds.), *Memorias del II Curso de Control Biológico*, SMCB-UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coah., México.
- Simberloff, D. and P. Stiling. 1996. How risky is biological control? *Ecology* 77: 1965-1974.
- Simmonds, F. J., J. M. Franz, and R. I. Sailer. 1976. History of biological control, pp. 17-39. *In:* C.B. Huffaker & P.S. Messenger (eds.), *Theory and practice of biological control*. Academic Press, N.Y.
- Smith, H. D., H. L. Maltby, and E. Jiménez. 1964. Biological control of the citrus blackfly in Mexico. US Dept. of Agriculture, Technical Bulletin 1311. 30 p.
- Stehr, F. W. 1975. Parasitoids and predators in pest management, pp. 147-188. *In:* R.L. Metcalf & W.H. Luckmann (eds.), *Introduction to pest management*. John Wiley & Sons, N.Y.
- Summy, K. R. and J. V. French. 1988. Biological control of agricultural pests: concepts every producer should understand. *J. Rio Grande Valley Hort. Soc.* 41: 119-133.
- Tauber, M. J., M. A. Hoy, and D. C. Herzog. 1985. Biological control in agriculture IPM systems: a brief overview of the current status and future prospects, pp. 3-9. *In:* M.A. Hoy & D.C. Herzog (eds.), *Biological control in agriculture IPM systems*, Academic Press, N.Y.
- Trujillo, J. 1991. Metodología del control biológico, pp. 43-46. *In:* L.A. Rodríguez del Bosque & R. Alatorre (eds.), *Memorias del II Curso de Control Biológico*, SMCB-UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coah., México.
- Van den Bosh, R., P. S. Messenger, and A. P. Gutierrez. 1982. *An introduction to biological control*. Plenum Press, N.Y. 247 p.
- Waage, J. K and D. Greathead. 1988. Biological control: challenges and opportunities, pp. 1-17. *In:* R.K.S. Wood & M.J. Way (eds.), *Biological control of pests, pathogens and weeds: developments and prospects*. The Royal Society, London.
- Wilson, F. and C. B. Huffaker. 1976. The philosophy, scope, and importance of biological control, pp. 3-15. *In:* C.B. Huffaker & P.S. Messenger (eds.), *Theory and practice of biological control*. Academic Press, N.Y.
- Zapater, M. C. (ed.). 1996. *El control biológico en América Latina*. Actas de la III Mesa redonda de control biológico en el Neotrópico. SRNT/IOBC. Buenos Aires, Argentina. 142 p.
- Zimmermann, H. y M. Pérez Sandi. 2006. Reporte técnico de la misión en el marco de la cooperación SAA con el Organismo Internacional de Energía Atómica. Mex 5029 02. Asesoría al programa de monitoreo sobre la palomilla del nopal *Cactoblastis cactorum* en la Península de Yucatán y evaluación del brote en Isla Mujeres, Quintana Roo. 6 al 19 septiembre 2006. 32 p.

**Fundamentos Ecológicos del Control Biológico**

*L. A. Rodríguez- del-Bosque*

INIFAP, Campo Experimental Río Bravo, Apartado Postal 172, Río Bravo, Tam., México 88900  
rodriguez.luis@inifap.gob.mx

---

---

**CONTENIDO**

<i>Introducción</i> .....	20
<i>Origen de las Plagas</i> .....	21
<i>Regulación de Poblaciones</i> .....	22
<i>Ecología Trófica</i> .....	24
<i>Atributos de Enemigos Naturales Efectivos</i> .....	25
<i>Mortalidad en Relación a la Eficiencia de Enemigos Naturales</i> .....	27
<i>Modelos y su Aplicación al Control Biológico</i> .....	28
<i>Controversias del Control Biológico</i> .....	31
<i>Literatura Consultada</i> .....	34

Rodríguez-del-Bosque, L. A. 2007. Fundamentos ecológicos del control biológico, pp. 19-35. *En*: L. A. Rodríguez-del-Bosque y H. C. Arredondo-Bernal (eds.), Teoría y Aplicación del Control Biológico. Sociedad Mexicana de Control Biológico, México. 303 p.

## INTRODUCCIÓN

El control biológico puede interpretarse de tres formas: (a) Como un campo de estudio en diferentes áreas, tales como Ecología de Poblaciones, Biosistemática, Comportamiento, Fisiología, y Genética; (b) como un fenómeno natural, casi todas las especies cuentan con enemigos naturales que regulan sus poblaciones; y (c) como una estrategia de control de plagas a través de la utilización de parasitoides, depredadores y patógenos.

Como estrategia de combate de plagas, el control biológico tiene una historia de casi 120 años. El primer caso exitoso de control biológico se logró en 1889 con el control espectacular de la escama algodonosa de los cítricos en California, E.U.A. después de introducir de Australia una catarinita depredadora. A este éxito le han seguido muchos más en el último siglo y aunque el gran auge de los pesticidas hace algunas décadas provocó un olvido temporal del control biológico, los efectos secundarios negativos de los plaguicidas, la opinión pública y el movimiento ambientalista en los últimos años han provocado un renovado interés por el control biológico a nivel mundial.

Se propuso recientemente ampliar el concepto de control biológico para incluir cualquier método de control "natural", como contraparte al control químico. Este concepto "amplio" de control biológico incluye otros tipos de control como la resistencia de plantas a insectos y el control autocida (macho estéril), disciplinas que cuentan con sus propias bases, principios y metodologías específicas que las han caracterizado a través de su respectivo contexto histórico como estrategias de control con identidad propia y que las diferencian del concepto tradicional de control biológico, definido en un capítulo previo. Una de las diferencias más importantes entre la resistencia de plantas, el control autocida y el control biológico radica en que la eficiencia del control varía de acuerdo a la densidad de la plaga: La eficiencia (% de control) en la resistencia de plantas es independiente de la densidad de la plaga; el control autocida es más eficiente a bajas densidades de la plaga; y el control biológico es generalmente más eficiente a altas densidades de la plaga. Esta y otras diferencias importantes justifican el rechazo de la idea del "concepto amplio" de control biológico. En este capítulo se revisa la teoría y bases ecológicas del control biológico, principalmente mediante el uso de parasitoides y depredadores (**control macrobiológico**). Las bases ecológicas del **control microbiológico** (uso de entomopatógenos) se discute en un capítulo posterior. Es importante conocer la teoría y los conceptos básicos en los que se fundamenta el control biológico para comprender y apreciar el alcance, limitaciones y ventajas de esta estrategia de control.

## ORIGEN DE LAS PLAGAS

El término **plaga** es un concepto creado por el hombre para referirse a cualquier organismo que perjudica su alimento, vivienda, vestido y salud. Las plagas sólo se encuentran en sistemas modificados por el hombre, como áreas urbanas, agroecosistemas, etc. En la naturaleza, no existen plagas, sólo **consumidores** que viven a expensas de **productores**. Aunque las plagas han estado asociadas al hombre desde tiempos inmemoriales, las batallas se han intensificado durante el presente siglo, cuando el hombre inició el estudio de la agricultura como ciencia.

Existen varias razones por las que un organismo se convierte en plaga: (a) Al ser introducido o al invadir una área previamente no colonizada por el organismo. Este es el caso de plagas **exóticas** o **introducidas**; (b) al ser estimulado por recursos abundantes y permanentes, situación característica de los agroecosistemas modernos. Generalmente, este es el caso de plagas **endémicas** o **nativas**; (c) al ser liberado de factores que lo controlan y regulan; (d) al producirse un cambio en el organismo, generalmente genético; y (e) al producirse cambios en las actividades y hábitos de la gente. Aunque el control biológico puede aplicarse en todos los casos anteriores, su utilización es más recurrida en los casos (a) y (b). En el caso (a), se utiliza el control biológico **clásico** y en el (b) el control biológico por **aumento** y por **conservación**, aunque los diferentes tipos de control biológico pueden aplicarse indistintamente en la mayoría de los casos, ya que su uso no es mutuamente exclusivo.

El análisis y comparación entre los **ecosistemas naturales** (complejo de comunidades que interaccionan entre sí en un medio ambiente determinado) y los **agroecosistemas** (ecosistema modificado por el hombre para satisfacer sus necesidades alimenticias) es la base para explicar la presencia de plagas. La diferencia más obvia entre los dos sistemas es la **estabilidad**; mientras que los ecosistemas naturales son generalmente estables, los agroecosistemas son altamente inestables por los siguientes factores: (a) La energía en los agroecosistemas es subsidiada (fertilizantes, irrigación, pesticidas, etc.), mientras que los ecosistemas naturales son **autosuficientes** y **homeostáticos**; (b) los agroecosistemas son sistemas simplificados con un número limitado de especies (flora y fauna); los monocultivos, característicos de los agroecosistemas provocan la simplificación de especies lo que favorece la inestabilidad del sistema y predispone la presencia de plagas; (c) los agroecosistemas requieren de cultivos homogéneos para facilitar el manejo del cultivo (prácticas culturales, cosecha, etc.); generalmente estos cultivos homogéneos cuentan con una base genética limitada, lo que también fomenta la inestabilidad del sistema, al minimizarse la diversidad genética. Todos estos factores, individualmente o en conjunto,

favorecen la inestabilidad de los agroecosistemas y predisponen el crecimiento incontrolado de plagas.

## REGULACIÓN DE POBLACIONES

El concepto **balance de la naturaleza** se define como la tendencia natural de las poblaciones de plantas y animales a no crecer hasta el infinito ni decrecer hasta extinción, como resultado de procesos reguladores en ambientes no disturbados (ecosistemas naturales). El **control natural** se refiere al mantenimiento de la densidad de una población que fluctúa dentro de ciertos límites inferior y superior durante un periodo de tiempo, como consecuencia de la acción combinada de todos los factores (**bióticos** y **abióticos**) del medio ambiente. Esto significa que el control natural incluye los factores vivos (enemigos naturales, propiedades intrínsecas de la especie) y los no vivos o físicos (luz, precipitación y temperatura).

Aunque se han utilizado erróneamente como sinónimos, los términos **control** y **regulación** se refieren a diferentes procesos que producen diferentes efectos sobre las poblaciones. **Control** se refiere a factores de supresión que destruyen un porcentaje fijo de la población independientemente de la densidad de la población. Por ejemplo, el efecto de una lluvia eliminaría (hipotéticamente) el 80% de la población de un áfido sin importar que la densidad del áfido sea de 10 mil o 10 millones/ha. Similarmente, el control de un insecticida podría esperarse en un 90% independientemente de la densidad de la plaga. Una población puede ser reducida rápida y substancialmente por medio de un "control", sin embargo los efectos del control son generalmente cortos y seguidos por una rápida **resurgencia** de la plaga (Fig 1 A).

En contraste, **regulación** incluye el efecto de los factores del medio ambiente cuya acción es determinada por la densidad de la población; es decir se destruye un porcentaje más alto cuando se incrementa la población y viceversa. Por ejemplo, al aumentar la densidad de una plaga, se incrementa también la disponibilidad de recursos alimenticios o sitios de reproducción del factor regulador (enemigo natural), lo que permite incrementar también su propia densidad. Este incremento del enemigo natural trae como consecuencia un aumento en el porcentaje de mortalidad de la plaga como resultado del parasitismo o depredación, hasta llegar a cierto nivel máximo (los enemigos naturales nunca eliminan el 100% de sus huéspedes/presas); inversamente, al decrecer la población de la plaga, la densidad del enemigo natural también disminuye como resultado de los efectos de la escasez de alimento, dispersión y otros factores, lo cual resulta en un decremento en el porcentaje de mortalidad de la plaga por el enemigo natural (parasitismo/depredación) (Fig. 1B). Este proceso

garantiza la no extinción del huésped/presa, lo cual evita también la extinción del enemigo natural.

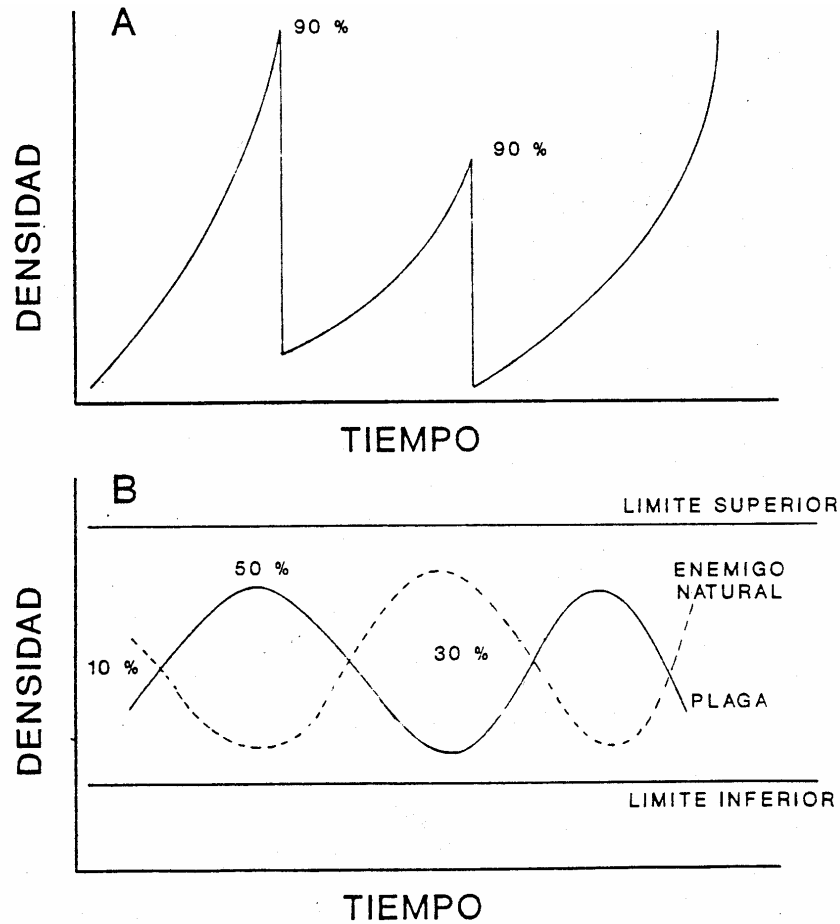


Figura 1. Diferencias entre control (A) y regulación (B). El control (por ejemplo de un insecticida) destruye un porcentaje de la plaga independientemente de la densidad de la población; el efecto del control es generalmente corto y fomenta la resurgencia de la plaga. El proceso de regulación es caracterizado por una mortalidad que varía de acuerdo a la densidad de la plaga; la mortalidad (por enemigos naturales) se intensifica a densidades altas de la plaga y se relaja a densidades bajas, lo cual mantiene en equilibrio las densidades tanto del enemigo natural como de la plaga dentro de límites inferior y superior.

Lo anterior demuestra que los mecanismos y efectos del proceso de regulación son fundamentalmente diferentes de los procesos de control. Control

implica una supresión **densidad-independiente**, constante sin importar la densidad, generalmente con efectos durante periodos cortos, y fomenta las fluctuaciones altamente variables de las plagas. Regulación implica una supresión **densidad-dependiente** la cual se intensifica y se relaja de acuerdo a la densidad de la plaga. El efecto de regulación es el mantenimiento de la plaga y su enemigo natural en equilibrio dentro de niveles inferiores y superiores por un tiempo indefinido.

Los **factores de mortalidad bióticos** (parasitoides y depredadores) son típicamente reguladores, ya que actúan en forma densidad-dependiente. Esta característica, es una de las bases ecológicas del control biológico, además de representar una de sus ventajas, ya que la supresión de las plagas es estable y permanente. En contraste, los **factores de mortalidad abióticos** (no vivientes o físicos), entre los cuales se puede incluir al uso de insecticidas, son incapaces de regular la población de plagas, debido a que su acción es densidad-independiente. Sin embargo, cabe mencionar que el concepto de regulación de poblaciones ha sido históricamente controversial y polémico. Se han propuesto ideas y teorías alternativas; por ejemplo, Andrewartha y Birch (1954), en su libro "La abundancia y distribución de los animales" concluyen que los factores densidad-dependientes no existen y ponen un énfasis particular a los factores densidad-independientes, los que según ellos son los responsables por la regulación de las poblaciones. Los argumentos que rechazan esta idea y que reafirman la importancia de los procesos densidad-dependientes son detallados por Huffaker *et al.* (1971).

Otros dos conceptos importantes relacionados con la ecología de poblaciones y que deben ser diferenciados de los factores de regulación son los factores **determinantes** y **limitantes** de la población. Los primeros se refieren a factores del medio ambiente (luz, temperatura, humedad, etc.) que influyen directa o indirectamente en la vitalidad, actividad o reproducción de un organismo. Los segundos son factores independientes de la densidad y que establecen el nivel máximo en el que la población puede sobrevivir (sitios de oviposición, lugares de protección, alimento disponible, etc.); siempre existe al menos uno de estos factores con el potencial de limitar una especie en un ecosistema determinado.

## ECOLOGÍA TRÓFICA

Para que exista verdadera regulación de poblaciones debe existir **reciprocidad** o **retroalimentación**, lo cual sólo se logra con factores densidad-dependientes (bióticos), en donde las densidades del huésped/presa y del enemigo natural se retroalimentan mutuamente (Fig 1B). Esta reciprocidad es un

argumento más para rechazar la idea de que los factores densidad-independientes (abióticos) tienen funciones regulativas; por ejemplo, una lluvia puede influir en la densidad de una plaga, pero la densidad de la plaga no tendrá ningún efecto sobre la lluvia, es decir no existe retroalimentación entre la plaga y la lluvia, lo que descarta cualquier proceso regulativo en este caso.

Al hablar de los procesos de densidad-dependientes, surge una pregunta: ¿Qué mecanismos obligan a los enemigos naturales a intensificar o disminuir su actividad en función de la densidad de los huéspedes/presas? Los enemigos naturales son capaces de modificar su estrategia de ataque en función de la densidad del huésped/presa principalmente con base en dos mecanismos: (a) **Respuesta funcional**, que se refiere a la respuesta (cambio) en el comportamiento de los individuos (parasitoide o depredador) en función de los cambios en la densidad del huésped o presa; una respuesta positiva significa un mayor consumo al aumentar la densidad del huésped/presa y viceversa; y (b) **respuesta numérica**, la cual se define como la respuesta (reproducción, inmigración, sobrevivencia) de la población de un parásitoide/depredador que resulta de los cambios en la densidad del huésped/presa; una respuesta positiva significa una mayor reproducción, inmigración y supervivencia al aumentar el número de huéspedes/presas y viceversa. Un tercer mecanismo, es otro tipo de respuesta funcional, pero relacionado con la propia densidad del enemigo natural. En este caso, la respuesta funcional del enemigo natural a su propia densidad, resulta de la acción de dos componentes: (a) **Explotación**, es el resultado de los enemigos naturales que compiten por el mismo recurso; al aumentar la densidad del enemigo natural, la probabilidad de encontrar un huésped/presa disponible disminuye; y (b) **interferencia**, al aumentar la densidad del enemigo natural, los contactos se hacen más frecuentes y la eficiencia disminuye. La **respuesta total** se refiere a la acción combinada de las respuestas funcional y numérica (Fig. 2).

## ATRIBUTOS DE ENEMIGOS NATURALES EFECTIVOS

Desde el punto de vista económico, un enemigo natural efectivo es aquel capaz de regular la densidad de población de una plaga y mantenerla en niveles abajo del umbral económico establecido para un determinado cultivo. Aunque se han utilizado una gran diversidad de especies de enemigos naturales en una gran cantidad de programas de control biológico, las especies que han demostrado ser efectivas poseen en común ciertas características que deben ser consideradas en la planeación y conducción de nuevos programas. En general, los enemigos naturales más efectivos comparten las siguientes características: (a) Adaptabilidad a los cambios en las condiciones físicas del medio ambiente; (b) alto grado de especificidad a un determinado huésped/presa; (c) alta capacidad de crecimiento poblacional con respecto a su huésped/presa; (d) alta capacidad de búsqueda,



particularmente a bajas densidades del huésped/presa; (e) sincronización con la fenología del huésped/presa y capacidad de sobrevivir periodos en los que el huésped/presa esté ausente; y (f) capaz de modificar su acción en función de su propia densidad y la del huésped/presa, es decir mostrar densidad-dependencia.

La capacidad de búsqueda ha sido señalada como el atributo individual más importante (Huffaker *et al.* 1971, 1977), debido a que esta habilidad permite que el enemigo natural sea capaz de sobrevivir incluso a bajas densidades de su huésped/presa. Sin embargo, un enemigo natural no tendría una capacidad de búsqueda sobresaliente si no posee otra o varias de las demás características mencionadas. Por lo tanto, el enemigo natural ideal debe poseer una buena combinación de todos los atributos posibles.

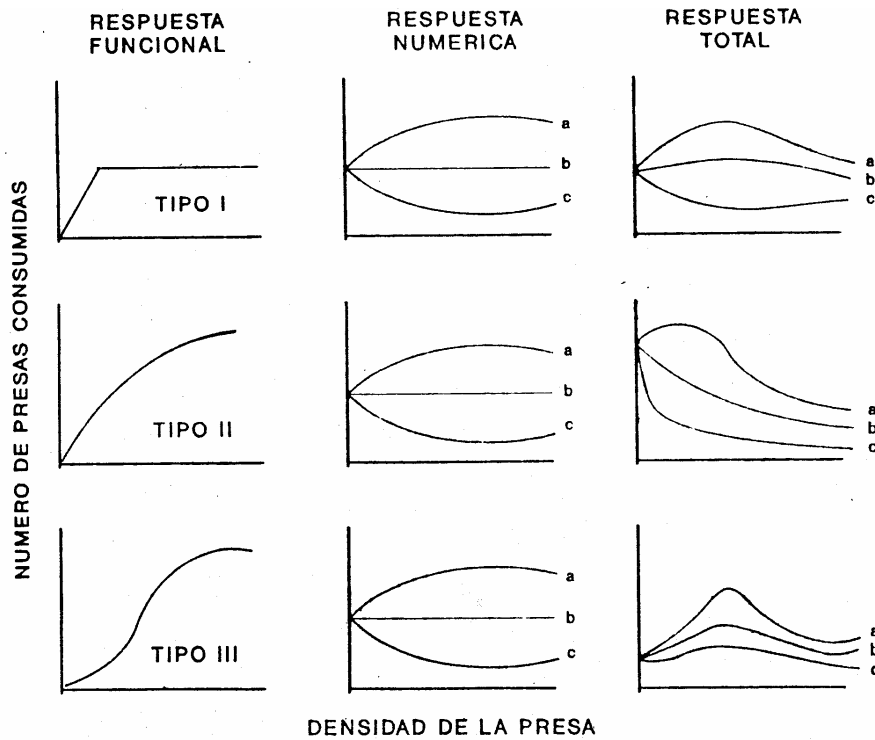


Figura 2. Respuesta total, en función de diferentes tipos de respuesta funcional y numérica. Con los tipos I y II de respuesta funcional, el proceso de regulación sólo ocurre en el caso "a". En el tipo III, los procesos regulativos son posibles en los tres casos (a, b y c).

## MORTALIDAD EN RELACIÓN A LA EFICIENCIA DE ENEMIGOS NATURALES

**Mortalidad aparente** se refiere a la mortalidad que ocurre en una edad específica (estado, estadio) y se calcula al dividir el número de individuos que mueren durante una clase de edad determinada sobre el número que habían entrado a dicha clase. Por ejemplo, si un parasitoide braconídeo ataca 200 larvas de un total de 500 que existen en un sistema, la mortalidad aparente atribuida a dicho parasitoide es del 40% (200/500). Este tipo de mortalidad es la más comunmente reportada en programas de evaluación del impacto de enemigos naturales.

La **mortalidad real** se define como la mortalidad que ocurre en una edad específica en relación al número inicial de individuos de la generación. Siguiendo con el ejemplo anterior, si el número inicial de individuos eran 1000 huevos, la mortalidad real atribuida al braconídeo es del 20% (200 larvas parasitadas/1000 huevos iniciales). Este tipo de mortalidad permite evaluar el impacto generacional que tienen los factores de mortalidad, aunque pocas veces se calcula.

El tercer tipo y quizá la más importante para comparar el impacto de factores de mortalidad es la **mortalidad indispensable** o **irreemplazable**, sin embargo su estimación en estudios poblacionales, incluidos los de control biológico es poco frecuente. La mortalidad indispensable se define como la mortalidad generacional que no habría ocurrido si algún factor de mortalidad determinado hubiera sido removido y después haber permitido la acción de factores subsecuentes; es decir, representa la mortalidad "pura" causada por un factor en una edad específica sin el efecto de dilución que ocasionan otros factores de mortalidad en edades subsecuentes.

Volviendo al ejemplo anterior, de los 1000 huevos iniciales, sólo sobrevivieron 500 larvas, ya que la mitad de los huevos murieron por el parasitismo de un trichogramátido; en este caso la mortalidad aparente de los huevos es igual a la real (50%). De las 500 larvas, 300 sobreviven a pupas, ya que 200 fueron destruidas por el parasitoide braconídeo; en este caso la mortalidad aparente y real fue del 40 y 20%, respectivamente. Finalmente, de las 300 pupas sólo emergen 30 adultos ya que un parasitoide eulófido destruye 270 pupas; la mortalidad aparente de pupas fue del 90% (270/300) y la real de 27% (270/1000). Aparentemente, el trichogramátido es el factor de mortalidad más importante ya que destruyó 500 individuos. Sin embargo, después de algunos cálculos se observa que el trichogramátido solo provocó un 3% de mortalidad indispensable. Esto se calcula de la siguiente manera: Los adultos que sobrevivirían si se omite la mortalidad de los huevos serían 60 (se obtuvo al mantener los porcentajes de

mortalidad de larvas y pupas); a esta cantidad se le resta el número de sobrevivientes reales (30) y se multiplica por 100, entonces  $(60-30) \times 100 = 3\%$ . De la misma manera, se calcula la mortalidad indispensable del braconido parasitoide de larvas: Los individuos que sobrevivirían si se omite la mortalidad de larvas (conservando la mortalidad de huevos y pupas), serían 50, por lo tanto  $(50-30) \times 100 = 2\%$  de mortalidad indispensable para el braconido. Finalmente, serían 300 sobrevivientes si se omite la mortalidad de pupas (conservando la mortalidad de huevos y larvas), por lo que  $(300-30) \times 100 = 27\%$  de mortalidad indispensable para el eulófido. Esto demuestra que el impacto más importante de acuerdo con el cálculo de mortalidad indispensable lo obtuvo el parasitoide de pupas y no el trichogramátido (huevos) el cual aparentemente destruyó el mayor número de individuos.

Existe la creencia general que la alta mortalidad de huevos por parasitoides/depredadores es un factor importante en el control de una plaga determinada. Sin embargo, las etapas iniciales de los insectos (huevos, larvas pequeñas) son susceptibles a factores abióticos, los que provocan una alta mortalidad. A pesar de que un porcentaje de parasitismo del 80% de los huevos parecería sustancial, los huevos parasitados de cualquier manera serían destruidos por otros factores de mortalidad subsecuentes. Por este motivo, los factores de mortalidad en las etapas iniciales provocan porcentajes bajos de mortalidad indispensable. En contraste, la mortalidad indispensable en factores de mortalidad en las etapas finales (larvas grandes, pupas) es generalmente más sustancial debido a que ya no habrá otros factores de mortalidad que "diluyan" su efecto. Por supuesto que la regulación de una población de plagas se logra idealmente a través de una buena combinación de factores de mortalidad en todas las etapas fenológicas de la plaga. Los programas de control biológico deben incluir parasitoides de huevos, larvas (diferentes estadios) y pupas.

## **MODELOS Y SU APLICACIÓN AL CONTROL BIOLÓGICO**

El papel que juegan los parasitoides y depredadores en la dinámica de poblaciones naturales ha sido una de los aspectos menos entendidos y a la vez más controversiales en el estudio de la ecología de poblaciones. Aunque existen muchos casos exitosos de control biológico, en la mayoría de ellos se carecía de información sobre las propiedades biológicas y ecológicas de los enemigos naturales antes de su liberación para predecir el grado de éxito o no se desarrollaron estudios después para explicar los mecanismos involucrados. Las bases teóricas en las que se desarrollan las interacciones entre parasitoides (depredadores) y huéspedes (presas) han sido ignoradas en la mayoría de los programas de control biológico, lo que reduce las posibilidades de obtener un panorama más claro acerca de los posibles resultados de dichos programas.

Los modelos poblacionales describen los cambios en la densidad de los individuos en una población en un tiempo y espacio determinados. Un modelo predictivo describe los cambios que ocurrirían en una población de acuerdo con una serie de condiciones ambientales y datos poblacionales iniciales. Durante los últimos 70 años los modelos poblacionales han evolucionado en complejidad, y en la actualidad se requiere frecuentemente de la ayuda de computadoras para lograr la solución a las ecuaciones.

La importancia de los modelos en el control biológico puede resumirse en los siguientes puntos: (a) Son esenciales para comprender los procesos de regulación de poblaciones de plagas a través del uso de enemigos naturales; (b) permiten agrupar y jerarquizar los atributos de los enemigos naturales y su impacto en el grado de éxito que han obtenido diversos programas de control biológico; (c) permiten ajustar los programas en desarrollo y predecir los resultados posibles con la introducción de nuevos enemigos naturales; y (d) permiten desarrollar teorías más robustecidas que sirvan de cimientos al establecer programas nuevos.

En general, se reconocen cinco etapas principales en la evolución de modelos poblacionales: (1) Modelos que incluyen una especie, (2) modelos de dos especies sin estructura de edades, (3) modelos de matrices con estructura de edades, (4) modelos de sistemas de poblaciones orientados al análisis de los procesos involucrados, y (5) modelos de sistemas de comunidades con múltiples especies. Stimac (1982) presenta un análisis de estas diferentes etapas y ofrece algunos ejemplos. Por su parte, Huffaker *et al.* (1977) analizan y discuten los principales modelos de interacción parasitoide/huésped o depredador/presa, principalmente en función de su estabilidad. A continuación se presentan algunos de los modelos relacionados con la teoría del control biológico:

(1) **Modelo exponencial:**  $dN/dt = rN \implies N_t = N_0 e^{rt}$

(2) **Modelo logístico :**  $dN/dt = rN (K-N/K) \implies N_t = K / (1 + ae^{-rt})$ ,  $a = K/N_0$

donde:  $r$  = tasa intrínseca de crecimiento;  $N$  = # de individuos;  $K$  = capacidad máxima del medio ambiente; y  $t$  = # de generación.

Estos dos modelos fueron los primeros en los que se utilizaron representaciones matemáticas para predecir cambios poblacionales. Aunque estos modelos pueden representar el crecimiento poblacional en situaciones simples (particularmente en las etapas iniciales del crecimiento), su utilización es limitada debido a que se ignoran hasta las más simples propiedades biológicas; no se

considera estructura de edades ni sobrevivencia y se asume reproducción continua. Mientras que en el modelo exponencial, las poblaciones crecen hasta el infinito, el modelo logístico fue el primero en reconocer que las poblaciones crecen hasta alcanzar un límite máximo (K).

(3) **Modelo de Lotka-Volterra:**  $dN/dt = aN - yNP \Rightarrow$  presa  
 $dP/dt = -bP + zNP \Rightarrow$  depredador

donde: N= # de presas; P= # de depredadores; a= tasa de crecimiento (presa); b= tasa de mortalidad (depredador); y= habilidad de escape (presa); y z= habilidad de caza (depredador)

Este es el primer modelo que describe las interacciones entre dos especies: Presa y depredador. Aunque las asunciones son aún simplísticas, la importancia del modelo radica en que se incorpora la noción de la densidad-dependencia entre dos especies. En función de los valores de los parámetros, el modelo permite la coexistencia de las dos especies o la eliminación de una de ellas.

(4) **Modelo de Nicholson-Bailey:**  $H_{t+1} = fH_t e^{-aP_t} \Rightarrow$  huésped  
 $P_{t+1} = H_t(1 - e^{-aP_t}) \Rightarrow$  parásito

donde  $H_t$ = # huéspedes en la generación t; f= tasa de crecimiento (huésped);  $P_t$ = # parasitoides en la generación t; y a= área de descubrimiento

El modelo de Nicholson-Bailey asume que los parasitoides buscan al azar a los huéspedes, que los cambios en las densidades del parasitoide y huésped no influyen en la tasa de ataque del parasitoide, que la fecundidad y mortalidad (por otros factores diferentes al parasitismo) son constantes, y que los parasitoides no tienen limitaciones en su dotación de huevos. El modelo carece de estabilidad: cambios pequeños en los parámetros "a" y "f" prducen oscilaciones que crecen en amplitud hasta provocar la extinción del huésped y parasitoide. La contribución más importante de este modelo es el concepto de "a" = área que recorre en promedio un parasitoide durante toda su vida en búsqueda de huéspedes. Este parámetro es un atributo que puede ser evaluado cuantitativamente para comparar especies de parasitoides. El cálculo de "a" es por medio de la siguiente ecuación:  $a = 1/P \log N/S$ ; donde P= # parasitoides iniciales; N= # huéspedes iniciales; y S= # huéspedes finales (no parasitados).

(5) **Modelo de Varley et al. (1973):**  $N_{n+1} = FN_n \exp(-Na/N_n) \Rightarrow$  huésped  
 $P_{n+1} = N_n [1 - \exp(Na - N_n)] \Rightarrow$  parasitoide

donde el número de huéspedes parasitados=  $N_a = a' T N_n P_n^{1-m} / 1 + a' T_h N_n P_n^{-m}$ ;  
F= tasa de crecimiento; T= tiempo total de búsqueda;  $T_h$ = tiempo de manipuleo;  
m= interferencia mutua;  $a'$ = tasa instantánea de descubrimiento (coeficiente de  
ataque); y n= # de generación

Este modelo está basado en el de Nicholson-Bailey, con la incorporación de los conceptos de respuesta funcional ( $T_h$ = tiempo de manipuleo, aportado por Holling 1966), e interferencia mutua (m, aportado por Hassell y Varley 1969), los cuales producen una ganancia sustancial en la estabilidad en las interacciones parasitoide/huésped.

Al analizar la estabilidad de los modelos relacionados con el control biológico, Hassell y May (1973) identificaron tres factores importantes en la interacción parasitoide/huésped, todos relacionados con respuestas de parasitoides: (a) La respuesta funcional a cambios en la densidad del huésped; (b) la respuesta a su propia densidad (interferencia mutua); y (c) la respuesta a la distribución del huésped. En base a lo anterior, ellos sugieren que en la búsqueda de enemigos naturales para su utilización en programas de control biológico, aquellos que cuenten con los siguientes atributos son los que tendrían una mayor posibilidad de lograr una relación estable con su huésped a bajas densidades: (a) Alta eficiencia en su capacidad intrínseca de búsqueda, lo cual es necesario para lograr el equilibrio a densidades bajas; (b) poco tiempo de manipuleo ( $T_h$ ) en relación con el tiempo total de búsqueda (T), lo que minimizará la inestabilidad resultante de la respuesta funcional; (c) un grado de interferencia mutua en el rango de  $0 < m < 1$ , lo que contribuye a la estabilidad de la interacción, y (d) alto grado de agregación de los parasitoides con respecto a la distribución del huésped. Sin embargo, aunque estos atributos tienen un respaldo teórico robusto, ha sido aún difícil predecir el grado de éxito que tendrán los programas de control biológico en base a los atributos que poseen los enemigos naturales (DeBach 1974).

## CONTROVERSIAS DEL CONTROL BIOLÓGICO

El contexto histórico de cualquier área de estudio está lleno de controversias al emerger nuevas ideas, teorías y corrientes del pensamiento; el control biológico no es la excepción. Se presenta a continuación un breve panorama de los principales conceptos que han provocado discusión en la teoría y práctica del control biológico; análisis detallados sobre estas polémicas se presentan en Douthett y DeBach (1966) y Huffaker *et al.* (1971).

**Control biológico de plagas introducidas Vs. plagas endémicas.** Los primeros éxitos de control biológico se lograron contra plagas de origen

extranjero (control biológico clásico), al importar enemigos naturales del lugar de origen. Se pensó en el pasado que el control biológico clásico estaba limitado al control de plagas exóticas. Sin embargo, se ha demostrado en diversos casos que la importación de enemigos naturales exóticos tienen potencial para regular las plagas endémicas o nativas. Uno de los casos más sobresalientes lo representa el control exitoso de un colóptero minador de la hoja del cocotero, una plaga nativa de Fiji, a través de la introducción de un parasitoide originario de Java donde parasita otras especies de minadores. Se obtuvo un control completo durante el primer año.

**Control biológico de plagas de cultivos perennes Vs. anuales.** Aunque el control biológico clásico se ha logrado exitosamente en una gran diversidad de cultivos, la evidencia indica que la probabilidad de éxito es mayor en los perennes que en los anuales. Esto se debe básicamente a que los cultivos perennes se asemejan más a los ecosistemas naturales, es decir las perturbaciones provocadas por las labores de cultivo son mucho menores en los cultivos perennes que en los anuales. Consecuentemente, la probabilidad de establecimiento de los enemigos naturales introducidos es menor en los cultivos anuales. Esto no significa sin embargo, como algunos lo han señalado, que la práctica del control biológico clásico sea exclusiva de cultivos perennes. Como alternativas al control biológico clásico en cultivos anuales, se ha practicado frecuentemente las modalidades de conservación e incremento.

**Control biológico con depredadores Vs. parasitoides.** Los programas exitosos de control biológico han incluido con mayor frecuencia la utilización de parasitoides que depredadores. La utilización limitada de los depredadores se debe principalmente a ciertas desventajas con respecto a los parasitoides: los depredadores son menos específicos (contra especies y etapas de desarrollo), menor adaptación, menor movilidad, y menor eficiencia alimenticia que los parasitoides. Sin embargo, no puede negarse la importancia de los depredadores en el contexto general de control natural. Algunos opinan que el papel de los depredadores ha sido subestimado, y que deberían considerarse con mayor frecuencia en programas de control biológico. El primer caso exitoso de control biológico hace un siglo, incluyó la utilización de un depredador, la catarinita *Rodolia cardinalis*, la cual logró un control espectacular de la escama algodonosa de los cítricos en California.

**Utilización de enemigos naturales polífagos Vs. monófagos.** La mayoría de los casos exitosos de control biológico han sido logrados a través de la utilización de enemigos naturales con hábitos alimenticios restringidos a una especie de plaga. El uso de agentes específicos en el control biológico de maleza es obvio debido al riesgo que implica importar agentes polífagos, que pudieran convertirse en plagas de cultivos comerciales. En el caso de enemigos naturales

de plagas, la especificidad es un requisito para lograr una asociación más estrecha entre las densidades de la plaga y el enemigo natural (= regulación). En general, se considera a los enemigos naturales específicos como más efectivos y confiables.

**Introducción de múltiples especies Vs. "la mejor".** Se ha criticado la importación múltiple, es decir la introducción simultánea o secuencial de varias especies de enemigos naturales a una área determinada. Los argumentos se basan en que ésta práctica ha provocado el **desplazamiento competitivo** de algunas de las especies importadas. Un ejemplo de esta situación es el caso del control biológico de la escama roja de los cítricos en California, E.U.A., en donde tres especies de *Aphytis* fueron importadas sucesivamente y una de ellas desplazó a las otras. Para evitar esta situación, esta corriente sugiere importar "la mejor" especie de enemigo natural después de realizar estudios detallados. Esta corriente ha sido severamente criticada, ya que los resultados de las importaciones múltiples han sido satisfactorios; incluso en los casos en que se ha provocado el desplazamiento competitivo, las especies sobrevivientes fueron las más adaptadas y agresivas, lo que incrementa las probabilidades de éxito. El caso de la escama roja es uno de los casos exitosos de control biológico. Además se critica que la realización de estudios detallados antes de liberar enemigos naturales para liberar sólo "la mejor" son imprácticos e irreales. Se carece aún de la capacidad para seleccionar una especie como la "mejor" entre varias, y asegurar que esta especie logrará un mejor papel que las "descartadas". Existen por supuesto algunos criterios y atributos que pueden utilizarse en la preselección de especies a liberar, pero no a tal grado de considerar una como la "mejor" y concentrarse en ésta. La mejor prueba que puede tener un enemigo natural es su liberación en el área problema y observar su capacidad de adaptación y control. El éxito en muchos casos de control biológico en donde se ha practicado la importación múltiple radica en que las especies se complementan en su actividad; es improbable que el grupo de enemigos naturales coincidan en sus hábitats y nichos ecológicos.

**Control biológico de plagas directas Vs. indirectas.** Se ha sugerido que el control biológico sólo es factible contra plagas **indirectas** (daños en cualquier parte de la planta, excepto el producto que se comercializa, generalmente el fruto) e imposible contra plagas **directas** (daños en el fruto). Esto ha sido rebatido con el éxito de varios programas de control biológico, entre ellos el de la escama del olivo en California, E.U.A.

En conclusión, algunos conceptos seguirán siendo polémicos y seguramente otros emergerán al desarrollarse nuevas teorías y corrientes. Sin embargo, las controversias mencionadas sugieren en general que el control biológico no está limitado a ciertas áreas geográficas, cultivos o plagas. La gran variedad de casos exitosos indican que el control biológico no tiene límites.



## LITERATURA CONSULTADA

- Andrewartha, H. G. and L. C. Birch. The distribution and abundance of animals. Univ. Chicago Press, Chicago. 782 p.
- Coppel, H. C. and J. W. Mertins. 1977. Historical, theoretical and philosophical bases of biological insect pest suppression. *In: Biological Insect Pest Suppression*. Springer-Verlag, Advanced Series in Agricultural Sciences. pp. 14-34.
- DeBach, P. 1974. Biological control by natural enemies. Cambridge Univ. Press. 323 p.
- Doutt, R. L. and P. DeBach. 1964. Some biological control concepts and questions, pp. 118-142. *In: P. DeBach (ed.), Biological Control of Insect Pests and Weeds*. Chapman and Hall, London.
- Hassell, M. P. and R. M. May. 1973. Stability in insect host-parasite models. *J. Anim. Ecol.* 42: 693-726.
- Hassell, M. P. and G. C. Varley. 1969. New inductive population model for insect parasites and its bearing on biological control. *Nature* 223: 1133-1137.
- Hassell, M. P. and J. K. Waage. 1984. Host-parasitoid population interactions. *Ann. Rev. Entomol.* 29: 89-114.
- Holling, C. S. 1961. Principles of insect predation. *Annu. Rev. Entomol.* 6: 163-182.
- Holling, C. S. 1966. The functional response of invertebrate predators to prey density. *Mem. Entomol. Soc. Can.* 48: 1-86.
- Huffaker, C. B., P. S. Messenger, and P. DeBach. 1971. The natural enemy component in natural control and the theory of biological control, pp. 16-67. *In C.B. Huffaker (ed.), Biological Control*. Plenum Press, New York.
- Huffaker, C. B., R. F. Luck, and P. S. Messenger. 1977. The ecological basis of biological control. *Proc. XV Internat. Cong. Entomol., Washington, D.C. Aug. 19-27, 1976*. pp. 560-586.
- Huffaker, C. B., F. J. Simmons, and J. L. Laing. 1976. The theoretical and empirical basis of biological control. *In: C. B. Huffaker and P. S. Messenger (eds.), Theory and Practice of Biological Control*. Academic Press, New York. pp. 41-78.
- Murdoch, W. W. 1990. The relevance of pest-enemy models to biological control, pp. 1-24. *In: M. Mackauer, L.E. Ehler and J. Roland (eds.), Critical Issues in Biological Control*. Intercept, New York.
- Rabinovich, J. E. 1980. Introducción a la ecología de poblaciones animales. CECSA, México. 313 p.
- Smith, H. S. 1935. The role of biotic factors in the determination of population densities. *J. Econ. Entomol.* 28: 873-989.
- Solomon, M. E. 1949. The natural control of animal populations. *J. Anim. Ecol.* 18: 1-35.
- Stimac, J. L. 1982. History and relevance of behavioral ecology in models of insect population dynamics. *Florida Entomol.* 65: 9-16.
- Summy, K. R. and J. V. French. 1988. Biological control of agricultural pests: Concepts every producer should understand. *J. Rio Grande Hort. Soc.* 41: 119-133.
- Turnbull, A. L. and D. A. Chant. 1961. The practice and theory of biological control in Canada. *Can. J. Zool.* 39: 697-753.
- van Emden, H. F. and G. F. Williams. 1974. Insect stability and diversity in agro-ecosystems. *Ann. Rev. Entomol.* 19: 455-475.

- Varley, G. C. and G. R. Gradwell. 1970. Recent advances in insect population dynamics. *Ann. Rev. Entomol.* 15: 1-24.
- Varley, C. G., G. R. Gradwell, and M. P. Hassell. 1973. *Insect population ecology, an analytical approach.* Univ. California Press, Berkeley. 212 p.
- Waage, J. K. 1990. Ecological theory and the selection of biological control agents, pp. 135-158. *In:* M. Mackauer, L. E. Ehler and J. Roland (eds.), *Critical Issues in Biological Control.* Intercept, New York.

**Importancia de la Sistemática en Control Biológico**

**A. González-Hernández<sup>1</sup> y J. I. López-Arroyo<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Fac. de Ciencias Biológicas, U.A.N.L. Apdo. Postal 122 – F. San Nicolás de los Garza, N.L.  
66450 México. agonzale@fcb.uanl.mx

<sup>2</sup>INIFAP Campo Experimental General Terán. Apdo. Postal 3. General Terán, N. L., 67400 México.  
lopez.jose@inifap.gob.mx

---

---

**CONTENIDO**

<i>Introducción</i> .....	37
<i>Utilidad de la Sistemática en Control Biológico</i> .....	37
<i>Apoyos de Taxonomía en Control Biológico</i> .....	41
<i>Clasificación y su Relación con Control Biológico</i> .....	43
<i>La Necesidad y Oportunidad de la Sistemática en México</i> .....	44
<i>Literatura Citada</i> .....	45

González-Hernández, A. y J. I. López Arroyo. 2007. Importancia de la sistemática en control biológico, pp. 36-47. *En*: L. A. Rodríguez-del-Bosque y H. C. Arredondo-Bernal (eds.), Teoría y Aplicación del Control Biológico. Sociedad Mexicana de Control Biológico, México. 303 p.

## INTRODUCCIÓN

Para algunos especialistas, la Taxonomía y la Sistemática tienen diferentes objetivos; sin embargo, la Sistemática estudia la diversidad biológica y las interrelaciones (filogénicas y biológicas) entre los organismos (Danks 1988, Rose *et al.* 1995, Pinto 1996); corresponde a la Taxonomía, la teoría y práctica de describir, nombrar, ordenar, confirmar determinaciones tempranas, suplir información bioecológica (e.g. distribución, rasgos biológicos, preferencias de huéspedes), verificar especímenes de referencia, proporcionar clasificaciones y claves, realizar predicciones acerca de un sistema, así como entender los diferentes procesos que ocurren (Danks 1988, Rose *et al.* 1995, Vane-Wright 1996).

En la planificación de todo proyecto de investigación es indudable la necesidad de búsqueda de literatura, como punto de referencia y conocimiento de antecedentes sobre algún tema o especie en particular. Mediante el nombre científico de una especie o categoría taxonómica es posible encontrar los trabajos que se relacionan para establecer de una forma rápida y precisa, los objetivos a desarrollar, lo que facilita además los análisis comparativos entre investigaciones. La identificación correcta de un organismo provee una clave para la literatura y un medio para la organización de la información (Pinto 1996). Además, los nombres únicos proporcionan información que permiten la realización de estudios en biología, comportamiento, ecología, distribución geográfica e interrelaciones con otros organismos, plantas o animales (Luck *et al.* 1995, Rose *et al.* 1995). De esta forma, la Sistemática constituye el medio primario por el cual las relaciones evolutivas entre organismos pueden ser discernidos (Danks 1988, Luck *et al.* 1995).

## UTILIDAD DE LA SISTEMÁTICA EN CONTROL BIOLÓGICO

La utilidad de la Sistemática dentro de un contexto general la estableció Knutson (1980), quien menciona que "en un sentido clásico, la Sistemática no únicamente provee las claves a la literatura técnica, sino también representa un marco conceptual de trabajo que permite comparaciones realistas de características biológicas y con capacidad predictiva". En control biológico, los estudios de Sistemática proporcionan nombres precisos de especies, así como claves y manuales para identificar especies de insectos plaga y sus enemigos naturales (Luck *et al.* 1995). Frecuentemente, el conocimiento de la clasificación permite a las personas involucradas en control biológico predecir los huéspedes posibles de parasitoides que han sido recolectados sólo como adultos (Danks 1988). Para depredadores y parasitoides, la Sistemática provee datos concernientes al huésped o presa, plantas hospederas y preferencias de

microhábitats. También se proporcionan datos acerca de razas o biotipos, distribución geográfica y relaciones filogenéticas con otras especies o grupos (DeBach y Rosen 1991). Esta información es esencial en el descubrimiento de enemigos naturales nuevos y viables, además de la selección de especies y biotipos apropiados para su utilización como agentes de control biológico (Schauff 1992, Luck *et al.* 1995).

La ausencia de conocimientos adecuados en Sistemática ha sido asociada con fracasos de programas de control biológico (Huffaker y Messenger 1976, DeBach y Rosen 1991). Casos de identificación incorrecta de especies plaga o sus enemigos naturales son comúnmente asociados con retrasos prolongados, pérdidas continuas de cultivos y recursos desperdiciados (DeBach 1964, Compere 1969; Rosen 1986, Miller y Rossman 1997). En contraste, el éxito de muchos proyectos ha sido asociado con reconocimientos exactos de la especie plaga objetivo y sus enemigos naturales, entre ellos especies crípticas o entidades intraespecíficas (DeBach 1964, Huffaker y Messenger 1976, Rosen 1986). Así, la identificación básica ha sido una función fundamental de la Sistemática en control biológico (Sabrosky 1955, DeBach 1969, Compere 1969, Delucchi *et al.* 1976, Luck *et al.* 1995); y prácticamente es importante en todas las etapas y fases de control biológico clásico, como: (1) Exploración; (2) importación; (3) cría masiva y liberación; y (4) evaluación.

**Exploración de Enemigos Naturales.** La Sistemática ha auxiliado en dirigir la exploración en control biológico clásico (Schauff 1992). En algunos proyectos la localización de hábitats nativos de una plaga exótica ha sido uno de los problemas principales, ya que la identificación errónea de la fuente de origen de la plaga puede dirigir inadecuadamente la búsqueda de enemigos naturales (Rosen y DeBach 1973, Delucchi *et al.* 1976, Rosen 1986). Un ejemplo clásico de una identificación precisa de la fuente nativa de origen fue la búsqueda de enemigos naturales de la escama algodonosa, *Icerya purchasi* Maskell y la introducción resultante de *Rodolia* (= *Vedalia*) *cardinalis* (Mulsant) (Sabrosky 1955).

El control biológico de la mosca prieta de los cítricos, *Aleurocanthus woglumi* Ashby, en las Indias Occidentales y América Central, es el ejemplo más notorio de un proyecto donde la sistemática de los enemigos naturales fue incluida en el proyecto desde el inicio (Compere 1969). El estudio de Filippo Silvestri acerca de los parasitoides de aleiródidos en Asia tropical determinó los lineamientos para la búsqueda eficaz de éstos (Compere 1969, Rosen 1986).

**Importación de Enemigos Naturales.** Es de suma importancia contar con instalaciones cuarentenarias para la importación de agentes de control biológico. Es imprescindible eliminar parasitoides secundarios en una fase previa

a la cría y liberación. Existe la posibilidad de introducir accidentalmente especies indeseables, las cuales pueden interferir la efectividad de enemigos naturales. En México, han existido casos de detección de presencia de parasitoides introducidos además de parasitoides secundarios, como ocurre con los parasitoides del piojo harinoso de la vid y el psílido asiático de los cítricos (González-Hernández 2007, datos no publicados),

**Control Biológico por Aumento.** Las limitaciones en la identificación de especies de insectos benéficos ha generado una disponibilidad escasa de agentes comerciales de control biológico; por ejemplo, sólo unas cuantas especies de tricogramátidos son utilizados por el hombre; en México, dos a tres especies del género *Trichogramma* son los insectos benéficos mayormente importados y liberados principalmente para el control biológico de lepidópteros. Al revisar los trabajos presentados en las reuniones y congresos nacionales de Entomología, y control biológico de 1989 a 2001, en México, se encontró que solo en 28 (13%) se indicaban las especies de tricogramas y en 72 (33%) no se determinó la especie, al referirse solo a *Trichogramma* sp. o *Trichogramma* spp. De esto se puede inferir que probablemente los autores de los trabajos adolecen de la preparación para realizar las identificaciones de especies, se carece del conocimiento taxonómico del grupo en México, o faltó el apoyo de los pocos especialistas de tricogramátidos (González-García *et al.* 2005). Un problema también serio, relacionado con programas para el uso de *Trichogramma*, sobre todo en el continente Americano, es la identificación errónea de las especies de este grupo. Dichos proyectos han sido caracterizados por presentar problemas con el uso de especies o biotipos equivocados (Knutson 1980), lo que ha confundido la importancia de estos enemigos naturales para el control biológico (Clausen 1942). Estos problemas han resultado de la inatención a “materiales tipo” existentes y a la falla de designar neotipos cuando son necesarios (Pinto *et al.* 1978).

En la cría masiva la importancia de la Sistemática está relacionada con el mantenimiento de la pureza de las colonias, ya que éstas en laboratorio pueden ser fácilmente contaminadas por especies indeseables, lo cual es común en microhimenópteros parasíticos (Rosen y DeBach 1973, Rosen 1986, Rose *et al.* 1995). Un ejemplo notable de contaminación de colonias sucedió en Alemania, donde la cría masiva de *Prospaltella perniciosi* (Tower) fue contaminada con una especie inefectiva (*P. fasciata* [Malenotti]). Alrededor de cuatro millones de esta especie fueron liberadas contra la escama de San José, *Quadraspidiotus perniciosus* (Comstock); obviamente, la especie nunca se estableció (Rosen y DeBach 1973, Delucchi *et al.* 1976, Huffaker y Messenger 1976). También las crías masivas de especies de *Eretmocerus* que atacan a especies de *Bemisia*, son consideradas altamente susceptibles de contaminación por *Encarsia* (Rose *et al.* 1995). Es importante denotar que la pureza de las crías masivas depende de

muestreos periódicos de las colonias y de una cuidadosa revisión de los especímenes por especialistas (Rosen y DeBach 1973, Delucchi *et al.* 1976, Rosen 1986, Rose *et al.* 1995).

Asimismo, la Sistemática ha contribuido a facilitar la disponibilidad de agentes de control biológico a través de estudios de hibridación para mejorar aptitud, o por medio de análisis de genotipos destinados a estimar la posibilidad de selección artificial de enemigos naturales para mejorar la resistencia a varias condiciones ambientales, así como mejorar los atributos biológicos (Gordh 1977).

**Control Biológico por Conservación.** La Sistemática permite conocer cuales especies ocurren en el campo, a una densidad específica de huéspedes, en diferentes plantas y en condiciones ambientales variables a través del tiempo. Además, la conservación de enemigos naturales requiere de un conocimiento detallado de los organismos y sus relaciones con el agroecosistema para de esta forma intentar maximizar el uso de la biota nativa y los recursos naturales (DeBach y Rosen 1991, Miller y Rossman 1997).

**Evaluación de los Programas de Control Biológico.** En evaluación, los especímenes de referencia son clave para rastrear los enemigos naturales (Sabrosky 1955) y sirven para asegurar la continuación de programas de control biológico, particularmente donde la determinación y descripción de especies de enemigos naturales está incompleta (Schauff 1992, Rose *et al.* 1995). Generalmente, la ausencia de especímenes de referencia hace imposible rastrear los enemigos naturales. Algunos ejemplos donde el valor de los especímenes de referencia fue subestimado, son los casos de *Exorista silvestris* (L.), donde 50 mil individuos fueron liberados. La colección del programa tenía sólo dos especímenes representativos de la liberación. En el programa donde se utilizó *Parasetigena silvestris* (R.D.), se liberaron miles y la colección del programa sólo contó con cinco especímenes europeos sin relación alguna con el proyecto (Sabrosky 1955).

A través de la correcta identificación, la Sistemática también contribuye en la evaluación del impacto de enemigos naturales (establecimiento, dispersión y eficacia del enemigo natural) en la agricultura y otros ecosistemas (Schauff 1992). La evaluación del agente de control biológico es totalmente dependiente del reconocimiento de las especies liberadas y recuperadas, y de la capacidad para distinguirlas en el contexto de cualquier complejo nativo de parasitoides polífagos e hiperparasitoides (Rosen y DeBach 1973, Rosen 1986, Danks 1988, Rose *et al.* 1995). Al respecto, en México, *Trichogramma* sp. es liberada y la evaluación frecuentemente señala más de 90% de parasitismo; sin embargo, en zonas donde el parasitoide no es liberado, existe un porcentaje similar de parasitismo, lo cual es un signo de la presencia de especies nativas de *Trichogramma* no identificadas

y de una evaluación sesgada del programa; esto hace difícil o imposible realizar una evaluación confiable de la efectividad de las especies y el análisis del impacto ecológico en los ecosistemas naturales y particularmente en los agroecosistemas (González-García 2002).

## **APOYOS DE TAXONOMÍA EN CONTROL BIOLÓGICO**

Las formas más importantes en las que la Taxonomía apoya al Control Biológico son: (1) Proveer identificación; (2) proveer literatura; (3) proporcionar asesoría; y (4) preservación de especímenes. Debido a que es de suma importancia determinar la especie del organismo con el cual se trabaja, a continuación se hace hincapié en la importancia de la identificación en diferentes procesos de las metodologías utilizadas en control biológico.

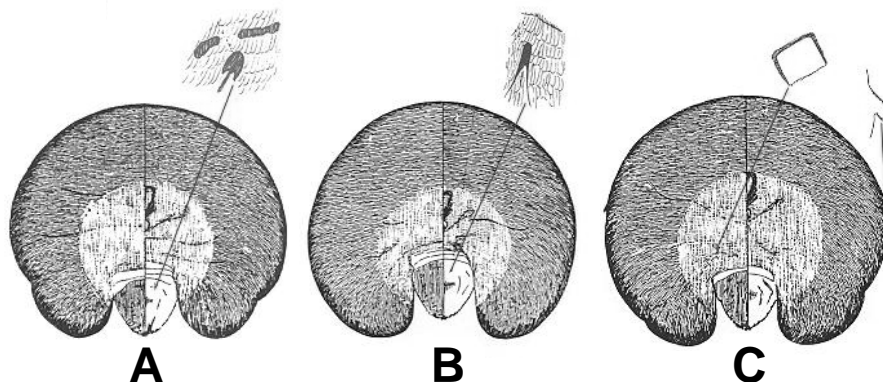
**Identificación del Huésped o Presa.** La identificación de la especie plaga tiene importancia crucial en control biológico, ya que cuando una plaga es identificada erróneamente, tiempo considerable, grandes cantidades de dinero y esfuerzos son perdidos en la introducción de enemigos naturales de la especie errónea, la cual consecuentemente falla en establecerse en el nuevo hábitat (Clausen 1942, Rosen y DeBach 1973, Delucchi *et al.* 1976, Gordh 1977, Rosen 1986, DeBach y Rosen 1991, Miller y Rossman 1997). Por ejemplo, intentos de control biológico de la escama roja de California, *Aonidiella aurantii* (Maskell) (Hemiptera: Diaspididae) fueron obstaculizados por alrededor de 50 años debido a fallas para encontrar cualquier diferencia morfológica entre dicha escama y las cercanamente relacionadas escama amarilla, *Aonidiella citrina* (Craw), y escama roja asiática, *Aonidiella taxus* Leonardi (Fig. 1). Sistematistas especializados en microhimenópteros parasitoides más tarde descubrieron que las identificaciones incorrectas de las escamas causaron que enemigos naturales efectivos fueran ignorados; subsecuentemente, agentes de control biológico exitosos fueron introducidos (Delucchi *et al.* 1976, Rosen 1986, Rose *et al.* 1995).

La importancia crucial de la identificación específica correcta del huésped (presa) es ejemplificada por Le Pelley (1943), citado por Delucchi *et al.* (1976): "Durante el tiempo cuando *Planococcus kenyae* (Le Pelley) fue incorrectamente identificada, numerosos fracasos fueron realizados en la introducción de enemigos naturales de cuatro continentes. Únicamente hasta su correcta determinación como una especie no descrita conocida sólo en África del Este, se descubrieron parasitoides efectivos y fueron introducidos exitosamente en Kenya".

Un ejemplo clásico de la importancia de la taxonomía en relación al control biológico es citado por Clausen (1942), en el control del picudo del



helecho *Syagrus fulvitaris* Pasc. en Hawaii, donde se demostró la importancia de tener disponibles colecciones taxonómicas de especímenes para referencia de los técnicos de control biológico, en el descubrimiento del lugar de origen de la plaga, en este caso el picudo del helecho.



**Fig. 1. A= Morfología de especies de *Aonidiella* asociadas a los cítricos. Escama roja de California, *Aonidiella aurantii* (Maskell); B= Escama amarilla de los cítricos, *A. citrina* (Craw); C= Escama roja asiática, *A. taxus* Leonardi. Ilustraciones tomadas de Watson (2005).**

**Identificación de Enemigos Naturales.** La identificación correcta del enemigo natural es tan esencial como la de la plaga (Rosen y DeBach 1973, Rosen 1986). Algunas veces si un enemigo natural no es identificado como una especie diferente o si se confunde un enemigo natural exótico con uno ya presente en el nuevo hábitat, ésto puede retrasar su utilización en proyectos de control biológico indefinidamente (DeBach y Rosen 1991). En el caso de la escama roja de California, las especies de *Aphytis* fueron excluidas debido a que fueron identificadas como *A. chrysomphali* (Mercet), un parasitoide inefectivo ya presente. Hasta 1948 fueron reconocidas como especies distintas *A. melinus* DeBach y *A. lingnanensis* Compere, los cuales son parasitoides más efectivos (Rosen y DeBach 1973, Rosen 1986, Rose *et al.* 1995). Irónicamente, algunas veces también sucede que especies nativas y exóticas son consideradas como diferentes. Durante los 1940's, *Archytas incertus* (Macq.) (= *A. piliventris* Van der Wulp), un parasitoide del gusano soldado, fue introducido a los E.U.A desde Uruguay y Argentina; el proyecto fue cancelado cuando un taxónomo señaló que la especie ya estaba presente en forma natural en el sur de los E.U.A. (Sabrosky 1955). También, en el control biológico del gusano barrenador europeo en los E.U.A., algunas especies de Tachinidae fueron introducidas (*Zenillia mitis* Meig y *Z. roseanae* B. & B.) desde el sur de Europa. Aproximadamente 174 adultos de *Z. mitis* y 180 de *Z. roseanae* fueron liberados en el área objetivo. Después de

completar la colonización, se encontró que *Z. mitis* era idéntica al parasitoide nativo *Z. caesar* Ald., y *Z. roseanae* idéntica al nativo *Phorocera erecta* Coq. (Clausen 1942).

La historia de la Sistemática de géneros de parasitoides importantes como *Aphytis* o *Trichogramma* ofrece un panorama amplio de las dificultades taxonómicas y de sus implicaciones para el control biológico. Por ejemplo, la escama roja de Florida, *Chrysomphalus aonidum* (L.) es parasitada por *Aphytis holoxanthus* DeBach, especie que fue encontrada a principios del siglo pasado, más ignorada debido a una identificación incorrecta como otra especie; este parasitoide de gran importancia estuvo disponible para su uso en control biológico hasta 1960, cuando su identidad fue definitivamente establecida (DeBach 1960, DeBach *et al.* 1971).

**Determinación de Hábitats Nativos.** La importancia de la determinación de hábitats nativos es revisada por Van Den Bosch y Messenger quienes indican que una gran cantidad de enemigos naturales ineficientes fueron introducidos en California, en contra de la escama negra, *Saissetia oleae* (Olivier), desde varias partes del mundo, antes de que un parasitoide sobresaliente, *Metaphycus helvolus* (Compere), fuera importado de Sudáfrica, donde parece ser el hábitat nativo de la escama (Huffaker y Messenger 1976).

## CLASIFICACIÓN Y SU RELACIÓN CON CONTROL BIOLÓGICO

La clasificación refleja relaciones genéticas, facilita la predicción según la especie de plaga de que se trate y su erradicación final. Desde el punto de vista de la Biología Aplicada, lo que interesa es el grado de predicción que poseen esas clasificaciones. La capacidad integral de predicción de las clasificaciones buenas se ha utilizado muchas veces con éxito en la búsqueda del lugar de origen de plagas introducidas en la investigación de parasitoides potenciales, por ejemplo:

(1) El control biológico en el piojo harinoso de la yuca ilustra la importancia económica de los encírtidos. Desde 1973 se señaló a *Phenacoccus manihoti* Matile-Ferrero como responsable de fuertes daños a la yuca en el Congo, más tarde la plaga se había distribuido en toda la región tropical de África. Se pensó que el piojo harinoso de la yuca tenía su origen en América Central o el norte de América del Sur. Después de la búsqueda e importación de parasitoides en esas áreas, se observó el fracaso de los parasitoides liberados en el Congo y Zaire. Posteriormente se descubrieron dos especies de piojos harinosos cercanamente relacionadas alimentándose de la yuca, una especie de la región del Congo y otra especie de la región central de América del Sur. Esto ocasionó que se redirigiera la búsqueda a Paraguay, Bolivia y el Sur de Brasil, donde se

encontraron varias especies de parasitoides y depredadores, entre los que destacó el encírtido *Apoanagyrus lopezi* De Santis, el cual produjo un control espectacular del piojo harinoso de la yuca en Nigeria. En 1990, esta especie ya se había establecido exitosamente en 24 países de África en más de 2.7 millones de Km<sup>2</sup> (Rossman y Miller 1996, Vane-Wright 1996, Neuenschwander 2001). Se determinó en este programa una relación beneficio:costo de al menos 149:1, posiblemente más de 250 millones de dólares por año (Norgaard 1988, Neuenschwander 2001).

(2) La chicharrita de la remolacha *Circulifer tenellus* (Baker) en E.U.A., vector del virus del enrollamiento fue originalmente colocada incorrectamente como miembro del género *Eutettix*, el cual es originario de América del Sur. Se le buscó infructuosamente en Australia, Argentina, Uruguay y México. Desafortunadamente, la exploración para localizar agentes de control fue infructuosa por lo que considerable tiempo y esfuerzo fueron desperdiciados. Después de una reevaluación taxonómica se concluyó que pertenecía a *Circulifer*, el cual está distribuido en el viejo mundo. La búsqueda de enemigos naturales en el norte de África y España resultó un éxito, y fueron introducidos en California. La identificación errónea del organismo huésped en el hábitat nativo puede dirigir a la introducción de enemigos naturales equivocados.

(3). La escama roja de California, *Aonidiella aurantii*, fue colocada en el género *Chrysomphalus* (género Sudamericano) por lo que se buscó infructuosamente en esa región. Estudios taxonómicos ubicaron correctamente esta plaga dentro de *Aonidiella* (género oriental), con lo cual fue posible obtener enemigos naturales más prometedores.

## **LA NECESIDAD Y OPORTUNIDAD DE LA SISTEMÁTICA EN MÉXICO**

La introducción de plagas exóticas es uno de los problemas graves a nivel mundial. Desafortunadamente con el crecimiento de tratados internacionales y los rápidos sistemas de transportación, las posibilidades de introducir nuevas plagas se incrementan. Muchos países inspeccionan las importaciones, localizan contaminantes exóticos y hacen decisiones regulatorias acerca de la entrada. Esta actividad es fuertemente dependiente de información provista por investigadores relacionados con la Sistemática. Debido a que la totalidad de los países carece de un inventario completo de todas sus especies, con frecuencia es imposible conocer si un organismo interceptado esta ocurriendo en forma natural. Aún más, ayudas de identificación definitiva frecuentemente no estan disponibles para muchos grupos agrícolas importantes. En algunos casos la carencia de información sistemática para un grupo de plagas puede ser un problema especial. Por ejemplo, los gusanos de la yema del tabaco frecuentemente son encontrados

en productos interceptados de América Central y del Sur. Los gusanos de la yema fueron considerados por mucho tiempo por incluir únicamente tres especies; sin embargo, un reciente estudio monográfico demostró que el complejo esta compuesto de 12 formas diferentes (Systematics Agenda 2000). Este hecho constituye un importante medio para demostrar la importancia crucial de la Sistemática, y hace evidente la necesidad de que en México reciba una mayor atención e impulso, ya que una gran cantidad de grupos de organismos (insectos y ácaros plaga, fitopatógenos, maleza) que competen a los profesionistas involucrados en el manejo de plagas, generalmente están escasamente estudiados, y por lo general en el extranjero (E.U.A.) se conoce más acerca de la gran riqueza de especies de organismos existentes en el país.

En lo referente a control biológico, hasta hoy en día constituye una fuente continua de retos para los especialistas en Sistemática. Actualmente, la mayoría de los enemigos naturales se encuentran en categorías sistemáticas las cuales no han sido modernizadas (Delucchi *et al.* 1976); además, existen numerosas especies por descubrir y describir (tan solo el 10% de Hymenoptera parasítica son conocidos y disponibles para control biológico; y para el 97% de las especies descritas, el huésped es desconocido [DeBach y Rosen 1991]). Los hongos como agentes de control biológico están subestudiados al grado de que al menos 50% de las especies con potencial permanecen sin descubrir y describir (Rossman y Miller 1996). En control biológico clásico de la maleza son requeridos enemigos altamente específicos, para asegurar que especies vegetales relacionadas no sean afectadas (Knutson 1980). Es indudable que los resultados de confrontar estos retos incrementarán el arsenal de agentes efectivos de control biológico de plagas disponibles para ser utilizados en los diferentes sistemas de producción en el país.

## LITERATURA CITADA

- Clausen, C.P. 1942. The relation of taxonomy to biological control. *J. Econ. Entomol.* 35: 744-748.
- Compere, H. 1969. The role of Systematics in biological control: A backward look. *Israel J. Entomol.* 4: 5-10.
- Danks, H.V. 1988. Systematics in support of Entomology. *Ann. Rev. Entomol.* 33: 271-296.
- DeBach, P. 1960. The importance of taxonomy to biological control as illustrated by the cryptic history of *Aphytis holoxanthus* n. sp. (Hymenoptera:Aphelinidae), a parasite of *Chrysomphalus aonidum*, and *Aphytis coheni* n. sp., a parasite of *Aonidiella aurantii*. *Ann. Entomol. Soc. Amer.* 53: 701-705.
- DeBach, P. 1964. Biological control of insect pests and weeds. Chapman and Hall, London. 844 p.
- DeBach, P. 1969. Uniparental, sibling and semi-species in relation to taxonomy and biological control. *Israel J. Entomol.* 4: 11-28.
- DeBach, P., and D. Rosen. 1991. Biological control by natural enemies. 2nd. Ed. Cambridge University Press, Cambridge. 440 p.

- DeBach, P., D. Rosen, and C.E. Kennett. 1971. Biological control of coccids by introduced natural enemies. pp. 165-194. *In*: C.B. Huffaker (ed.), *Biological Control*. Plenum, New York.
- Delucchi, V., D. Rosen, and E.I. Schlinger. 1976. Relationship of Systematics to biological control. pp. 81-91. *In*: C.B. Huffaker and P.S. Messenger (ed.). *Theory and Practice of Biological Control*. Academic Press, New York.
- González-García, F. 2002. Clarificación y distribución de las especies de *Trichogramma* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) en México. Seminarios de Postgrado. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, México.
- González-García, F., A. González-Hernández, y M.P. España-Luna. 2005. Especies de *Trichogramma* Westwood (Hymenoptera: Trichogrammatidae) presentes en centros reproductores de México. *Acta Zoológica Mexicana* (n.s.) 21(3): 125-135.
- Gordh, G. 1977. Biosystematics of natural enemies, pp. 125- 148. *In*: R.L. Ridgway, and S.B. Vinson (eds.) *Biological control by augmentation of natural enemies*. Plenum Press, New York.
- Huffaker, C.B., and P.S. Messenger. 1976. *Theory and practice of biological control*. Academic Press Inc. London. 788 pp.
- Knutson, L. 1980. Symbiosis of Biosystematics and biological control. pp. 61-78. *In*: G.P. Papavizas (ed.). *Biological Control in Crop Production*, BARC Symposium number 5. Allanheld, Osmun. Totowa, N.J.
- Luck, R.F., M.J. Tauber, and C.A. Tauber. 1995. The contributions of biological control to Population and Evolutionary Ecology, pp. 25-45. *In*: J.R. Nechols (ed.) *Biological control in the Western U.S.: Accomplishments and benefits of regional research project W-84. 1964-1989*. ANR Publications, Oakland, CA.
- Miller, D.R., and A.Y. Rossman. 1997. Biodiversity and Systematics: Their application to agriculture, pp. 217-229. *In*: M.L. Reaka-Kudia, D.E. Wilson, and E.O. Wilson (eds.), "Biodiversity II: Understanding and protecting our biological resources. Joseph Henry Press, Washington, D.C.
- Neuenschwander, P. 2001. Biological control of the cassava mealybug in Africa: a review. *Biological Control* 21: 214-229.
- Norgaard, R.B. 1988. The biological control of cassava mealybug in Africa. *Amer. Jour. Agric. Econ.* 70: 366-371.
- Pinto, J.D. 1996. Systematics and biological characteristics. *In*: "Radcliffe's IPM World Textbook Home Page (T. Radcliffe's Gopher State IPM site). University of Minnesota. 6 pp.
- Pinto, J.D., G.R. Platner, and E.R. Oatman. 1978. Clarification of the identity of several common species of North America *Trichogramma* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 71: 170-180.
- Rose, M., G. Zolnerowich, and M.S. Hunter. 1995. Systematics, *Eretmocerus*, and biological control, pp. 477-491. *In*: D. Gerling, and R.T. Mayer (eds.) *Bemisia 1995: Taxonomy, Biology, Damage, Control, and Management*. Intercept Ltd., Andover, Hants, UK.
- Rosen, D. 1986. The role of Taxonomy in effective biological control programs. *Agric., Ecosys., Environ.* 15: 121-129.
- Rosen, D., and P. DeBach. 1973. Systematics, morphology and biological control. *Entomophaga* 18: 215-222.
- Rossman, A.Y., and D.R. Miller. 1996. Systematics solves problems in agriculture and forestry. *Ann. Missouri Bot. Gard.* 83: 17-28.
- Sabrosky, C.W. 1955. The interrelations of biological control and Taxonomy. *J. Econ. Entomol.* 48: 710-714.

- Schauff, M.E. 1992. Systematics research in biological control, pp. 15-25. *In*: W.C. Kauffman, and J.E. Nechols (eds.) Selection criteria and ecological consequences of importing natural enemies. Entomological Society of America, Lanham, MD.
- Systematics Agenda 2000. Systematics Agenda 2000: Charting the Biosphere. Technical Report. 34 pp.
- Vane-Wright, R.I. 1996. Systematics and the conservation of biological diversity. *Ann. Missouri Bot. Gard.* 83: 47-57.
- Watson, G.W. 2005. Diaspididae of the World. *In*: S.A. Ulenberg (ed.) Arthropods of Economic Importance. Netherlands Biodiversity Information Facility. <http://ip30.eti.uva.nl/BIS/diaspididae.php>.

**Métodos de Evaluación de Enemigos Naturales**

*H. González-Hernández<sup>1</sup> y C. Pacheco-Sánchez<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados, Programa de Entomología y Acarología  
Montecillo, Texcoco, Edo. de México, México 56230. hgzzhdz@colpos.colpos.mx.

<sup>2</sup>CEPROBI-IPN, Yautepec, Mor., México

---

---

**CONTENIDO**

<i>Introducción</i> .....	49
<i>Metodologías Generales</i> .....	51
<i>Método de Adición</i> .....	51
<i>Método de Exclusión</i> .....	53
<i>Método de Interferencia</i> .....	54
<i>Trampas de Cartón Corrugado</i> .....	58
<i>Literatura Citada</i> .....	58

González-Hernández, H. y C. Pacheco-Sánchez. 2007. Métodos de evaluación de enemigos naturales, pp. 48-60. *En*: L. A. Rodríguez-del-Bosque y H. C. Arredondo-Bernal (eds.), Teoría y Aplicación del Control Biológico. Sociedad Mexicana de Control Biológico, México. 303 p.

## INTRODUCCIÓN

En cualquier programa de control biológico, como en otros métodos convencionales de combate de plagas o enfermedades, se requiere evaluar la efectividad de las medidas de control aplicadas o para determinar el papel real que juegan los factores bióticos y abióticos en la regulación de las poblaciones de las especies plaga. En los ecosistemas naturales y en los agroecosistemas, existen casos de control biológico natural o aplicado que requieren de una explicación a través de métodos de evaluación, para conocer cómo una plaga es regulada, entre otros factores, por la acción de los enemigos naturales.

De acuerdo con Van Driesche y Bellows (1996) es necesario evaluar o muestrear los enemigos naturales por las razones siguientes: (1) Para determinar los enemigos naturales asociados a ciertas plagas; (2) monitorear la efectividad de las acciones dentro de un programa de control biológico; (3) evaluar el impacto de un programa de control biológico sobre la población de la plaga; y (4) evaluar el efecto económico de un programa de control biológico. Otra de las razones para evaluar a los enemigos naturales es para determinar si en efecto es un enemigo natural, o un factor abiótico o la combinación de ambos, el o los responsables de la regulación poblacional de una plaga. También es importante evaluar la actividad de los enemigos naturales nativos, en dado caso de que sea necesaria la introducción de especies exóticas de enemigos naturales.

En ocasiones, el detectar altos niveles de parasitismo o depredación por un enemigo natural, no es una indicación contundente de la efectividad de éstos. En estudios encaminados a determinar el impacto de enemigos naturales como agentes de control de sus huéspedes o presas no es recomendable hacer el análisis en base a porcentajes de parasitismo, aunque esto si puede ser aplicado en estudios faunísticos o en experimentos para determinar densidades de liberación mediante comparación de tratamientos (Van Driesche 1983). Los porcentajes de parasitismo no pueden ser igualados con los niveles de control obtenidos, ya que es el número de supervivientes y no el porcentaje de éstos que escaparon a la acción de los enemigos naturales, los que determinarán la futura densidad de la plaga. Otro de los problemas en el uso de los porcentajes de parasitismo es que algunos de los huéspedes, tomados como muestra para observar eclosión y calcular dichos porcentajes, mueren durante el manejo o almacenamiento, lo anterior puede alterar los niveles aparentes de parasitismo (Waage & Mills 1992).

De acuerdo con Legner (1969) el método más confiable para evaluar la efectividad de un parasitoide después de su liberación, es la reducción de la posición de equilibrio del huésped (Fig. 1). La introducción de especies exóticas o el uso de especies nativas, se realiza a través de varias estrategias generales de control biológico que podrían ser utilizadas en el desarrollo de algún programa de



control biológico o de manejo integrado de plagas. Estas estrategias de control son: **El control biológico clásico**, que es la introducción de especies nuevas o exóticas como agentes de control biológico; **aumento** de enemigos naturales (inoculativo o inundativo); y **conservación** de los mismos. Las últimas dos estrategias son más útiles cuando se trata de controlar plagas nativas. Luck *et al.* (1988) mencionan que el control biológico clásico, así como el aumento de enemigos naturales, son estrategias importantes en el manejo integrado de plagas.

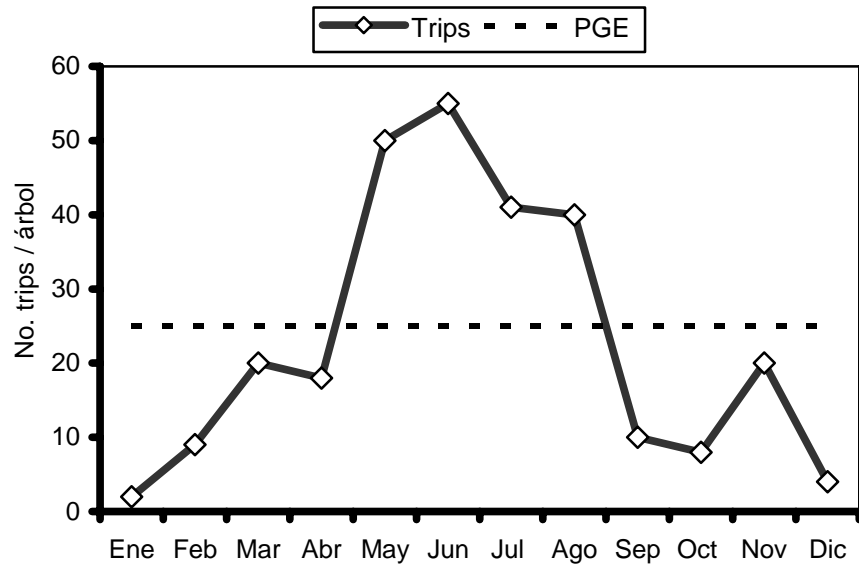


Figura 1. Caso hipotético de la fluctuación poblacional de trips en follaje de aguacate. PGE: punto general de equilibrio.

Una vez que se ha seleccionado la estrategia de control biológico, es necesario determinar como se va a evaluar el impacto de los enemigos naturales sobre la dinámica poblacional de la plaga. De acuerdo con Hassell y Varley (1969), las pruebas de laboratorio pueden mostrar si un enemigo natural es exitoso o no; sin embargo, una introducción a nivel de campo y su establecimiento es la prueba real. Algunos de los métodos experimentales de evaluación son fáciles de aplicar en especies plaga (insectos escama) y enemigos naturales de poca movilidad; mientras que en especies de amplia dispersión (larvas de lepidópteros), los métodos de evaluación se tienen que adecuar a esas características de comportamiento, como por el ejemplo el uso de grandes extensiones experimentales o la técnica de marcado y recaptura.

## METODOLOGÍAS GENERALES

En el control biológico aplicado existen dos grupos de metodologías generales para determinar el papel de los enemigos naturales en la regulación de especies plaga. Uno de estos grupos comprende el uso de métodos comparativos experimentales de evaluación, los cuales pueden demostrar la contribución precisa de los enemigos naturales en la regulación poblacional de sus presas o huéspedes.

DeBach y Bartlett (1964) consideran que los métodos comparativos son los mejores para evaluar la efectividad de los enemigos naturales. El otro grupo comprende aquellos métodos usados para determinar los mecanismos involucrados en la regulación de plagas; esto es, mediante la aplicación de modelos poblacionales y de tablas de vida (Bellows *et al.* 1992). Los métodos comparativos de evaluación sólo nos indican qué tan efectivo es un enemigo natural, mientras que los modelos poblacionales y tablas de vida describen el porque éstos son efectivos, o cómo es de que la regulación realmente ocurre. Por otro lado, las tablas de vida y los modelos permiten crear un marco de referencia cuantitativo para deducir las consecuencias potenciales de las interacciones biológicas, pero no demuestran la eficiencia de los enemigos naturales (Luck *et al.* 1988). Otro método usado para cuantificar el papel de los enemigos naturales principalmente de entomófagos picadores chupadores, es a través del análisis serológico del contenido estomacal de los depredadores. Existen varias clasificaciones de los métodos de evaluación de enemigos naturales (DeBach y Huffaker 1971, Heong 1986, Luck *et al.* 1988, Loya *et al.* 1992); sin embargo, en este escrito se sigue la clasificación propuesta por DeBach y Huffaker (1971).

Se considera que existe más información en la literatura en donde se explican los mecanismos asociados con la regulación, así como aspectos experimentales o cuantitativos que demuestren el impacto de los enemigos naturales en la regulación poblacional de sus presas o huéspedes (DeBach y Huffaker 1971). En este sentido, en el presente escrito sólo se describen los **métodos comparativos de evaluación**, la mayoría de los cuales pueden ser empleados con enemigos naturales introducidos o nativos. Estos métodos comparativos de evaluación son: El **método de adición**, el **método de exclusión** y los **métodos de interferencia**.

### **Método de Adición**

Este método consiste en la introducción o adición de enemigos naturales en el sistema. El punto de comparación es observar básicamente el estado general del cultivo antes de la liberación y el estado final de éste después de un tiempo razonable (dos o tres años), aunque también es recomendable el uso de censos

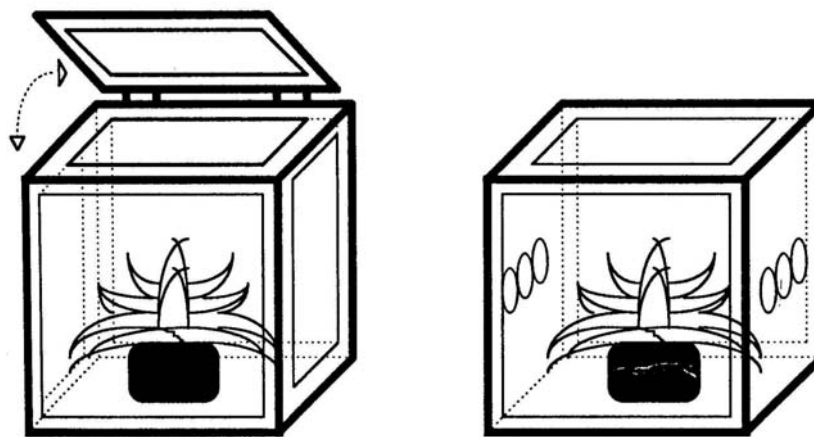
poblacionales. En el establecimiento del experimento se puede usar un total de 10 a 20 parcelas, en la mitad de las cuales se liberan los enemigos naturales y el resto se dejan como control, sin liberaciones. Las parcelas tratadas deben estar separadas de aquellas usadas como control a una distancia considerable, para prevenir la invasión a las parcelas control. Huffaker y Kennett (1969) usaron este método de adición para analizar mediante fotografías (tomadas desde 1948 hasta 1966) el grado de control que el escarabajo exótico *Chrisolina quadrigemina* (Suffrian) tuvo sobre la maleza Klamath *Hypericum perforatum* Linnaeus en el estado de California, E.U.A. Esta introducción fue un caso de control biológico completo y exitoso. Otro ejemplo del empleo de este método de adición, fue usado para evaluar la efectividad de los afelinidos parasitoides *Aphytis paramaculicornis* DeBach y Rosen, y *Cocophagoides utilis* Doutt, en el control de la escama armada *Parlatoria oleae* (Colvée) (Diaspididae) en California, de 1951 a 1957 (DeBach y Rosen 1991).

En México a principios de los 1950's, se inició el control de la mosca prieta de los cítricos *Aleurocanthus woglumi* Ashm, mediante la introducción de tres especies de calcidoideos parasitoides de origen asiático *Encarcia* (= *Prospaltela*) *clipealis*, *E. opulenta* y *Amitus hesperidum* (Smith *et al.* 1964, Jiménez 1958, 1960). En este caso exitoso de control biológico clásico y reconocido mundialmente como tal, se puede decir que se utilizó el método de adición, pues sólo se observó el estado de la plaga antes y después de la introducción de estos parasitoides.

También en México, recientemente García-Valente *et al.* (2007) evaluaron mediante este método de adición, el impacto de liberaciones del depredador *Cryptolaemus montrouzieri* (Mulsant) (Coleoptera: Coccinellidae) y del parasitoide *Anagyrus kamali* Moursi (Hymenoptera: Encyrtidae), enemigos naturales introducidos de la cochinilla rosada del hibisco (CRH) *Maconellicoccus hirsutus* (Green) (Hemiptera: Pseudococcidae) en varios huertos de frutales como guanábana, guayaba, naranja y carambolo en Bahía de Banderas, Nayarit. El método de evaluación consistió en medir la densidad poblacional de la CRH antes y después de las liberaciones, así como monitorear la actividad de los dos enemigos naturales para poder determinar el grado de establecimiento de éstos en las nuevas áreas de liberación. En general se pudieron observar altos niveles de reducción poblacional de la CRH, posterior a las liberaciones. También se observó que en estos frutales, la actividad del depredador *C. montrouzieri* fue más efectiva a densidades altas de la CRH, aunque debido a la drástica reducción de la densidad poblacional de la CRH, éste tiende a migrar en busca de más alimento. Por otra parte, la actividad del parasitoide *A. kamali* fue complementaria a la actividad reguladora del depredador, ya que mantuvo en regulación aún más a la CRH, con altos niveles de parasitismo y bajas densidades de la CRH.

## Método de Exclusión

Este método consiste en la eliminación y subsiguiente exclusión de enemigos naturales de un determinado número de parcelas o unidades experimentales, las cuales se comparan con otra serie de parcelas en donde los enemigos naturales no sean excluidos. La eliminación de los enemigos naturales puede ser mecánica o con plaguicidas. Después de la eliminación, los enemigos naturales se mantienen fuera de una serie de plantas mediante el uso de cajas o bolsas de organdí cerradas, mientras que en la otra serie de plantas, los enemigos naturales tienen libre acceso, pues se usan cajas o bolsas similares en diseño, pero con aberturas para facilitar la entrada o salida de los enemigos naturales. Por lo anterior, este método es comúnmente conocido como el de la “caja par” (Fig. 2). Los cambios en las densidades poblacionales con diferentes niveles de equilibrio entre ambos tratamientos, indican la acción positiva de los enemigos naturales. Una de las recomendaciones que se sugiere en el establecimiento y desarrollo de este método es que éste se adhiera a una realidad biológica, esto es, no modificar en gran medida el efecto normal de la temperatura, humedad, viento, o reducir la dispersión de los organismos involucrados.



**Figura 2.** “Caja par” usada en el método de exclusión en experimentos de campo para evaluar el papel de enemigos naturales en el control de insectos plaga (Tomado de González-Hernández, 1995).

De acuerdo con Hand y Keaster (1967), el uso de cajas cambia el microambiente interior y el comportamiento de los depredadores y sus presas. En un estudio de campo realizado por González-Hernández *et al.* (1999) para observar el papel de los enemigos naturales en la regulación del piojo harinoso rosado de la piña *Dysmicoccus brevipes* (Cockerell), se utilizaron cajas de exclusión en las

cuales se detectaron diferencias de alrededor de 4°C; las temperaturas fueron mayores en las cajas cerradas, que en aquellas abiertas, lo cual pudo haber afectado negativamente la densidad poblacional de los piojos harinosos de la piña en las cajas primeras.

Este método de exclusión se recomienda principalmente para insectos de baja movilidad (escamas, piojos harinosos, escamas blandas, ninfas de mosquita blanca), aunque se ha usado continuamente en estudios de control biológico de áfidos y de algunas especies de lepidópteros. Smith y DeBach (1942) fueron los primeros en desarrollar este método para demostrar cuantitativamente el control biológico del parasitoide *Metaphycus helvolus* (Compere) sobre la escama negra *Saissetia oleae* (Bern.). Reimer *et al.* (1993) también usaron este método de exclusión para probar la hipótesis de que las hormigas, particularmente *Pheidole megacephala* (L.), reducen la eficiencia de los enemigos naturales de la escama blanda verde *Coccus viridis* (Green) en árboles de cafeto. Las densidades poblacionales más bajas de la escama se presentaron en las cajas abiertas libres de hormigas y con presencia de enemigos naturales, mientras que las densidades más altas se observaron en las cajas cerradas con hormigas, las cajas con hormigas abiertas o cerradas con o sin enemigos naturales. Los resultados de Reimer *et al.* (1993) indican que la eliminación de hormigas de los cafetos es indispensable para un manejo eficiente de las escamas blandas en ese cultivo, debido a que en ausencia de hormigas los enemigos naturales de *C. viridis*, particularmente coccinélidos, controlan eficientemente a la escama verde del cafeto.

En otro estudio, Simmons y Minkenberg (1994) usaron jaulas de campo (1.83 x 1.83. x 3 m) para evaluar el control biológico por aumento de *Bemisia argentifolii* Bellows & Perring con el parasitoide *Eretmocerus* nr. *californicus* en algodón en el sureste de California, E.U.A. Ellos encontraron mayor parasitismo y por consiguiente menor densidad de pupas de *B. argentifolii* (un quinto de los otros tratamientos) en jaulas con alta densidad de parasitoides liberados (295-755 parasitoides/m<sup>2</sup>), que en los tratamientos con baja densidad de parasitoides liberados (14-59 parasitoides/m<sup>2</sup>) o donde no se liberó a los parasitoides. De acuerdo a lo anterior y a las diferencias significativas de rendimiento de semillas de algodón, que fue mayor en jaulas con alta densidad de parasitoides liberados, ellos sugieren que este parasitoide puede ser utilizado como un agente de control en un programa de liberaciones inundativas en contra de mosquitas blancas en algodón.

### **Métodos de Interferencia**

Estos métodos se usan para reducir la eficiencia de los enemigos naturales en una serie de parcelas que se comparan con otra serie en donde no se interfiere con los enemigos naturales. Cualquier incremento en la densidad de la plaga en

las parcelas con interferencia relativa a las parcelas testigo, demostrarán la eficiencia de los enemigos naturales. Sin embargo, tal conclusión debe tomarse con cautela, puesto que dicha comparación revela sólo una parte del control total que realmente ocurre, debido a que los enemigos naturales no son completamente removidos del sistema, lo cual puede tener un efecto limitante en la evaluación final. Los métodos de interferencia incluyen las siguientes técnicas: interferencia química, eliminación manual, método trampa e inhibición biológica.

**a) Interferencia química.** Este es el método de interferencia que más se ha usado. Los enemigos naturales son eliminados con la aplicación de insecticidas selectivos y que pueden no tener un efecto negativo sobre la densidad de la plaga. Una de las limitantes en el uso de esta técnica es el efecto positivo o negativo que el insecticida tiene sobre la densidad de la plaga. La aplicación de dosis subletales en poblaciones de ácaros frecuentemente estimula la reproducción de los ácaros fitófagos (Bartlett 1968). Debido a esta restricción, se recomienda que esta técnica química sea usada sólo para determinar proporciones de depredación y que sólo bajo ciertas condiciones, ésta se pueda aplicar como por ejemplo, para determinar el papel relativo de los enemigos naturales (Luck *et al.* 1988).

DeBach (1946) también fue el primero en proponer este método para evaluar el complejo de enemigos naturales del piojo harinoso *Pseudococcus longispinus* (Targioni) en árboles de cítricos. En ausencia de suficientes depredadores, en los árboles químicamente tratados, la densidad del piojo se incrementó, no obstante la presencia de parasitoides; mientras que las densidades más bajas del piojo se observaron en los árboles no tratados; esto es, donde los enemigos naturales estuvieron presentes. Con estos resultados, DeBach sugirió que los depredadores eran los responsables de la rápida disminución de los piojos en árboles no tratados químicamente.

Esta misma técnica también fue usada para determinar la acción compensatoria de los parasitoides *Aphitis paramaculicornis* y *Coccophagoides utilis* sobre la escama del olivo *Parlatoria oleae* (DeBach *et al.* 1976). En este experimento se encontró que *A. paramaculicornis* tenía un papel más determinante en el control de esta escama que *C. utilis*, aunque la actividad de esta última especie era complementaria en el control general de la escama del olivo.

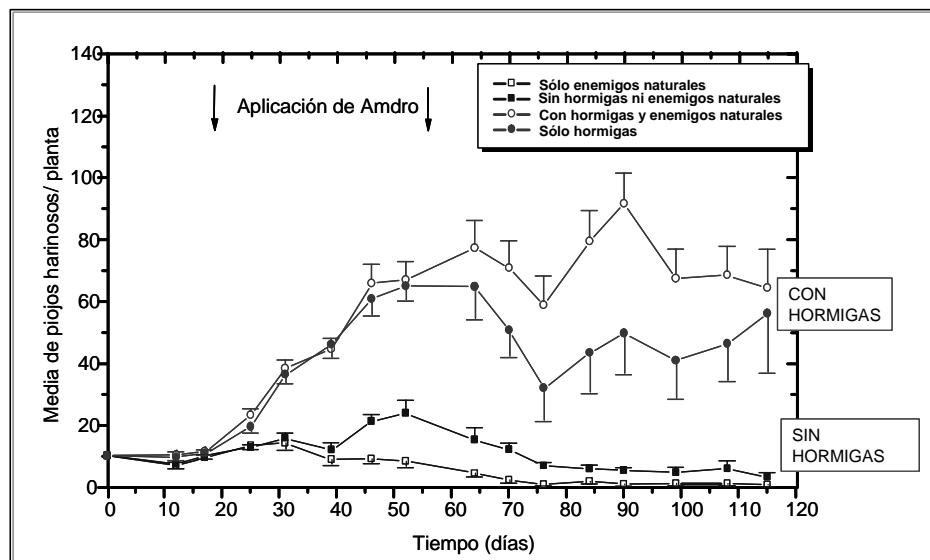
En Gauteng y Noroeste, provincias de Sudáfrica, esta técnica fue usada para determinar el efecto de varias especies de parasitoides (desde huevo hasta pupa) en los niveles de infestación de la palomilla dorso de diamante (PDD) *Plutella xylostella* (L.) (Lep., Plutellidae) en campos de coliflor. En los campos con aplicación de insecticidas con dimetoato (organofosforado de acción sistémica y de contacto) el parasitismo de larvas y pupas de la PDD fluctuó entre

5 y 10%, mientras que en los campos sin tratamiento el parasitismo alcanzó un pico arriba del 90%; lo que resultó que en los campos sin aplicación, los niveles poblacionales de la PDD fueran cinco veces menores que en los campos con aplicación con el insecticida, con lo cual se comprueba que los parasitoides juegan un papel importante en la regulación de las poblaciones de esta plaga (Kfir 2005).

**b) Eliminación manual.** En esta técnica, los enemigos naturales son removidos frecuentemente. Esta técnica es poco usada por lo caro que resulta, ya que se requiere de mucha mano de obra, tanto en recursos humanos como en tiempo. Sin embargo, la eliminación manual no altera el microclima o no causa una posible activación química en la reproducción de la plaga. Se recomienda para especies entomófagas que ocurran a densidades razonables y de actividad diurna.

**c) Método trampa.** Para esta técnica se requiere de un área grande. Se aplica un insecticida sobre una banda amplia del borde externo, por la cual los organismos no cruzaran hacia fuera o hacia dentro del área experimental. No hay una modificación directa del área experimental, ya que la actividad de los enemigos naturales dentro de esta área no es afectada. Bartlett (1957) usó esta técnica para demostrar que el piojo harinoso de los cítricos *Planococcus citri* (Risso) era controlado a niveles económicos aceptables, por la actividad de los enemigos naturales.

**d) Inhibición biológica.** En esta técnica, la interferencia química o física se dirige hacia las hormigas, las cuales interfieren naturalmente con los enemigos de los hemípteros que excretan sustancias melosas. La interferencia de las hormigas con los enemigos naturales de los insectos productores de secreciones melosas está ampliamente documentada (Way 1963, Holldobler y Wilson 1990). La comparación experimental entre parcelas con hormigas y sin hormigas es similar a los métodos experimentales de evaluación. Por lo tanto, en la ausencia de hormigas la disminución en la densidad de la plaga, puede deberse a la acción reguladora de los enemigos naturales. DeBach *et al.* (1951) obtuvieron un control biológico sustancial de la escama roja de California *A. aurantii* cuando la hormiga Argentina *Linepithema humile* (Mayr) (= *Iridomyrmex humilis*) fue eliminada de árboles de cítricos. Cudjoe *et al.* (1993) al usar este método de interferencia encontraron que las hormigas *P. megacephala*, *Camponotus* sp., y *Crematogaster* sp., reducen el parasitismo del piojo harinoso de la mandioca *Phenacoccus manihoti* Matile-Ferrero por el encírtido parasitoide *Epidinocarsis lopezi* (De Santis).



**Figura 3. Número promedio del piojo harinoso rosado de la piña por planta de piña en parcelas infestadas y libres de hormigas, en la presencia y ausencia de enemigos naturales (Tomado de González-Hernández, 1995).**

En ocasiones, es necesario adecuar o combinar algunos métodos experimentales de evaluación de acuerdo con las características biológicas de las especies involucradas (parasitoide-huésped o depredador-presa). González-Hernández (1995) y González-Hernández *et al.* (1999) realizaron un estudio para determinar el posible papel de los enemigos naturales en la regulación del piojo harinoso rosado de la piña *D. brevipes*, y el efecto de la hormiga *P. megacephala* en la sobrevivencia de poblaciones de campo de este piojo harinoso. En el experimento de interferencia biológica, la eliminación de *P. megacephala* estuvo asociada con un aumento en la actividad de parasitoides y depredadores y con una disminución significativa en las densidades del piojo harinoso. En este experimento, sólo se observó la participación de los enemigos naturales en la disminución de la densidad poblacional del piojo harinoso. Sin embargo, en otro experimento en donde se usó una combinación de los métodos de interferencia biológica y el de exclusión (caja par), fue posible concluir que las hormigas son benéficas en el desarrollo y supervivencia de los piojos al realizar actividades de protección contra enemigos naturales y de saneamiento u otra actividad no determinada sobre los piojos harinosos (Fig. 3). Al comparar los resultados de los experimentos de interferencia biológica y el combinado de interferencia biológica y el de exclusión, se apreció que el método de interferencia biológica no es suficiente para evaluar la eficiencia de enemigos naturales, en situaciones donde el incremento de los homópteros o lepidópteros está parcialmente asociado con el saneamiento proporcionado por las hormigas.



## Trampas de Cartón Corrugado

Para estimar densidades poblacionales de especies plaga y de sus enemigos naturales asociados se han usado trampas de cartón corrugado. Esta técnica se ha usado en algunos programas de control biológico para monitorear las densidades poblacionales de piojos harinosos y de sus enemigos naturales (DeBach 1949), por ejemplo de la cochinilla rosada del hibisco (pink hibiscus mealybug) *Macollenicoccus hirsutus* y algunos de sus enemigos naturales como los encírtidos *Gyranusoidea indica* y *Coccidoctonus* sp., así como el coccinélido depredador o destructor de los piojos harinosos *Cryptolaemus montrouzieri*, entre otros, en Brisbane, Queensland, Australia (Goolsby *et al.* 2002). Esta técnica tiene la ventaja de ser la medida menos destructiva para estimar densidades poblacionales, ya que un muestreo destructivo de renuevos foliares en las plantas puede tener un efecto en la densidad poblacional de los piojos harinosos. Estas bandas que se colocan alrededor de los tallos (una por planta) pueden dejarse por un periodo de una a cuatro semanas. Posteriormente en laboratorio se hace conteo de los diferentes estados de desarrollo de los piojos harinosos, larvas o adultos de depredadores y momias de los piojos harinosos.

Estas trampas también se han usado para determinar el grado de establecimiento y el impacto de liberaciones de tres especies de parasitoides exóticos de la palomilla de la manzana *Cydia pomonella* (L.) (Lep., Tortricidae) en huertos de manzano, pera y nogal de California, EUA, de los años 1993 a 2000. El monitoreo consistió en el uso bandas de cartón corrugado colocadas en los troncos de al menos 50 árboles en cada huerto seleccionado, para atrapar a las larvas de la palomilla que descienden a pupar. De las especies liberadas el parasitoides de larvas *Bassus rufipes* (Braconidae) y los parasitoides de pupa *Liotryphon caudatus* y *Mastrus ridibundus* (Ichneumonidae), sólo esta última especie llegó a establecerse adecuadamente y a tener el mejor impacto en la población de la palomilla de la manzana en esa región (Mills 2005).

## LITERATURA CITADA

- Bartlett, B. R. 1957. Biotic factors in natural control of citrus mealybugs in California. *J. Econ. Entomol.* 50: 753-755.
- Bartlett, B. R. 1968. Outbreaks of two spotted spider mites and cotton aphids following pesticide treatment. I. Pest stimulation vs. natural enemy destruction as the cause of outbreaks. *J. Econ. Entomol.* 61: 297-303.
- Bellows, T. S., R. G. Van Driesche and J. S. Elkinton. 1992. Life-table construction and analysis in the evaluation of natural enemies. *Annu. Rev. Entomol.* 37: 587-614.
- Cudjoe, A. R., P. Neuenschwander and M. J. W. Copland. 1993. Interference by ants in biological control of the cassava mealybug *Phenacoccus manihoti* (Hemiptera: Pseudococcidae) in Ghana. *Bull. Entomol. Research* 83: 15-22.

- DeBach, P. 1946. An insecticidal check method for measuring the efficacy of entomophagous insects. *J. Econ. Entomol.* 39: 695-697.
- DeBach, P. 1949. Population studies of the long-tailed mealybug and its natural enemies on citrus trees in Southern California. *Ecology* 30: 14-25.
- DeBach, P. and B. R. Bartlett. 1964. Methods of colonization, recovery and evaluation, pp. 402-426. *In: DeBach P. (ed.). Biological Control of Insect Pests and Weeds.* Chapman and Hall Ltd, London.
- DeBach, P. and C. B. Huffaker. 1971. Experimental techniques for evaluation of the effectiveness of natural enemies, pp. 113-140. *In: Huffaker C. B. (ed.), Biological Control.* Plenum Press, New York.
- DeBach, P. and D. Rosen. 1991. *Biological Control by Natural Enemies.* Cambridge University Press, Great Britain.
- DeBach, P., C. A. Fleschner and E. J. Dietrick. 1951. A biological check method for evaluating the effectiveness of entomophagous insects. *J. Econ. Entomol.* 44: 763-766.
- DeBach, P., C. B. Huffaker and A. W. MacPhee. 1976. Evaluation of the impact of natural enemies, pp: 255-285. *In: Huffaker C. B. and P. S. Messenger (eds.). Theory and Practice of Biological Control.* Academic Press, New York.
- García-Valente, F., L.D. Ortega-Arenas, H. González-Hernández, J.A. Villanueva-Jiménez, J. López-Collado, A- González-Hernández y H.C. Arredondo-Bernal. 2007. Control biológico de la cochinilla rosada del hibisco *Maconellicoccus hirsutus* (Green) (Hemiptera: Pseudococcidae) en frutales de Bahía de Banderas, Nayarit. *Entomología Mexicana* 6(1): 488-492.
- González-Hernández, H. 1995. The status of the biological control of the pineapple mealybugs in Hawaii. PhD Dissertation, University of Hawaii. Honolulu, HI, USA.
- Gonzalez-Hernandez, H., M. W. Johnson and N. J. Reimer. 1999. Impact of *Pheidole megacephala* (F.) (Hymenoptera: Formicidae) on the biological control of *Dysmicoccus brevipes* (Cockerell) (Homoptera: Pseudococcidae). *Biological Control* 15: 15-45-152.
- Goolsby, A.J., A.A. Kirk and D.E. Meyerdirk. 2002. Seasonal phenology and natural enemies of *Maconellicoccus hirsutus* (Hemiptera: Pseudococcidae) in Australia. *Florida Entomologist* 85(3).
- Hand, L. F. and A. J. Keaster. 1967. The environment of an insect field cage. *J. Econ. Entomol.* 60: 910-915.
- Hassell, M. P., and G. C. Varley. 1969. New inductive population model for insect parasites and its bearing on biological control. *Nature* 223: 1133-1137.
- Heong, K. L. 1986. Quantitative evaluations in biological control. pp. 87-106. *In: Hussenin M. Y. & A. G. Ibrahim (eds.). Biological Control in the Tropics. Proceeding of the First Regional Symposium on Biological Control.* Penerbit University, Pertenian, Malaysia.
- Hölldobler, B. and E. O. Wilson. 1990. *The Ants.* The Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Huffaker, C. B. and C. E. Kennett. 1969. Some aspects of assessing efficiency of natural enemies. *Can. Entomol.* 101: 425-447.
- Jiménez Jiménez, E. 1958. El empleo de enemigos naturales para el control de insectos que constituyen plagas agrícolas en la República Mexicana. *Fitófilo* 11: 5- 24.
- Jiménez Jiménez, E. 1960. Estado actual de la mosca prieta de los cítricos y adelantos en los trabajos de campo y laboratorio para un mejor control. *Fitófilo* 13: 41-48.
- Kfir, R. 2005. The impact of parasitoids on *Plutella xylostella* populations in South Africa and the successful biological control of the pest on the Island of St. Helena. pp: 132-141. *In: M.S. Hoddle (compiler). Second Internacional Symposium on Biological Control of Arthropods, Davos, Switzerland, September 12-16.* USDA Forest Service Pub. FHTET-2005-08, VOL. 1.

- Legner, E. F. 1969. Distribution pattern of host and parasitization by *Spalangia drosophilae* (Hymenoptera: Pteromalidae). *Can. Entomol.* 101: 551-557.
- Loya, R. J. G., D. Gonzalez, F. Gilstrap y J. Bernal. 1992. Los paradigmas en la evaluación de enemigos naturales en el control biológico. *En: Memorias XV Congreso Nacional de Control Biológico, Soc. Mex. Control Biol. Cuautitlán Izcalli, Edo. de México, 8-9 de octubre.*
- Luck, R. F., B. M. Shepard and P. E. Kenmore. 1988. Experimental methods for evaluating arthropod natural enemies. *Annu. Rev. Entomol.* 33: 367-391.
- Mills, N. 2005. Classical biological control of codling moth: the California experience. pp: 126-131. *In: M.S. Hoddle (compiler). Second Internacional Symposium on Biological Control of Arthropods, Davos, Switzerland, September 12-16. USDA Forest Service Pub. FHTET-2005-08, VOL. 1.*
- Reimer, N. J., M-L. Cope and G. Yasuda. 1993. Interference of *Pheidole megacephala* (Hymenoptera: Formicidae) with biological control of *Coccus viridis* (Homoptera: Coccidae) in coffee. *Environ. Entomol.* 22: 483-488.
- Simmons, G. S. and O. P. J. M. Minkenberg. 1994. Field-cage evaluation of augmentative biological control of *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae) in Southern California cotton with the parasitoid *Eretmocerus nr. californicus* (Hymenoptera: Aphelinidae). *Environ. Entomol.* 23: 1552-1557.
- Smith, H. S., H. L. Maltby, and E. Jiménez-Jiménez. 1964. Biological control of the citrus blackfly in Mexico. *US Dept. Agric. Tech. Bull.* 1311: 1-30.
- Smith, H. and P. DeBach. 1942. The measurement of the effect of entomophagous insects on population densities of their hosts. *J. Econ. Entomol.* 35: 845-849.
- Van Driesche, R. G. 1983. Meaning of percent of parasitism in studies of insect parasitoids. *Environ. Entomol.* 12: 1611-1622.
- Waage, J. K. and N. J. Mills. 1992. Understanding and measuring the impact of natural enemies on pest populations. pp: 84-114. *In: Markham R. H., A. Wodageneh & S. Agboola (eds.). Biological Control Manual. Vol. I, Principles and practice of biological control. Food and Agriculture Organization of the United Nations.*
- Way, M. J. 1963. Mutualism between ants and honeydew-producing Homoptera. *Annu. Rev. Entomol.* 8: 307-344.

**Biología, Ecología y Etología de Parasitoides**

*J. S. Bernal*

Depto. de Entomología, Universidad Texas A&M, College Station, Texas, E.U.A. 77843-2475  
juliobernal@tamu.edu

---

---

**CONTENIDO**

<i>Introducción</i> .....	62
<i>¿Qué es un Parasitoide?</i> .....	62
<i>Atributos Etológicos, Fisiológicos y Anatómicos Importantes</i> .....	64
<i>Clasificación de Parasitoides</i> .....	65
<i>Localización y Selección de Huéspedes</i> .....	67
<i>¿Para Qué Estudiar la Biología, Ecología y Etología de los Parasitoides?.....</i>	71
<i>Literatura Citada</i> .....	74

Bernal, J. S. 2007. Biología, ecología y etología de parasitoides, pp. 61-74. *En*: L. A. Rodríguez-del-Bosque y H. C. Arredondo-Bernal (eds.), Teoría y Aplicación del Control Biológico. Sociedad Mexicana de Control Biológico, México. 303 p.

## INTRODUCCIÓN

Los insectos parasitoides son los enemigos naturales más utilizados en el control biológico aplicado y juegan un papel fundamental en el control biológico natural. Según una revisión bibliográfica, de 1,193 enemigos naturales empleados en proyectos de control biológico, el 76% fueron parasitoides y el 24% restante fueron depredadores; entre las especies parasitoides, el 84% fueron del Orden Hymenoptera, 14% correspondieron a Diptera, y el 2% restante a otros Órdenes (Clausen 1978). En gran medida, el uso preferencial de parasitoides sobre depredadores se debe a un mayor nivel de especialización en los primeros; es decir, mientras los insectos depredadores típicamente se alimentan de muchas especies presa en función de su disponibilidad, los parasitoides sólo son capaces de consumir uno o pocos huéspedes. Entonces, la dinámica poblacional de especies insectiles, entre ellas las plagas, comúnmente está más ligada a la de especies parasitoides que a especies depredadoras. Por esto, los parasitoides son identificados con mayor frecuencia como responsables principales de la regulación de poblaciones insectiles, en comparación con los depredadores. La presente sinopsis se enfoca a parasitoides del Orden Hymenoptera, aunque muchos de los conceptos son aplicables a especies parasíticas provenientes de otros Órdenes. La biología, ecología y etología de parasitoides, así como los métodos para su estudio, han sido discutidos por Godfray (1994), Quicke (1997) y Jervis (2005).

### ¿QUÉ ES UN PARASITOIDE?

Se le denomina parasitoide a todo insecto que en estado larvario es parásito de otro artrópodo, el huésped<sup>1</sup> (hospedero o anfitrión), o mientras que en estado

---

<sup>1</sup> “**huésped**. El latín *hospes*, *-itis*, del que deriva esta voz, significaba en un principio ‘persona que da alojamiento a otra’, sentido al que se añadió después el de ‘persona que se aloja en casa de otra’. El castellano *huésped* heredó ambos sentidos y llegó a significar, incluso, ‘dueño de una posada o pensión’: «*Preguntamos al huésped si había qué cenar*» (Alemán *Guzmán* [Esp. 1599]). Con el tiempo, y para evitar anfibologías, fue perdiendo el primero de los sentidos indicados, y hoy se usa casi exclusivamente con el segundo: «*Llevo ya tres días en Madrid como huésped de los marqueses del Paular*» (Perucho *Pamela* [Esp. 1983]). En biología, *huésped* significa ‘organismo en el que se aloja un parásito’: «*Se encontraron [los parásitos] cubiertos por una membrana formada por el huésped*» (*Biología* [Perú] 1-7.02). Este sentido se debe hoy al influjo del inglés *host* — voz que, aunque tomada del francés, procede del mismo étimo latino, y que, al contrario de lo ocurrido en español, solo ha conservado en inglés el sentido de ‘anfitrión’—. Fuera de este ámbito, es preferible hoy reservar el término *huésped* para designar a quien recibe alojamiento, y denominar *anfitrión* al que lo proporciona.” Tomado de: <http://www.academia.org.mx/dudas.php> (consultado 17-IX-2007).

adulto vive libremente. Además, a diferencia del parásito, el parasitoide en la mayoría de los casos termina matando al huésped. Hasta hace unos 25 años, comúnmente se hacía referencia a parasitoides utilizando el término “parásito”; en la actualidad, se evita el uso de este término para resaltar, entre otras diferencias, el hecho de que los parasitoides buscan activamente y eligen cuidadosamente a sus huéspedes. Otras características importantes de los parasitoides, que los diferencian de los parásitos en sentido estricto, son que típicamente sólo parasitan y consumen (matan) a un sólo huésped durante su ciclo de vida, su tamaño es similar al del huésped, poseen un ciclo de vida relativamente simple y pertenecen a un grupo taxonómico afín al de su huésped (comúnmente ambos son insectos).

Con muchas variantes, la estrategia de vida parasitoide consiste en: (1) La búsqueda, activa y dirigida, de huéspedes por la hembra parasitoide adulta; (2) la reproducción mediante oviposición sobre, cerca, o dentro del huésped, una vez localizado éste; y (3) el desarrollo de la larva parasitoide a partir del consumo parcial o total del huésped, seguido de la emergencia del parasitoide adulto. Todas las especies parasitoides pasan por cuatro estados: Huevo, larva, pupa, y adulto; es decir, todas son especies holometábolos. La estrategia de vida parasitoide tiene varias implicaciones importantes para el control biológico aplicado, lo que se refleja en el uso mayoritario de especies parasitoides con respecto a especies depredadoras y patógenas. En primera instancia y a diferencia de especies depredadoras, los parasitoides mantienen una relación fisiológica estrecha con su huésped debido a que completan su desarrollo dentro de o sobre un único huésped: No es posible cambiar de huésped si el elegido por la madre es inadecuado. La estrechez de esta relación define y limita fuertemente el rango de especies hospederas en las que cada especie parasitoide puede desarrollarse: Es improbable, o difícil, en términos evolutivos que un parasitoide mantenga una gran diversidad de especies hospederas, ya que cada una presenta defensas anti-parasíticas (fisiológicas y morfológicas) distintas.

Como ya se mencionó, la relación estrecha entre parasitoide y huésped significa que sus dinámicas poblacionales también estén relacionadas estrechamente y por ende se puede esperar, por ejemplo, que una población parasitoide responda a cambios en la densidad poblacional de una especie plaga con cambios en la densidad propia (*denso-dependencia*). Tal denso-dependencia es fundamental en la regulación poblacional de las especies, entre ellas las plagas, y por ello la denso-dependencia es una de las características de la interacción parasitoide-huésped más importantes para el control biológico aplicado. En segunda instancia, como toda especie, las especies parasitoides buscan reproducirse para realizar, e incrementar al máximo, su éxito reproductivo (aptitud o adecuación). Debido a que la reproducción de un parasitoide depende de su éxito en localizar y seleccionar huéspedes adecuados, se entiende que sus comportamientos de búsqueda y selección tienen base genética y fueron formados

y optimizados mediante procesos de selección natural, parasitoide que no encuentra huésped no se reproduce. Esta es otra característica de los parasitoides de gran valor en el control biológico, a mayor éxito reproductivo mayor parasitismo, mayor mortalidad de huéspedes y mayor nivel de control biológico.

### **ATRIBUTOS ETOLÓGICOS, FISIOLÓGICOS Y ANATÓMICOS IMPORTANTES**

Sin duda, el estilo de vida parasitoide ha tenido gran éxito evolutivo. Una medida de este éxito, por ejemplo, es el número de taxa que han adoptado este estilo de vida. Algunos recuentos recientes indican que existen unas 68 mil especies descritas en siete Órdenes de Insecta (casi el 80% de estas especies corresponden a especies de Hymenoptera), lo que equivale al 8.5% de todas las especies insectiles descritas; además, se estima que pueden existir entre 1.6 y 2 millones de especies parasitoides, considerando especies por descubrir (Godfray 1994, Quicke 1997). Aunque el éxito evolutivo de los parasitoides se debe a un gran número de atributos etológicos, fisiológicos y anatómicos que les dan ventajas frente a organismos con estilos de vida distintos, resaltan tres atributos que contribuyen significativamente a éste éxito:

**Ovipositor apendicular.** Pocos grupos de insectos poseen un ovipositor similar al de las especies parasitoides y difícilmente se puede exagerar la importancia que tienen las modificaciones presentes en el ovipositor parasitoide (Gordh *et al.* 1999). Típicamente, el ovipositor parasitoide es largo y tubular, lo que permite a especies parasitoides alcanzar huéspedes y depositar huevos en hábitats protegidos (dentro de tallos o ramas), o tejidos difíciles de alcanzar, incluyendo tejidos no alcanzados por las defensas fisiológicas del huésped.

**Abdomen peciolado.** Los himenópteros parasitoides (Divisiones Aculeata y Parasítica) poseen una constricción, pecíolo o cintura, entre el tórax (mesosoma) y el abdomen (metasoma), estos dos últimos modificados. Esta cintura aumenta la flexibilidad del abdomen, lo que complementa las ventajas del ovipositor apendicular, como el “picar” y paralizar al huésped antes o durante la oviposición.

**Determinación sexual haplo-diploide.** En la mayoría de las especies parasitoides, los machos son haploides y las hembras son diploides. Esto se debe a que los machos provienen de huevos estériles mientras que las hembras provienen de huevos fertilizados; además, una vez inseminadas, las hembras son capaces de regular la fertilización de sus huevos mediante la liberación o retención de esperma almacenado en su espermateca. Por esto, la determinación sexual de cada progenie no depende de procesos genéticos aleatorios,

comúnmente la *tasa sexual* (= proporción de machos en una población) de una población es menor a 0.5 y típicamente esta tasa representa una relación óptima entre los números de machos y hembras en una población. En términos simples, las hembras parasitoides “eligen” el sexo de cada progenie y la elección responde a decisiones adaptativas.

## CLASIFICACIÓN DE PARASITOIDES

A la par de la gran diversidad taxonómica evidente entre los parasitoides existe una gran diversidad de hábitos alimenticios y de desarrollo, métodos reproductivos y otros atributos relacionados a la fisiología reproductiva, tipos de huéspedes, comportamientos y otros aspectos biológicos y etológicos. A continuación, se presentan algunas de las clasificaciones más comunes y relevantes para el control biológico, basadas en atributos diversos. Estas clasificaciones facilitan el estudio y la discusión sobre parasitoides, aunque no necesariamente se apegan a clasificaciones taxonómicas, ni reflejan relaciones filogenéticas.

**Parasitoides primarios versus secundarios.** Los parasitoides *primarios* son aquellos que parasitan a huéspedes que no son parasitoides, como lo son, por ejemplo, especies herbívoras y depredadoras. En cambio, los parasitoides *secundarios* utilizan como huéspedes a especies de parasitoides primarios, e incluso secundarios; en este último caso, se les denomina *parasitoides terciarios*. Es común el uso del término “hiperparasitoide” para referirse a los parasitoides secundarios. En el control biológico se utilizan los parasitoides primarios y son indeseables los parasitoides secundarios por la mortalidad que causan en las poblaciones de los primeros. En algunas especies, el hábito secundario o hiperparasítico, es facultativo (*hiperparasitoides facultativos*); en estos casos, la larva parasitoide puede desarrollarse como especie primaria o secundaria de acuerdo al huésped al que fue destinado en estado de huevo.

**Parasitoides de huevos, larvas, ninfas, pupas, o adultos.** Esta clasificación agrupa a los parasitoides en base al estado de desarrollo del huésped en el que el parasitoide inicia y completa su desarrollo larvario. Muchas especies parasitoides explotan a dos estados de desarrollo del huésped y por ello son asignadas a categorías compuestas. Por ejemplo, se tienen *parasitoides larvo-pupales*, *ovo-larvarios*, entre otros; se entiende que en el primero de los casos, el parasitoide inicia su desarrollo en la larva del huésped y emerge como adulto de la pupa hospedera, mientras que en el segundo de los casos, el desarrollo se inicia en el huevo del huésped y el parasitoide adulto emerge de la larva hospedera.



**Parasitoides teliotocos, deuterotocos, y arrenotocos.** Esta clasificación agrupa a los parasitoides con base en el tipo de reproducción utilizado por una especie o población de parasitoides. Las especies teliotocas se reproducen exclusivamente por partenogénesis y sus poblaciones consisten exclusivamente de hembras. Las especies deuterotocas normalmente se reproducen por partenogénesis y sus poblaciones comúnmente consisten sólo de hembras, aunque ocasionalmente se producen machos. En las especies arrenotocas, la partenogénesis es facultativa, los machos provienen de huevos infértiles y las hembras de huevos fertilizados (ver arriba *Determinación sexual haplo-diploide*). Sin embargo, se ha documentado recientemente y en un número creciente de casos que la condición teliotoca o deuterotoca en muchas especies o poblaciones de parasitoides (y otros insectos) es inducida por infecciones microbianas (Ej., *Wolbachia* y otras rickettsias) y que una vez curadas de la infección, estos parasitoides se reproducen sexualmente. Por este motivo, es común que dentro de una especie parasitoide existan poblaciones teliotocas y arrenotocas.

**Parasitoides externos versus internos.** Esta clasificación distingue entre aquellos parasitoides que se alimentan externamente- versus internamente del huésped. Otros nombres asignados a estos parasitoides son *ectoparasitoide* (para externos) y *endoparasitoide* (para internos). Es común que los huéspedes de las especies ectoparasíticas ocurran en hábitats protegidos como galerías, minas, o túneles, mientras los huéspedes de especies endoparasíticas comúnmente ocurren en hábitats desprotegidos.

**Parasitoides solitarios versus gregarios.** Esta clasificación se basa en la cantidad de progenie asignada a un huésped. En especies solitarias, se asigna una sola progenie por huésped, mientras que en especies gregarias se asigna más de una progenie por huésped. La emergencia de más de un parasitoide por huésped en especies solitarias se debe al *superparasitismo*, el cual se origina, entre otros factores, a que la capacidad de distinguir entre huéspedes parasitados y sanos (es decir, libres de parasitismo) es imperfecta en las hembras parasitoides. Ocasionalmente y con mayor frecuencia conforme una hembra tiene menos experiencia oviposicional o la disponibilidad de huéspedes es limitada, éstas ovipositan en huéspedes previamente parasitados. En casos de superparasitismo, es común que muera toda la progenie asignada a un huésped, o que la progenie no se desarrolle bien, lo que resulta en parasitoides adultos relativamente pequeños.

Por otro lado, existen especies *facultativamente gregarias*. En estos casos, la cantidad de progenie asignada por huésped depende del tamaño (u otra cualidad) del huésped. Los huéspedes pequeños reciben una sola progenie y los de mayor tamaño reciben más de una progenie. El hábito gregario facultativo implica que las hembras parasitoides son capaces de valorar (medir) con precisión el tamaño de sus huéspedes y que no ocurre superparasitismo.

**Parasitoides idiobiontes versus cenobiontes.** Estos parasitoides difieren en el estado de desarrollo o patrón de crecimiento de su huésped, una vez que es parasitado. Las especies idiobiontes se desarrollan en estados de desarrollo del huésped en que no ocurre crecimiento (huevos, pupas, adultos) o alternativamente en huéspedes que dejan de crecer una vez parasitados, debido comúnmente a parálisis inducida por la hembra parasitoide al momento de la oviposición. En cambio, las especies cenobiontes se desarrollan en estados de desarrollo del huésped que crecen activamente, aún después de ser parasitados (larvas, ninfas).

**Parasitoides sinovigénicos versus proovigénicos.** La diferencia entre estos tipos de parasitoides estriba en que los adultos en especies sinovigénicas emergen de la pupa con ninguno o pocos huevos maduros en sus ovarios, mientras que en especies proovigénicas los adultos emergen con un complemento completo o casi completo de huevos maduros. En especies sinovigénicas, las hembras continúan madurando huevos durante la mayor parte de su vida adulta, mientras que en especies proovigénicas se producen pocos o ningún huevo después de la emergencia del parasitoide adulto. Se considera que las condiciones estrictamente sinovigénicas (ningún huevo a la emergencia) y proovigénicas (complemento completo de huevos a la emergencia) son los extremos de un rango continuo y que la mayoría de las especies parasitoides presentan condiciones intermedias. Es común en especies sinovigénicas que las hembras requieran de un periodo de tiempo (horas o días) para madurar los huevos antes de ovipositar por vez primera (*periodo preoviposicional*) y que requieran consumir proteína para continuar madurando huevos. En este último caso, la hemolinfa (raramente tejido) de la especie hospedera se utiliza como fuente de proteína y se extrae de heridas producidas por el ovipositor (*alimentación del huésped*).

En algunas especies, se utiliza a un mismo individuo como huésped y como fuente de hemolinfa (*alimentación concurrente del huésped*), mientras que en otras se utilizan individuos diferentes como huéspedes y fuentes de hemolinfa (*alimentación no concurrente del huésped*). En este último caso, usualmente mueren los individuos que sirvieron como fuente de hemolinfa (*alimentación destructiva del huésped*), lo que aumenta la tasa de mortalidad ocasionada en la población hospedera.

## LOCALIZACIÓN Y SELECCIÓN DE HUÉSPEDES

El proceso mediante el cual los parasitoides localizan y seleccionan a sus huéspedes es fundamental para el estilo de vida parasitoide puesto que la reproducción (aptitud) del parasitoide depende del éxito logrado en este proceso.

El proceso de localización y selección de huéspedes es de gran importancia desde el punto de vista práctico, o antropogénico, puesto que, como se indicó anteriormente, el objetivo principal en el control biológico, eliminar individuos plaga, coincide en este proceso con el objetivo del parasitoide adulto, reproducirse. El proceso de búsqueda y selección de huéspedes es etológicamente complejo y ha sido descrito por muchos autores. A grandes rasgos, este proceso incluye los siguientes pasos: (1) Localización del hábitat del huésped; (2) localización del huésped; (3) aceptación del huésped; y (4) interacción fisiológica con el huésped. La división del proceso en cuatro pasos es arbitraria y es común que exista traslape entre dos pasos consecutivos o que el proceso sea incompleto, entre otras desvíos; sin embargo, la división del proceso en pasos o etapas es de mucha utilidad para fines de estudio.

El proceso de localización y selección de huéspedes puede ser estudiado desde dos perspectivas. Primero ¿Cómo un parasitoide localiza y selecciona a sus huéspedes? Y segundo, ¿Por qué un parasitoide selecciona a un huésped y no otro? La respuesta a la primera pregunta se encuentra primordialmente en las interacciones químicas entre parasitoide, huésped y planta hospedera. Al igual que en la mayoría de los insectos, la vida de los parasitoides gira en torno a la comunicación química. Los parasitoides localizan y seleccionan a sus huéspedes al utilizar y responder a una serie de estímulos químicos volátiles (olores) y de contacto (sabores). Por otro lado, la respuesta a la segunda interrogante se encuentra primordialmente en la necesidad que tienen los parasitoides, al igual que todo organismo, de alcanzar el mayor éxito reproductivo. Los parasitoides seleccionan para destinar su progenie a aquellos huéspedes que les confieren la mayor aptitud (o adecuación). Un mejor entendimiento de las preferencias por huéspedes de distintos ínstares, tamaños, edades, u otras cualidades nos permite comprender por qué un parasitoide tiene éxito reproductivo y es efectivo, en algunas circunstancias y no en otras; de manera inversa, este entendimiento puede mejorar la capacidad predictiva del control biológico al poder inferir sobre la efectividad de determinado parasitoide, previo a su liberación, dadas las condiciones prevalecientes en el entorno.

El primer paso del proceso de búsqueda y selección de huéspedes, localización del hábitat, consiste en localizar el hábitat en que ocurre normalmente el huésped; este hábitat típicamente consiste de una planta, o un grupo de plantas, en los casos en que el huésped sea un herbívoro (Ej., una plaga agrícola). La atracción al hábitat depende primordialmente de compuestos químicos volátiles que se difunden a distancias considerables, suficientes para facilitar la localización a distancia del hábitat. Comúnmente, el olor de la planta hospedera es atractivo por sí mismo al parasitoide, aunque en años recientes se ha encontrado que plantas infestadas con herbívoros son más atractivas que plantas libres de herbívoros y que las las plantas infestadas emiten señales químicas

volátiles específicas, producidas en respuesta al daño alimenticio (herbivoría). A estos olores específicos e inducidos por la herbivoría se les conoce como “*sinomonas*”. En general, las sinomonas son señales químicas que producen beneficios tanto para el emisor, la planta en este caso, como para el receptor, el parasitoide.

Las sinomonas benefician a la planta al hacer más eficiente el reclutamiento de parasitoides (o depredadores) para su defensa y benefician al parasitoide al recibir información específica sobre la presencia de huéspedes en el hábitat. De hecho, se ha sugerido que la producción de sinomonas resuelve el problema de confiabilidad-perceptibilidad (*reliability-detectability problem*). Este problema, o paradoja, se refiere a la difícil tarea que enfrentan los parasitoides de encontrar huéspedes que para aumentar sus probabilidades de supervivencia, deliberadamente intentan ocultarse: Es decir, mientras las señales químicas emitidas por el huésped son confiables, estas son difíciles de detectar porque comúnmente son de contacto u operan a distancias cortas, mientras que las señales emitidas por las plantas hospederas son fáciles de detectar y operan a distancias considerables, pero son poco confiables porque no provén información sobre la presencia o ausencia del huésped. En cambio, las sinomonas provén información confiable y perceptible a distancias que facilitan la localización de hábitats. Hasta el momento, se ha documentado la producción y respuesta a sinomonas en varios sistemas planta-herbívoro-parasitoide (o depredador), lo que sugiere que este fenómeno es común.

Además de sinomonas, los parasitoides pueden utilizar *kairomonas* para encontrar al hábitat de su huésped. Una kairomona es una señal química que favorece al receptor, el parasitoide, pero no al emisor, el huésped. Algunos ejemplos de kairomonas son olores emanados de la mielecilla producida por áfidos, o de las heces de muchos huéspedes; sin embargo, las kairomonas son utilizadas con mayor frecuencia a distancias cortas, durante la localización del huésped. También, algunos parasitoides localizan el hábitat de sus huéspedes mediante los sonidos producidos por éstos, como es el caso de parasitoides de grillos (Gryllidae, Oecanthidae).

Una vez localizado el hábitat, el parasitoide debe encontrar al huésped. Para localizar huéspedes, los parasitoides utilizan señales químicas u otras señales, activas a distancias cortas o intermedias. Las señales químicas pueden ser volátiles o de contacto, o ser detectadas de ambas maneras. Por ejemplo, se sabe que la mielecilla producida por los áfidos produce olores detectables tanto a distancia como por contacto. Otro tipo de señal comúnmente utilizado para localizar huéspedes son las vibraciones (*señales auditivas*), producidas por huéspedes al consumir tejido vegetal y percibidas por los parasitoides como sonidos transmitidos a través de medios sólidos (vibración). Independientemente

de su tipo, las señales utilizadas para localizar huéspedes sirven para enfocar y delimitar el área de búsqueda e intensificar las actividades de búsqueda de los parasitoides.

No todos los huéspedes localizados por un parasitoide son aceptables para asignar progenie parasitoide. Generalmente, la hembra parasitoide evalúa cada huésped para determinar si es apropiado para asignar progenie. La decisión de asignar o no asignar progenie a un huésped es de importancia fundamental para los parasitoides puesto que de lo acertado de ésta decisión depende su éxito reproductivo (aptitud) y en gran medida el éxito reproductivo de su progenie. Un huésped puede ser inaceptable y rechazado, porque ya se encuentra parasitado, está enfermo, es demasiado pequeño, es muy joven o muy viejo, entre otros motivos. Por otro lado, un huésped es aceptado por una hembra parasitoide cuando, dadas las condiciones del entorno (Ej., disponibilidad de huéspedes), entre ellas las condiciones intrínsecas del parasitoide (Ej., edad, carga ovárica) y su "calidad" (edad, tamaño, instar, u otra cualidad) que da lugar a una progenie con gran potencial reproductivo; es decir, cuando la hembra parasitoide deriva de la aceptación del huésped la mayor aptitud (adecuación) posible. Típicamente, el tamaño adulto de las hembras parasitoides depende de la calidad del huésped en el que se desarrolló y a su vez el potencial reproductivo de las hembras parasitoides comúnmente esta ligado directamente a su tamaño adulto. El éxito reproductivo de las hembras comúnmente aumenta conforme aumenta su tamaño adulto.

El hecho de que un huésped sea aceptado por un parasitoide no garantiza que la progenie parasitoide pueda completar su desarrollo al alimentarse del huésped. Los huéspedes no representan recursos alimenticios pasivos e indefensos para los parasitoides, ni los parasitoides son sujetos pasivos de las reacciones fisiológicas defensivas de sus huéspedes. El desarrollo exitoso de un parasitoide sobre su huésped depende del resultado de las interacciones fisiológicas que ocurren entre ambos. Por un lado, es común que los huéspedes se defiendan del parasitismo mediante *encapsulación* y *melanización* de huevos o larvas parasitoides pequeñas, dos mecanismos defensivos comúnmente ligados. El primero consiste en asfixiar a huevos y larvas parasitoides mediante la formación de una cápsula a partir de plasmotocitos alrededor de estos cuerpos foráneos y el segundo consiste en el endurecimiento de la cápsula. Por otro lado, los huéspedes se pueden defender a través de respuestas humorales, a base de anticuerpos. En este caso, se cree que los plasmotocitos son responsables directos de la muerte de parasitoides en desarrollo, aunque el entendimiento de este mecanismo es rudimentario. Un último mecanismo de defensa interno contra parasitoides es el consumo por el huésped de tejido vegetal con compuestos químicos nocivos. Es relativamente común que algunos compuestos químicos presentes en plantas hospederas sean nocivos para los parasitoides, mientras que son tolerados por los

huéspedes. Por su parte, muchos parasitoides son capaces de manipular la fisiología de sus huéspedes para que estos representen recursos más favorables para su desarrollo. Esto lo logran los parasitoides al liberar toxinas, hormonas u otros metabolitos que interfieren con procesos fisiológicos del huésped. Por ejemplo, en muchas especies (idiobiontes) las hembras parasitoides paralizan al huésped al momento de depositar sus huevos para así aprovechar al máximo el recurso alimenticio, o en especies ectoparasíticas para, además, evitar que el huésped remueva físicamente los huevos del parasitoide. En otros casos, se prolonga, o acelera, el desarrollo del huésped para ajustar su fenología con la del parasitoide, o se modifica el comportamiento del huésped para facilitar la supervivencia del parasitoide (Ej., una vez parasitado, el huésped busca hábitats protegidos).

### **¿PARA QUÉ ESTUDIAR LA BIOLOGÍA, ECOLOGÍA Y ETOLOGÍA DE LOS PARASITOIDES?**

Como toda disciplina científica, el control biológico debe tener una base teórica a partir del cual se generen hipótesis refutables. Además, por ser una disciplina aplicada, el control biológico debe tener poder predictivo; es decir, se debe tener un nivel de confiabilidad aceptable asociado a la probabilidad de que se den los resultados esperados al combatir plagas agrícolas mediante tácticas de control biológico. Por ejemplo, es importante tener la certeza que la liberación de un número determinado de parasitoides es suficiente para reducir la densidad poblacional de una plaga al nivel deseado. O, por ejemplo, saber cuál de varias especies parasitoides disponibles es la indicada para lograr reducir la densidad poblacional de una plaga, al considerar factores del entorno como distribución de edades, estados, instares, en la población hospedera, disponibilidad de especies hospederas alternativas, disponibilidad de fuentes de carbohidratos (Ej., néctar), entre otros.

Para ilustrar la importancia de contar con una base teórica (sobre todo ecológica y evolutiva) y de ejecutar estudios etológicos y ecológicos básicos, entre otros, para mejorar los resultados y contribuir al avance científico del control biológico, a continuación se presenta un ejemplo de control biológico mediante parasitoides que en el transcurso de más de 50 años ha evolucionado positivamente con base en estudios científicos detallados, lo que a la vez ha contribuido al conocimiento básico de la disciplina (Luck y Nunney 1999). Como se indicó anteriormente, el proceso mediante el cual los parasitoides eligen a sus huéspedes puede ser visto desde dos perspectivas complementarias, aquella que busca entender “cómo” se elige a un huésped y aquella que busca entender “por qué” se elige a un huésped. En el ejemplo presentado enseguida, se enfatiza el segundo punto de vista y a la vez la manera en que el entendimiento de las

razones por las que se elige a un huésped sobre otro aumenta nuestro entendimiento sobre el funcionamiento del control biológico y hace más efectivos los procesos de selección de agentes de control biológico. La resolución de este último punto ¿Cómo seleccionar enemigos naturales? contribuirá sustancialmente a fortalecer la fuerza predictiva y éxito del control biológico.

**Control biológico de la escama roja de California mediante especies de *Aphytis*.** La escama roja, *Aonidiella aurantii* (Maskell), es una plaga importante de cítricos en California desde su introducción a ese estado en la segunda mitad del siglo XIX. A poco tiempo de su introducción se inició un proyecto de control biológico en el que se importaron gran cantidad de especies parasitoides, entre ellas *Aphytis lingnanensis* Compere y *Aphytis melinus* DeBach, las dos especies finalmente responsables del control biológico de la escama roja en California. *A. lingnanensis* se estableció en 1947, unos 10 años antes de que se estableciera *A. melinus*. No obstante, a menos de cinco años de su introducción, *A. melinus* desplazó a *A. lingnanensis* en gran parte de la región citrícola sur/costa de California, en lo que originalmente se consideró un ejemplo clásico de desplazamiento competitivo entre especies ecológicamente homólogas, ambas especies explotaban a un mismo recurso, la escama roja y solo subsistió la especie más competitiva. En este caso, el desplazamiento de *A. lingnanensis* se atribuyó a la mayor capacidad de búsqueda de *A. melinus*. Años después, sin embargo, se compararon las preferencias por instares y tamaños de huésped y la asignación de géneros (sexual) en ambas especies de *Aphytis* y se descubrió que: (1) Ambas especies utilizan huéspedes de segundo y tercer ínstar, con una preferencia marcada por los de tercer ínstar; (2) *A. melinus* típicamente produce progenie hembra (hijas) en escamas con tamaño  $>0.39\text{mm}^2$  (e hijos en escamas  $<0.39\text{mm}^2$ ); y (3) *A. lingnanensis* típicamente produce hijas en escamas con tamaño  $>0.55\text{mm}^2$ . Se concluyó entonces, que en sentido estricto las dos especies no son homólogas y que el desplazamiento se debió a la usurpación de escamas por *A. melinus*, antes que éstas alcanzaran el tamaño requerido por *A. lingnanensis*.

Los resultados de estos estudios etológicos, además de otros relacionados, permiten hacer una serie de predicciones acerca de la factibilidad de control biológico de escama roja bajo distintas condiciones. Por ejemplo, en condiciones inadecuadas para la escama (Ej., variedades resistentes, crecimiento sobre ramas versus follaje y frutos, altas temperaturas), bajo las cuales el crecimiento de la escama roja es restringido, es improbable que *A. lingnanensis* sea efectivo contra la escama roja. En cambio, la efectividad de *A. melinus* bajo esas condiciones dependerá de la distribución de tamaños de las poblaciones de escama roja: Si en la población prevalecen escamas de tamaño suficiente para producir progenie hembra, entonces se fomentará el crecimiento poblacional de *A. melinus* y es probable que el control biológico sea efectivo. Esta predicción se evalúa (y confirma) rutinariamente en el Valle de San Joaquín de California, una zona

citricola donde el clima extremo prevaleciente impide el establecimiento de *A. lingnanensis* y limita severamente las poblaciones de *A. melinus*. Para lograr el control biológico de la escama roja en el Valle de San Joaquín es necesario hacer liberaciones aumentativas periódicas de *A. melinus* y las reglas de decisión para hacer liberaciones tienen su fundamento, por un lado en el conocimiento de preferencias por instares y tamaños de huésped y la asignación de sexos en *A. melinus* y por el otro en la distribución de instares y tamaños de escama roja en el huerto. Esencialmente, se procede a muestrear la población de escamas en el huerto para determinar la distribución de instares y tamaños y el porcentaje no parasitado de escamas de tercer y segundo instar.

Cuando es evidente que la mayoría de las escamas tanto de tercer instar (preferidas por el parasitoide) como de segundo instar (menos preferidas) se encuentren parasitadas, la decisión es no aplicar medidas de control (Ej., liberación de *A. melinus* o aplicación de insecticida) puesto que el control biológico es efectivo, la población de escamas del instar preferido (tercero) fue agotada y los parasitoides se vieron forzados a parasitar escamas del instar menos preferido (segundo). En situaciones en que las escamas de tercer instar no se encuentran parasitadas, la decisión depende del historial del huerto y otras condiciones ambientales que afectan al control biológico. Por ejemplo, si las condiciones son propicias para el control biológico (Ej., no se han hecho liberaciones previas de *A. melinus* o estos normalmente ocurren en el huerto, bajo/nulo nivel de residuos de insecticidas en el follaje) se decide liberar parasitoides o re-evaluar la situación unos 2-4 días después. Si en cambio, las condiciones no son propicias para el control biológico (Ej., ya se hicieron liberaciones sin efecto o *A. melinus* no ocurre naturalmente en el huerto, alto nivel de residuos de insecticida en el follaje) es necesario recurrir al uso de insecticidas. Por último, si es evidente que aún no se presentan las escamas de tercer instar en el huerto, entonces la decisión debe ser re-evaluar después de unos 3-5 días (Luck y Nunney 1999, Foster *et al.* sin fecha.).

El ejemplo anterior ilustra la importancia del estudio básico de la etología y ecología de enemigos naturales para resolver problemas prácticos de manejo de plagas y entender por qué un enemigo es o no es efectivo en un entorno determinado y las contribuciones de tales estudios al desarrollo de una disciplina científica, el control biológico.

### **Agradecimientos**

Refugio Lomelí Flores (Colegio de Postgraduados, Montecillo, México), Laura Martínez Martínez (CIIDIR-IPN Unidad Oaxaca, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca), y Ricardo Ramírez Romero (Universidad de Guadalajara-CUCBA,



Zapopan, Jalisco) ofrecieron comentarios y críticas valiosas sobre versiones anteriores del manuscrito; no todas fueron acatadas, pero si todas fueron muy apreciadas. La responsabilidad sobre lo presentado aquí recae enteramente sobre el autor.

### LITERATURA CITADA

- Clausen, C. P. (ed.) 1978. Introduced parasites and predators of arthropod pests and weeds: A world review. Agriculture Handbook No. 480, United States Dept. of Agriculture, Washington, D.C.
- Foster, L. D., R. F. Luck, and E. Grafton-Cardwell (sin fecha). Life stages of California red scale and its parasitoids. Publ. No. 21529, University of California Division of Agriculture and Natural Resources.
- Godfray, H. C. J. 1994. Parasitoids: Behavioral and evolutionary ecology. Princeton University Press, Princeton.
- Gordh, G., E. F. Legner, and L. E. Caltagirone. Biology of parasitic Hymenoptera. *En*: T. S. Bellows y T. W. Fisher (eds.), Handbook of biological control. Academic Press, San Diego, pp. 355-381.
- Jervis, M. A. (ed.) 2005. Insects as natural enemies: A practical perspective. Springer, Dordrecht.
- Luck, R. F. and L. Nunney. 1999. A Darwinian view of host selection and its practical implications. *En*: B. A. Hawkins y H. V. Cornell (eds.), Theoretical approaches to biological control. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 283-303.
- Quicke, D. L. J. 1997. Parasitic wasps. Chapman & Hall, Inc., London.

**Depredación entre Artrópodos**

*M. H. Badii<sup>1</sup>, J. Landeros<sup>2</sup>, E. Cerna<sup>2</sup> y S. Varela<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Fac. de Ciencias Biológicas, U.A.N.L. Apdo. Postal 122 – F. San Nicolás de los Garza, N.L.  
66450 México. mhbadii@yahoo.com.mx

<sup>2</sup>Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coah., México

<sup>3</sup>Universidad Autónoma de Tamaulipas, Cd. Victoria, Tam., México

---

---

**CONTENIDO**

<i>Introducción</i> .....	76
<i>Artrópodos Depredadores</i> .....	77
<i>Evolución de los Sistemas Depredador-Presa</i> .....	81
<i>Diferencias entre Depredadores y Parasitoides</i> .....	82
<i>Especificidad de los Depredadores</i> .....	83
<i>Análisis de la Depredación</i> .....	83
<i>Modelos de Depredación</i> .....	84
<i>Literatura Citada</i> .....	87

Badii, M. H., J. Landeros, E. Cerna y S. Varela. 2007. Depredación entre artrópodos, pp. 75-89. *En*: L. A. Rodríguez-del-Bosque y H. C. Arredondo-Bernal (eds.), Teoría y Aplicación del Control Biológico. Sociedad Mexicana de Control Biológico, México. 303 p.

## INTRODUCCIÓN

En el mundo de los insectos los depredadores son como los leones, lobos, tiburones y águilas. Un insecto depredador acecha a su presa o cuando la presa es sésil o semisésil la ataca directamente sin acecho. Los insectos depredadores se alimentan sobre todos los estadios de su presa, algunos de ellos como coccinélidos o carábidos mastican literalmente a su presa y otros como reduvidos, larvas de crisópidos y sírfidos succionan el contenido de su presa; el segundo grupo frecuentemente inyecta toxinas y enzimas digestivas en su presa y de esta manera inmoviliza a la presa para que no presente resistencia durante el proceso de alimentación. Los insectos depredadores se encuentran en todos los Órdenes, aunque la mayoría son coleópteros. Todos los miembros del Orden Odonata son exclusivamente depredadores. Algunos insectos depredadores como *Chrysoperla carnea* son polífagos; otros como la mayoría de los coccinélidos y sírfidos son oligófagos, por ejemplo depredan a los áfidos y finalmente algunos como *Rodolia cardinalis* son monófagos. Algunos depredadores como *Geocoris pallens* aparte del hábito depredador, succionan savia de plantas; en este caso, la carne de la presa es necesaria para el crecimiento y la reproducción del depredador, mientras que los azúcares de las plantas son necesarios para el mantenimiento de su metabolismo.

A pesar que los parasitoides han resultado con el mayor número de casos exitosos de control biológico en comparación con los depredadores, estos últimos han sido de importancia significativa en varios programas de control biológico, por ejemplo, *Rodolia cardinalis* contra *Icerya purchasi* y *Tythus mundulud* vs la chicharrita de la caña de azúcar con ganancias económicas sustanciales. En el valle de San Joaquín en California, EUA, los depredadores son más importantes que los parasitoides en control biológico de plagas del Orden Lepidoptera como *Helicoverpa zea*, *Spodoptera exigua* y *Trichoplusia ni*; el mismo escenario se repite en el caso de la soya en el sur de E.U.A. Según McMurtry *et al.* (1970) los brotes mundiales de las arañas rojas paralelos al uso amplio de los insecticidas orgánicos se ha debido principalmente a la eliminación de los enemigos naturales de los ácaros por el control químico. Se ha intentado la introducción de los depredadores de los ácaros resistentes a los plaguicidas en huertas de manzana y viñedos, con el fin de compensar los brotes de las arañas rojas causados por el control químico (Croft 1977). El papel del control biológico ha sido demostrado (Badii *et al.* 2003a, 2003b) y además, el control biológico forma uno de los ejes centrales en apoyo a la sustentabilidad y estabilidad ambiental (Badii 2004). El empleo correcto de las bases de control biológico no será posible sin el conocimiento objetivo y científico de la noción de la metapoblación (Badii y Abreu 2006), fragmentación del hábitat (Badii y Ruvalcaba 2006, Badii y Landeros 2007a) y el proceso y los modelos predictivos del proceso y la dinámica de la invasión de especies (Badii y Landeros 2007b). En este capítulo se presentan

algunas generalidades esenciales acerca del fenómeno de la depredación (Badii 1994, Badii y Flores 1990, Badii y McMurtry 1983, 1984, 1988, 1990; Badii *et al.* 1999a, 1999b) con miras hacia una apreciación cuantitativa del tema y además se discute brevemente la importancia de los ácaros depredadores en el control biológico de ácaros plaga de importancia agrícola, en virtud de la escasa información con respecto a los ácaros depredadores con relevancia en el sector agrícola.

## ARTRÓPODOS DEPRADADORES

Los enemigos naturales más importantes de los insectos y ácaros son los propios insectos y ácaros y que a este incesante conflicto debemos en buena parte el mantenimiento del equilibrio en las poblaciones de insectos a niveles suficientemente bajos, que permiten la existencia de la vida animal y vegetal tal como la conocemos actualmente (Clausen 1940). Sweetman (1936) registra a 167 familias de insectos depredadores, este número se ha incrementado, conforme se conoce mejor a los insectos en general; desde luego, muchas familias son poco notables y en contraste, un número relativamente pequeño se destaca por el papel que juegan en el control biológico de insectos y ácaros que son plagas de las plantas cultivadas.

La lista de Órdenes y familias de insectos con hábitos depredadores en este capítulo es una selección que tomó en cuenta principalmente la importancia de los grupos desde el punto de vista de sus hábitos, así como la disponibilidad de información al respecto (Cuadro 1, tomado de Bravo *et al.* 2000). Se consultaron en especial las obras de Clausen (1940), Sweetman (1936), Borror *et al.* (1976). Para cada familia se anotan uno o dos nombres de géneros importantes así como sus presas más frecuentes.

**Cuadro 1. Órdenes, familias y géneros de artrópodos depredadores y sus presas.**

Familia	Género (Presa)
<b>Orthoptera</b>	
Tettigonidae	<i>Conocephalus</i> (homópteros)
	<i>Clenia</i> (lepidópteros)
Gryllacrididae	<i>Udeopsylla</i> (coleópteros)
Gryllidae	<i>Oecanthus</i> (homópteros)
Mantidae	(insectos diversos)
<b>Dermaptera</b>	
Forficulidae	<i>Forficula</i> (pulgas saltonas)
Labiduridae	<i>Labidure</i> (lepidópteros)

	<b>Odonata</b>
Libellulidae Coenagrionidae	Las ninfas son depredadoras en medios acuáticos. Los adultos depredan en la parte aérea
	<b>Psocoptera</b>
Psocidae	(coccidos)
	<b>Hemiptera</b>
Pentatomidae	<i>Podisus</i> (lepidópteros) <i>Perilus</i> (coleópteros)
Lygaeidae	<i>Gecoris</i> (huevecillos, ácaros)
Nabidae	<i>Nabis</i> (homópteros)
Miridae	<i>Deaerocoris</i> (áfidos) <i>Cytorhinus</i> (chicharritas)
Anthocoridae	<i>Orius</i> , <i>Xylocoris</i> (trips, ácaros y otros)
Reduviidae	<i>Zellus</i> (homópteros)
	<b>Thysanoptera</b>
Aeolothripidae	<i>Aeolotrips</i> (trips, áfidos)
Thripidae	Scolothrips (ácaros, áfidos)
	<b>Mecoptera</b>
Bittacidae	<i>Bittacus</i> , <i>Apterobittacus</i> (áfidos, moscas)
	<b>Plecoptera</b>
Pelidae	<i>Perla</i> , <i>Acroneuria</i> (div. insectos)
	<b>Neuroptera</b>
Scalidae	<i>Scalis</i> (insectos acuáticos)
Raphidiidae	<i>Raphidia</i> (áfidos)
Ithonidae	<i>Ithone</i> (escarabeidos)
Hemerobiidae	<i>Hemerobius</i> , <i>Micromus</i> (insectos diversos)
Chrysopidae	<i>Chrysopa</i> (insectos diversos)
Myrmeleontidae	<i>Myrmeleon</i> (hormigas)
Mantispidae	<i>Mantispa</i> (huevos de lepidópteros)
Conopterygidae	<i>Conwentzia</i> (trips, filoxéridos) <i>Fontenellea</i> (escamas)
Ascalaphidae	<i>Ululodes</i> (insectos del suelo)
	<b>Hymenoptera</b>
Tenthredinidae	<i>Tenthrediella</i> (crisomélidos)
Miscogasteridae	<i>Scutellista</i> , <i>Tomocera</i> , <i>Aphobetoideus</i> , <i>Anysis</i> (huevos de cóccidos)
Mutillidae	<i>Mutilla</i> , <i>Ephutomma</i> (abejas)
Formicidae	<i>Solenopsis</i> , <i>Dolichoderus</i> , <i>Oecephylla</i> (lepidópteros y otros)
Vespidae	<i>Polistes</i> (lepidópteros)
Sphécidae	<i>Sphex</i> , <i>Prionyx</i> (acrídidos)

## Diptera

Tipulidae	los <i>Hexatomini</i> y <i>Peidicini</i> son predominantemente depredadores de diversos insectos
Culicidae	<i>Psorophora</i> , <i>Culex</i> , <i>Megarhinus</i> (canibales y depredadores acuáticos)
Cecidomyiidae	<i>Aphidoletes</i> (áfidos y otros microinsectos)
Stratiomyidae	(artrópodos)
Rhagionidae	<i>Vermileo</i> , <i>Lampromyia</i> (dípteros y otros, en el suelo)
Tabanidae	<i>Tabanus</i> (escarabeidos)
Asilidae	<i>Asilis</i> , <i>Mallophora</i> (insectos diversos)
Therevidae	<i>Phycus</i> (dermátidos, dípteros)
Bombyliidae	<i>Villa</i> , <i>Systropus</i> (insectos diversos)
Dolichorodidae	<i>Medeter</i> (larvas de barrenadores)
	<i>Condylostylus</i> (áfidos)
Syrphidae	<i>Allogrpta</i> , <i>Syrphus</i> (áfidos)
Otitidae	<i>Elassogaster</i> (acrididos)
Lonchacidae	<i>Lonchaea</i> (escarabajos)
Drosophilidae	<i>Acletoxenus</i> , <i>Scaptomyza</i> (varios)
Chloropidae	<i>Siphonella</i> (arañas)
Antomyiidae	<i>Lispa</i> , <i>Acridomina</i> (acrididos)

## Lepidoptera

Lycaenidae	<i>Lycaena</i> (hormigas)
	<i>Feniseca</i> , <i>Spalgis</i> (áfidos, escamas)
Psychidae	<i>Platoeceticus</i> (escamas)
Cyclotornidae	<i>Cyclotorna</i> (chicharritas)
Phycitidae	<i>Phycita</i> (lepidópteros)
	<i>Euzophera</i> (escamas)
Noctuidae	<i>Eublemma</i> (escamas)

## Coleoptera

Cicindellidae	<i>Cicindela</i> (varios)
Carabidae	<i>Calosoma</i> , <i>Brachinus</i> (larvas div.)
Dytiscidae	Div. géneros (insectos acuáticos)
Gyrinidae	Div. géneros (insectos acuáticos)
Hydrophilidae	<i>Dactylosternum</i> (barrenadores)
Staphylinidae	<i>Philonthus</i> Oligota (ácaros)
Histeridae	<i>Plaesius</i> (coleópteros)
Lampyridae	<i>Lamprophorus</i> (caracoles)
Cantharidae	<i>Cantharis</i> (áfidos)
	<i>Chauliognathus</i> (lepidópteros)
Melyridae	<i>Collops</i> (homópteros)
Cleridae	<i>Enoclerus</i> (larvas barrenadores)
	<i>Cymatodera</i> (descortezadores)
Meloide	<i>Zanabris</i> , <i>Epicanta</i> , <i>Apalus</i> (varios)
Elateridae	<i>Pyrophorus</i> (escarabeidos)
	<i>Monocrepidius</i> (escarabeidos)

Dermestidae	<i>Dermestes, Attagenus</i> (lepidópteros)
Nitidulidae	<i>Carpophilus</i> (áfidos) <i>Cybocephalus</i> (diversos hemípteros)
Cacujidae	<i>Cryptolestes</i> (insectos de almacén)
Coccinellidae	<i>Hippodamia, Rodelia, Mulsantina, Olla, Scymnus</i> (div. insectos)
Authribidae	<i>Brachytarsus</i> (escamas)

---

De acuerdo con esta selección, en los Órdenes Ortoptera, Dermaptera, Odonata, Psocoptera, Hemiptera, Thysanoptera, Trichoptera, Mecoptera, Plecoptera, Neuróptero, Hymenoptera, Diptera, Lepidoptera, Strepsiptera y Coleoptera se distinguen al menos 150 familias total o parcialmente de hábitos entomófagos, parasíticas o depredadoras, en partes prácticamente iguales, lo anterior nos señala que el hábito depredador está presente en un buen número de Órdenes y familias de insectos, aunque la cantidad de especies con este hábito es inferior, varias veces, al total de especies que son parasitoides; al respecto, en los estados de Sonora y Baja California la fauna de artrópodos depredadores en la agricultura no es abundante en número de especies pero si en sus poblaciones (Pacheco 1985), los más importantes por su abundancia y agresividad depredadora son los Chrysopidae y Hemerobiidae (Neuroptera), los Coccinellidae y Malachiidae (= Melyridae) (Coleoptera), los Reduviidae, Nabidae, Lygaeidae y Anthcoridae (Hemiptera), las arañas Thomisidae y Lycosidae (Araneida).

Los insectos depredadores se encuentran en una gran diversidad de hábitats, como en medios acuáticos (como los Odonata), en galerías de insectos (Cleridae), en las partes expuestas de las plantas (Coccinellidae y muchas familias más), en la superficie del suelo (Myrmeleontidae), entre materia en descomposición (Nitidulidae), entre colonias de insectos (Mutillidae). Los depredadores se alimentan de insectos, ácaros, arañas, otros artrópodos, peces y aún de moluscos. La variedad de presas insectiles es amplia, pues éstas son de prácticamente todos los Órdenes, sin embargo, predominan los hemípteros (áfidos y escamas principalmente) trips, ácaros y en general formas poco móviles o estacionarias, como huevecillos, ninfas, pupas, y aún adultos de movimientos lentos. Algunos insectos depredadores como los Mantidae, Reduviidae, algunos neurópteros, los Mutillidae, Vespidae, Asilidae, Carabidae e Histeridae atacan insectos de mayor tamaño que las presas antes citadas y algunos, como los Libellulidae y los Asilidae son capaces de capturar presas en pleno vuelo.

Algunos Órdenes, como Odonata y Neuroptera están formados por insectos carnívoros y en otros, como Lepidoptera cuyas especies son en su mayoría de hábitos fitófagos, existe una docena de familias en las que hay especies depredadoras. Hay que notar también que en muchas familias de la

mayoría de los Órdenes existen especies de hábitos fitófagos como otras que son entomófagos tales como Tettigonidae, Forficulidae, Psocidae, Pentatomidae, Lygaeidae, Miridae, Thripidae, Tenthredinidae, Cecidomyidae, Agromyzidae, Noctuidae, Tortricidae, Coccinellidae y Elateridae.

Las especies además de competir por comida y espacio, suelen interactuar directamente por la depredación que tiene lugar cuando los miembros de una especie se comen a los de otra; esto frecuentemente, conlleva el matar a la presa (Badii *et al.* 1999b). Existen cuatro tipos de depredación: (a) Los herbívoros son los animales que se alimentan de las plantas verdes, sus semillas o sus frutos, y por lo general no matan a las plantas; (b) los carnívoros clásicos como los leones y las águilas que devoran a sus presas; (c) la forma más característica de depredación tiene lugar cuando los carnívoros parasitan a los insectos, en caso en que el insecto parasitoide deposita sus huevos cerca, encima del huésped o en el interior del mismo, el cual finalmente muere y sirve después como alimento; (d) por último, el canibalismo es una forma especial de depredación, en que el depredador y presa son de la misma especie.

## **EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS DEPREDADOR-PRESA**

Una explicación factible de la estabilidad de los sistemas depredador-presa estriba en que la selección natural ha modificado las características de uno y otro, de modo que sus interacciones originan estabilidad de las poblaciones. Se da el nombre de coevolución a los cambios evolutivos en dos o más especies que interactúan, y en este punto interesa la coevolución del sistema depredador-presa. En caso de que un individuo tenga más éxito que otro en la captura de presas es probable que el primero deje más descendientes, de modo que seguramente opera de manera continua la selección de depredadores cada vez más eficaces.

Los depredadores quizá se ven forzados a la “prudencia” por las poblaciones de presas y son evidentes dos limitantes que operan en los sistemas compuestos de varias especies de depredadores y presas. El hecho de que sean varias las especies de depredadores que se alimentan de otras tantas de presas restringe la eficacia de los primeros, por ejemplo, quizá un tipo de presa escape de su depredador al esconderse bajo rocas, al tiempo que otra lo hace con base en su gran velocidad; en estos términos, está claro que el depredador se vería limitado por la necesidad de ser al mismo tiempo eficaz para voltear rocas y correr rápidamente. A la inversa, es factible imaginar que los depredadores escogen a sus presas conforme a las respuestas de escape de estas últimas. La existencia de varios depredadores con diferentes estrategias de caza permite que las presas no desarrollen conductas de escape específicas para librarse de todas las especies de



depredadores; así, se establece una carrera evolutiva entre depredadores y presas, en que estas últimas tienen una mayor presión de estar siempre a la delantera.

Un depredador prudente no cazaría a los individuos de sus especies de presa que estén en sus principales años reproductivos, ya que la mortalidad consecuente disminuiría la productividad de la población presa; en otras palabras, la prudencia impone comerse a los individuos que morirán de cualquier manera y contribuirán poco a la productividad de la población presa, es frecuente que se trate de los individuos más jóvenes y viejos de la población de presas (Slobodkin 1974); esto último resultaría que los individuos de edad avanzada habrán dejado atrás su etapa reproductiva, al tiempo que el índice de mortalidad es elevado en los individuos jóvenes por virtud de otras causas.

La coevolución en los sistemas depredador-presa es más estricta cuando la abundancia de ésta última depende del primero; sin embargo, en algunos sistemas no hay tal dependencia, por lo que disminuyen las presiones evolutivas. En otros casos la presa encuentra zonas de refugio, en que no está presente el depredador, o el tamaño de la población de la primera es tal que no resulta vulnerable por la depredación. En otros casos, la conducta territorial de los depredadores restringe su propia densidad, de modo que no responden fácilmente al incremento excesivo en las poblaciones de presas (Pimlott 1967).

Gran parte de la estabilidad que se observa en la naturaleza probablemente resulte de la coevolución continua de depredadores y presas, tal vez los depredadores no se ven forzados a la prudencia porque sus presas existen sólo durante un breve período de la evolución y lo que queda hoy es un conjunto de sistemas de depredadores y presas muy seleccionado.

## **DIFERENCIAS ENTRE DEPEDADORES Y PARASITOIDES**

(1) La muerte de huésped en el caso del parasitoide se pospone hasta la maduración del estado juvenil del parasitoide en contraste con la muerte inmediata en el caso del depredador.

(2) Sólo el adulto del parasitoide busca a su huésped, mientras que en el caso de la mayoría de los depredadores tanto los adultos como los inmaduros buscan la presa; por consiguiente en el caso del parasitoide se debe considerar las características del adulto para poder apreciar su capacidad de búsqueda. En los depredadores se tienen que considerar las características de diferentes estadios del depredador, por ejemplo, las larvas de libélulas atacan presas acuáticas, mientras que los adultos buscan presas en el aire.

(3 El número de huéspedes atacados por un parasitoide define el número de progeñe del mismo en la siguiente generaci3n; en otras palabras, cada huésped atacado se convierte en una cantidad fija del parasitoide en la generaci3n siguiente, mientras que en el caso del depredador no existe una relaci3n clara.

### **ESPECIFICIDAD DE LOS DEPRADADORES**

Los depredadores pueden ser mon3fagos (atacan una sola especie), olig3fagos (atacan un n3mero pequeño de especies) o pol3fagos (atacan muchas especies). En el caso de los mon3fagos se han sacrificado un amplio rango de las presas en favor de ser especialistas sobre una s3la especie y por lo tanto dependen en esta especie de presa; en el caso de los pol3fagos aceptan un amplio rango de presas y por lo tanto no dependen de alguna especie.

La estrategia 3ptima ser3 ser especializado sobre aquellas especies que dan mayor beneficio en t3rmino de la:

(1) Energ3a neta obtenida por unidad de presa consumida; es decir, la diferencia entre la energ3a obtenida al consumir una presa y la energ3a que gasta el depredador al matar a esta presa. Generalmente hay una inclinaci3n hacia ser mon3fago cuando hay una especie que es la m3s beneficiosa energ3ticamente y ser pol3fago cuando hay varias especies de presas, cada una presenta el mismo grado de beneficio para el depredador.

(2) La disponibilidad de la presa, tamaño de la misma y su palatabilidad. Estos rasgos se tienen que balancear contra la energ3a neta que un depredador gana por unidad de energ3a neta de presa consumida, en realidad la combinaci3n de estos dos puntos determina la estrategia 3ptima de especificidad. La selecci3n natural favorece a aquellos depredadores que est3n bien sincronizados con sus presas y al mismo tiempo favorece a aquellas presas que pueden evitar esta sincronizaci3n.

### **AN3LISIS DE LA DEPRADACI3N**

Cualquier proceso complejo como la depredaci3n contiene los efectos de un n3mero de variables, la explicaci3n del proceso por consiguiente requiere la descripci3n precisa de estos efectos o componentes; se debe organizar el an3lisis de tal forma que evite enfatizar sobre uno o pocos componentes que en realidad forman solamente una parte de todo el proceso.

Los componentes que están siempre presentes en todos los procesos de depredación se denominan componentes básicos, mientras que otros componentes que se presentan en algunas situaciones y no en otras se denominan componentes auxiliares. La identificación de estos componentes puede ser con base en “observaciones generales” y las “inferencias lógicas”. Cuando estos componentes han sido identificados se les puede describir y explicar, después será obvio que algunos de estos componentes tanto básicos como auxiliares tienen tan poca importancia en algunas situaciones que se les puede ignorar.

Se puede resumir que el primer paso será la identificación, descripción y explicación de los componentes básicos, por que esto forma por lo menos la parte esencial de explicación de todos los ejemplos de depredación. El segundo paso será la descripción y explicación de los componentes auxiliares, lo que en realidad completa la descripción de los ejemplos específicos de depredación.

La revisión de la literatura coincide en que los siguientes factores afectan la depredación: (1) Densidad de la presa; (2) densidad del depredador; (3) características del medio ambiente, por ejemplo, número y diversidad de dietas alternas; (4) características de la presa (mecanismos de defensa); y (5) características del depredador (estrategias de ataque). Es obvio que los primeros dos factores son los componentes inevitables de depredación y siempre están presentes en todos los procesos y por lo tanto son componentes básicos. Mientras que los tres factores restantes por lo menos en algunas situaciones están ausentes o constantes entonces forman los componentes auxiliares.

## **MODELOS DE DEPEDACIÓN**

Se han propuesto varios modelos analíticos (Fig. 1) para describir e incluso predecir los resultados del proceso de la depredación, estos modelos se pueden dividir en término general en tres grupos. Por las razones de la limitación del espacio, aquí sólo se demuestran los modelos de respuesta funcional (Badii y McMurtry 1988, Badii *et al.* 1999a).

### **Modelos simples lineales (búsqueda aleatoria, tipo I de Holling, 1959)**

Estos modelos suponen que el depredador busca y ataca a su presa de manera aleatoria, en algunos casos, la capacidad de búsqueda del depredador no es un factor limitante; por ejemplo, en las condiciones de alta densidad de la presa como los brotes poblacionales de las plagas agrícolas (Thompson 1924), en otros casos, la saciedad o la capacidad reproductora del depredador no tiene límite, por ejemplo, el caso de las plagas de árboles frutales (sistemas estables) donde existe una estabilidad relativa espacio-temporal (Lotka-Volterra 1925; Nicholson-Bailey

1935, Holling tipo I, 1959). Estos modelos suponen que el ataque del depredador es lineal en función de la densidad de la presa y no llega a un nivel de asintota. A continuación se demuestran las ecuaciones de estos modelos:

**Lotka-Volterra (1925):**

**Ecuaciones diferenciales:**  $dN_0 / dt = r N_0 - a N_0 p$  (presa)  
 $dp / dt = C (a N_0) p - dp$  (depredador)

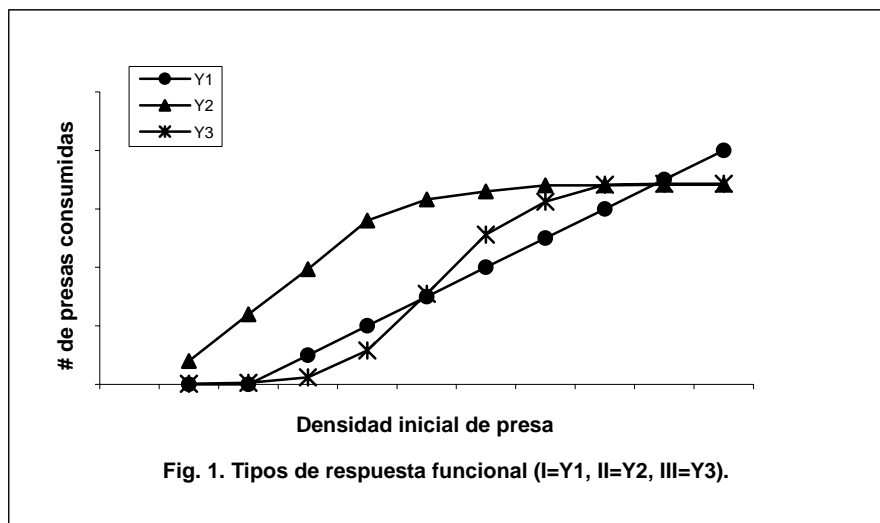
**Ecuación integral:**  $N_a = N_0 \{1 - \exp [r - ap (1 - \exp -d)/d]\}$   
 (Condiciones de la ecuación integral:  $r < 0$  y  $d > 0$ )

**Thompson (1924):**  $N_a = N_0 (1 - \exp -N_a/N_0)$

**Nicholson-Bailey (1935):**  $N_a = N_0 (1 - \exp -ap)$

**Holling (1959): Tipo I**  $N_a = a' T_s N_0$

donde,  $N_0$  = número inicial de las presas;  $P$  = número de los depredadores;  $dN_0$  = cambio en la densidad de la presa;  $dp$  = cambio en la densidad del depredador;  $dt$  = cambio en la duración del tiempo,  $r$  = tasa del crecimiento por cabeza de la presa en ausencia del depredador;  $a$  = coeficiente de ataque o capacidad de búsqueda del depredador durante toda su vida;  $a'$  = tasa instantánea de descubrimiento en función de tiempo de búsqueda ( $T_s$ );  $C$  = tasa de la conversión de la presa atacada ( $aN_0$ ) en progenie del depredador;  $d$  = tasa de mortalidad del depredador en ausencia de la presa;  $N_a$  = número de las presas atacadas; y  $\exp$  = la base del logaritmo natural.



### **Modelos basados en la cinética de enzimas (búsqueda aleatoria, tipo II de Holling, 1959)**

Estos modelos toman en cuenta el tiempo como un factor vital para el proceso de ataque aleatorio y suponen que el número de presas atacadas por un individuo del depredador incrementa monótonamente a una asíntota. Los primeros modelos en este grupo son los de Watt (1959) Ivlev (1955) y el modelo Holling tipo II (1959) que en realidad son modelos instantáneos y junto con éstos existen los de Dowd y Riggs (1965) y Livdahl y Stiven (1983); todos estos modelos describen el proceso de depredación de forma instantánea, mientras que los modelos de Royama (1971) y de Rogers (1972) suponen que el proceso dura un lapso de tiempo y no es instantáneo. Aparte de estos modelos existen los de Real (1977) y Fujii *et al.* (1986) que toman en cuenta la “inteligencia” del depredador como un componente importante en el proceso de ataque, estos dos modelos (por sus condiciones específicas) se comportan de igual manera como los demás. Las ecuaciones de estos modelos se presentan a continuación:

**Watt (1959), Ivlev (1955):**  $N_a = N_a \max (1 - \exp -aN_0)$

**Holling (1959): Tipo II (logarítmico):**  $N_a = a' T_t N_0 / (1 + a' T_h N_0)$

**Dowd y Riggs (1965):**  $N_a = T_h^{-1} + (-a' T_h)^{-1} (N_0/N_a)$

**Livdahl y Stiven (1983):**  $N_a^{-1} = T_h + a'^{-1} N_0^{-1}$

**Royama (1971), Rogers (1972):**  $N_a = N_0 (1 - \exp -a'T_t + a'T_h N_a)$

**Real (1977, n = 1 = no-aprendizaje):**  $N_a = (N_0)^n N_a \max / [(N_0)^n + N_{of}]$

**Fujii *et al.* (1986, C = 0 = no-inteligencia):**  $N_a = T_t / [T_h + 1/(a'N_0 \exp CN_0)]$

donde,  $N_a \max$  = máximo número de las presas atacadas;  $T_h$  = tiempo de manipuleo, es decir, el tiempo que le toma al depredador en identificar, perseguir, luchar y matar (e incluso la pausa digestiva) a la presa;  $T_t$  = tiempo total de exposición de las presas a los depredadores;  $n$  = coeficiente del aprendizaje del modelo de Real (1977);  $N_{of}$  = la densidad crítica de la presa correspondiente al punto de inflexión de la curva de ataque;  $N_a \max$  = la asíntota de la curva de ataque;  $C$  = coeficiente de aprendizaje del modelo de Fujii *et al.* (1986) y las demás notaciones como antes descritas.

### **Modelos Basados en la búsqueda no aleatoria (tipo III de Holling, 1959)**

Los modelos de Holling tipo III (1959), Hassell y Varley (1969), Hassell y May (1973), May (1978), Real (1977) con  $n > 1$  y Fujii *et al.* (1986) con  $C > a' T_h$ , consideran que la búsqueda no es aleatoria sino que depende de los factores evolutivos, por ejemplo, el desarrollo de la imagen de búsqueda (Holling 1959,

Real 1977, Fujii *et al.* 1986); la *agregación* del depredador a las densidades altas de la presa (Hassell y May 1973, May 1978) y el componente de *interferencia mutua* o la *competencia* entre los individuos del depredador cuando están atacando la población de la presa (Hassell y Varley 1969) (Fig. 1). A continuación se presentan las ecuaciones de estos modelos:

**Hassell y May (1973):** 
$$N_a = N_o [1 - \sum \alpha_i \exp -a\beta_i ]$$

**Holling (1959) Tipo III (sigmoidal):** 
$$N_a = bT_t (N_o)^2 / 1 + g N_o + bT_h (N_o)^2$$

**Hassell y Varley (1969):** 
$$N_a = N_o [1 - \exp -QP (1-m)]$$

**May (1978):** 
$$N_a = N_o \{1 - [1 + a'/k (1+a'T_h N_o)]^{-k}\}$$

**Real (1977,  $n > 1$ , hay aprendizaje y la respuesta funcional es sigmoidal):**

$$N_a = (N_o)^n N_a \text{ max} / [(N_o)^n + N_o f]$$

**Fujii *et al.* (1986,  $C = a'T_h$ , hay inteligencia y la respuesta funcional es de tipo sigmoidal):** 
$$N_a = T_t / [T_h + 1/(a'N_o \exp CN_o)]$$

donde,  $n$  = número de las unidades del hábitat;  $\alpha_i$  = la proporción de las presas en "i"ésimo unidad de hábitat;  $\beta_i$  = la proporción de los depredadores en "i"ésima unidad de hábitat; "b" y "g" son los constantes del modelo Holling (1959) tipo III;  $Q$  = constante de Quest y es igual a "a" para un depredador;  $m$  = el parámetro de la interferencia mutua o la competencia directa;  $k$  = el parámetro de binomial negativa y las demás notaciones como antes descritas.

La selección de los modelos depende del objetivo de la investigación; si se trata de la regulación poblacional de presa, entonces, sólo los modelos con respuesta funcional de tipo sigmoidal ofrecen la alternativa, ya que este tipo representa un factor denso-dependiente directo; estabiliza el sistema depredador-presa. Los modelos basados en la cinética de enzimas representan denso-dependencia inversa y por lo tanto, son desestabilizantes, mientras que los modelos sencillos son irreales y actúan como un factor denso-independiente, que ejercen un efecto neutro en el sistema depredador-presa.

## LITERATURA CITADA

- Badii, M. H. 1994. Selección de los enemigos naturales para el control biológico en la agricultura: caso de los ácaros depredadores Phytoseiidae. *El Entomófago* 3(3): 4-5.
- Badii, M. H. and A. E. Flores. 1990. Ecological studies of mites on citrus in Nuevo Leon, Mexico: Preliminary surveys for Phytoseiids. *Internat. J. Acarol.* 16 (4): 235-239
- Badii, M. H. and J.A. McMurtry. 1983. Effect of different foods on survival, longevity and reproduction of *Phytoseiulus longipes* (Acarina: Phytoseiidae). *Entomophaga* 28(2): 161-166.

- Badii, M. H., J.A. McMurtry. 1984. Life history of and life table parameters for *Phytoseiulus longipes* with comparative studies on *P. persimilis* and *Typhlodromus occidentalis* (Acari: Phytoseiidae). *Acarologia* 25(2): 111-123.
- Badii, M. H., J.A. McMurtry. 1988. Effect of prey density on functional and reproductive responses of the predatory mite *Phytoseiulus longipes*. *Internat. J. Acarol.* 14(2): 61-69.
- Badii, M. H. and J.A. McMurtry. 1990. Field experiments on predation: dispersion, regulation and population changes. *Publ. Biol.* 4(1-2): 43-48.
- Badii, M. H., J. A. McMurtry y A. E. Flores. 1999a. Rates of development, survival and reproduction of immature stages of *Phytoseiulus longipes* (Acari: Mesostigmata: Phytoseiidae). *Exp. Appl. Acarol.* 23: 611-621.
- Badii, M. H., A.E. Flores, H. Quiróz y J. Landeros. 1999b. El papel de la depredación en el control biológico con énfasis en ácaros depredadores. pp. 65-80. *En: H. González, J. Leyva y L. Rodríguez (eds.). X Curso Nacional de Control Biológico, Edo. México.*
- Badii, M. H., A. E. Flores, G. Ponce, H. Quiróz, R. Foroughbakhch y R. Torres. 2003a. Control biológico un método ambientalmente amigable *Calidad Ambiental* 8(3): 20-23.
- Badii, M. H., A. E. Flores, J.A. García Salas, J.H. López y R. Torres. 2003b. Estatus de control biológico, con énfasis en México y América Latina. *Calidad Ambiental*, 8(5): 18-23.
- Badii, M. H. 2004. Desarrollo sustentable: fundamentos, perspectivas y limitaciones. *Innovaciones de Negocios*, 1(2): 199-227.
- Badii, M. H., A. E. Flores, G. Ponce, H. Quiróz, J. A. García Salas y R. Foroughbakhch. 2004. Formas de evaluar los enemigos naturales en control biológico. *CULCYT*, 1(2): 3-11.
- Badii, M.H. y J.L. Abreu. 2006. Metapoblación, conservación de recursos y sustentabilidad. *Daena International J. of Good Conscience*, 1(1): 37-51. [www.daenajournal.org](http://www.daenajournal.org).
- Badii, M.H. y I. Ruvalcalba 2006. Fragmentación del hábitat: el primer jinete de apocalipsis. *Calidad Ambiental*. 11(3): 8-13.
- Badii, M.H. y J. Landeros. 2007a. Cuantificación de la fragmentación del paisaje y su relación con la sustentabilidad. *Daena* 2(1): 26-38. [www.daenajournal.org](http://www.daenajournal.org).
- Badii, M.H. y J. Landeros. 2007b. Invasión de especies o el tercer jinete de Apocalipsis ambiental. *Daena* 2(1): 39-53. [www.daenajournal.org](http://www.daenajournal.org).
- Bravo, H., M. H. Badii y A. E. Flores. 2000. Artópodos depredadores. Pp. 73-88. *En: M. H. Badd, A. E. Flores y L. J. Galán (eds.). Fundamentos y Perspectivas de Control Biológico. UANL.*
- Croft, B. A. 1977. Resistance to arthropod predators and parasites. *En: D. L. W. Watson y A. W. A. Brown (eds.). Pesticide Management and Resistance, Academic Pres, N. Y.*
- Dowd, J. E. and D. S. Riggs. 1965. A comparison of Michaelis-Menten kinetic constants from various transformations. *J. Biol. Chem.* 240: 863-869.
- Fujii, K., C. S. Holling and P. M. Mace. 1986. A simple model of attack by predators and parasites. *Ecol. Res.* 1: 141-156.
- Hassell, M. P. and R. M. May. 1973. Stability in insect host parasites models. *J. Anim. Ecol.* 42: 693-736.
- Hassell, M. P. and G. C. Varley. 1969. New inductive population model for insect parasites and its bearing on biological control. *Nature* 223: 1133-1136.
- Holling, C. S. 1959. Some characteristics of simple types of predation and parasitism. *Can. Ent.* 91: 386-398.
- Ivlev, V. S. 1955. *Experimental ecology of the feeding of fishes.* Yale University Press, New Haven.

- Livdahl, T. P. and A. E. Stiven. 1983. Statistical difficulties in the analysis of predator functional response data. *Can. Ent.* 115: 1365-1370.
- Lotka, A. J. 1925. *Elements of physical biology*. Williams y Wilkins, Baltimore.
- May, R. M. 1978. Host parasitoid system in patch environments: a phenological model. *J. Anim. Ecol.* 47: 833-843.
- McMurtry, J. A., C. B. Huffaker and M. Van de Vrie. 1970. Ecology of Tetranychid mites and their natural enemies. A review. I. Tetranychid enemies: their biological characters and the impact of spray practices. *Hilgardia* 40: 331-390.
- Nicholson, A. J. and V. A. Bailey. 1935. The balance of animal populations. Part I. *Proc. Zool. Soc. London*, p. 551-598.
- Pimlott, D. H. 1967. Wolf predation and ungulate populations. *Amer. Zool.* 7: 267-278.
- Real, L. A. 1977. The kinetics of functional response. *Amer. Naturalist*, 111: 298-300.
- Rogers, D. 1972. Random search and insect population models. *J. Anim. Ecol.* 41: 369-383.
- Royama, T. 1971. A comparative study of models for predation and parasitism. *Res. Popul. Ecol., Suppl.* 1: 1-91.
- Slobodkin, L. B. 1974. Prudent predation does not require group selection. *Amer. Naturalist* 108: 665-678.
- Sweetman, H. L. 1958. *The principles of Biological Control* W.M.C. Brown Co. Publ., Dubuque.
- Thompson, W. R. 1924. La Theorie mathematique de le action des parasites entomophages et le facteur du hasard. *Am. Fac. Sci. Marseille* 2: 69-89.
- Watt, K. E. F. 1959. A mathematical model for the effect of densities of attacked and attacking species on the number attacked. *Can. Ent.* 91: 129-144.



**Uso de Depredadores para el Control Biológico de Plagas  
en México**

***J. I. López Arroyo<sup>1</sup>, E. Cortez-Mondaca<sup>2</sup>, H. C. Arredondo-Bernal<sup>3</sup>, M. Ramírez-Delgado<sup>4</sup>, J. Loera-Gallardo<sup>5</sup> y M. A. Mellín-Rosas<sup>3</sup>***

<sup>1</sup> INIFAP, Campo Experimental General Terán. Gral. Terán, N.L. 67400 México  
lopez.jose@inifap.gob.mx

<sup>2</sup> INIFAP, Campo Experimental Valle del Fuerte. Juan José Ríos, Sin., 81110 México

<sup>3</sup> Centro Nacional de Referencia de Control Biológico, Km 1.5 Carretera Tecomán-Estación FFCC.  
Tecomán, Col., 28120 México

<sup>4</sup> INIFAP, Campo Experimental La Laguna. Matamoros, Coah., 27000 México

<sup>5</sup> INIFAP, Campo Experimental Río Bravo. Río Bravo, Tamps., 88900 México

---

---

**CONTENIDO**

<i>Introducción</i> .....	91
<i>Uso de Chrysopidae y Coccinellidae en el Control Biológico de Plagas</i> .....	91
<i>Uso de Insectos Depredadores en el Control Biológico por Aumento en México</i> .....	95
<i>Demandas y Necesidades de Investigación para el Aprovechamiento de Depredadores</i> .....	99
<i>Literatura Citada</i> .....	101

López Arroyo, J. I., E. Cortez-Mondaca, H. C. Arredondo-Bernal, M. Ramírez-Delgado, J. Loera-Gallardo y M. A. Mellín-Rosas. 2007. Uso de artrópodos depredadores para el control biológico de plagas en México, pp. 90-105. *En*: L. A. Rodríguez-del-Bosque y H. C. Arredondo-Bernal (eds.), Teoría y Aplicación del Control Biológico. Sociedad Mexicana de Control Biológico, México. 303 p.

## INTRODUCCIÓN

La importancia de los insectos depredadores en el control de plagas ha sido reconocido posiblemente desde el origen de la agricultura: Los depredadores han sido aprovechados a través del tiempo en diferentes partes del mundo y son parte del éxito más reconocido en el control biológico de plagas, la introducción de *Rodolia cardinalis* (Mulsant) (Coleoptera: Coccinellidae) para el control de *Icerya purchasi* Maskell (Homoptera: Margarodidae) en la citricultura de California, E.U.A., en 1889. En la actualidad, estudios de campo a nivel mundial indican que en aproximadamente el 75% de los casos revisados, el control de plagas fue debido a la actividad de especies, individuales o en grupos, de insectos depredadores generalistas (Symondson *et al.* 2002).

En México, actualmente existen registradas al menos 82 especies de insectos depredadores en la familia Chrysopidae (Neuroptera) y 87 en la familia Coccinellidae (Coleoptera), por lo que existe un potencial amplio para incrementar el número y la diversidad de especies que podrían ser utilizadas para el control de plagas en la agricultura nacional; sin embargo, a pesar de esta diversidad, en la mayoría de los laboratorios de producción de agentes de control biológico, existe un limitado aprovechamiento de esta riqueza relativa de insectos benéficos. Las dificultades para el reconocimiento de especies y la disponibilidad escasa de tecnología para su uso figuran entre los factores críticos que ocasionan dicha situación. En el presente documento se expone una revisión breve de los insectos depredadores que son utilizados como agentes de control biológico en México; se plantean posibles líneas de investigación futuras para buscar un uso mejor de estos valiosos aliados en el control de artrópodos plagas y promover las acciones tendientes a aprovechar de manera efectiva las especies de depredadores presentes en las diferentes regiones agroecológicas del país.

### USO DE CHRYSOPIDAE Y COCCINELLIDAE EN EL CONTROL BIOLÓGICO DE PLAGAS

A continuación se presentan resultados de investigaciones relativamente recientes, con el propósito de presentar el estado del conocimiento en el país sobre diversas especies de las familias Chrysopidae y Coccinellidae, que son consideradas como agentes de control biológico.

**Aprovechamiento de especies de Chrysopidae.** La familia Chrysopidae incluye 1,200 especies reconocidas actualmente, las cuales son agrupadas en 75 géneros y 11 subgéneros (Brooks y Barnard 1990, New 2001). Económicamente, Chrysopidae es una de las familias más importantes debido a que 13 de los 75 géneros, presentan posible valor como agentes de control biológico (New 2001).

En México, se han identificado 82 especies de la familia Chrysopidae, las cuales pertenecen a 13 géneros y cinco subgéneros (Valencia 2004). La mayoría de las investigaciones realizadas en el uso de especies de Chrysopidae han sido en el control biológico por aumento y conservación; escasamente se ha explorado el control biológico clásico. Los estudios se han enfocado principalmente a la sistemática, biología, comportamiento, determinación de rango de presas, capacidad de depredación, evaluaciones de dietas naturales y artificiales, resistencia a insecticidas, manipulación de adultos (atracción y retención) y tasas de liberación, entre otros. Las especies frecuentemente estudiadas son: *Brinkochrysa scelestes* (Banks), *Chrysopa formosa* Brauer, *Chrysopa kulingensis* Navas, *Chrysopa nigricornis* Burmeister, *Chrysopa oculata* Say, *Chrysopa pallens* (Rambur), *Chrysoperla carnea* (Stephens) s. lat., *Chrysoperla externa* (Hagen), *Chrysoperla rufilabris* (Burmeister), *Mallada boninensis* Okomoto y *Mallada basalis* (Walker).

En México, las especies más estudiadas son: *Chrysopa oculata*, *Chrysopa nigricornis*, *Chrysoperla carnea* s. lat., *Chrysoperla comanche* (Banks) y *C. rufilabris*. En el país, existe información relevante acerca de estos depredadores en diferentes áreas; por ejemplo, en la región de la Comarca Lagunera (estados de Coahuila y Durango) se han encontrado las especies *C. carnea* s. lat., *C. comanche* y *C. rufilabris*, además de *C. nigricornis* y *C. oculata*, con actividad depredadora sobre pulgones del nogal [*Monellia caryela* Fitch, y *Melanocallis caryefoliae* (Davis)]; de dichas especies, *C. carnea* s. lat. y *C. rufilabris* fueron las más abundantes en dicha región (Ontiveros *et al.* 2000, Vázquez 2000); característicamente *C. carnea* s. lat. se encontró con mayor abundancia en el área de goteo del árbol y *C. rufilabris* en el follaje de los nogales (Martínez *et al.* 2001). Se observó también que la presencia de las especies plaga fue notoriamente menor en huertas con alfalfa como cobertera vegetal, en comparación con huertas sin cobertera; además, la cantidad de depredadores fue significativamente más alta en huertas de nogal con cobertura de alfalfa y la proporción de pulgones por depredador fue casi cuatro veces mayor en las huertas sin alfalfa (Martínez *et al.* 2001). En el caso de la región de Hermosillo, Son., en el cultivo de la vid, los efectos del uso de la cobertera *Sesbania* spp. fueron inconsistentes para favorecer la actividad de *C. carnea* s. lat. liberada en forma inundativa para el control de la chicharrita de la vid, *Erythroneura variabilis* Beaver (Fu *et al.* 2002). *C. carnea* s. lat. ha sido evaluada además para el control de otras especies de áfidos como: *Aphis citricola* van der Goot (= *spiraecola* Patch), *Aphis fabae* Scopoli, *Diuraphis noxia* (Mordvilko), *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas) y *Myzus persicae* (Sulzer) (Pérez y Acatitla 2001), trips del aguacate (Coria 2000), chinche de encaje *Corythuca cydoniae* Fitch en membrillo (Martínez *et al.* 2002); dicho depredador también ha sido asociado a artrópodos plaga de la colza y algodónero (Tauber *et al.* 1997, López-Arroyo *et al.* 2002).

Una de las mayores aportaciones surgidas en los últimos años para el aprovechamiento de crisópidos en el país, lo representan los estudios de Tauber y De León (2001), quienes establecen las bases para el aprovechamiento del género *Ceraeochrysa*, a través de la generación de claves taxonómicas para el reconocimiento de las especies más abundantes en México. Los estudios de López-Arroyo *et al.* (1999 a,b,c, 2000) también constituyen una fuente importante de información para el conocimiento de la biología, comportamiento y tecnología para la cría, almacenamiento y liberación de estos importantes agentes de control biológico. Lopez-Arroyo y De León (2003) reseñan brevemente la información para la producción masiva de especies de *Ceraeochrysa* en diferentes documentos. Recientemente, Ramírez-Delgado (2007) contribuye al conocimiento de la diversidad de especies de Chrysopidae en el país, asociadas a diferentes frutales del Norte y Centro de México (Cuadro 1).

**Cuadro 1. Especies de Chrysopidae asociadas a frutales del Norte y Centro de México (Ramírez-Delgado 2007).**

Especie	Frutal	Región
<i>Ceraeochrysa caligata</i> (Banks)	Mango	Veracruz
<i>Ceraeochrysa claveri</i> (Navás)	Mango	Nayarit
<i>Ceraeochrysa smithi</i> (Navás)	Mango, naranjo	Nay., N.L.
<i>Ceraeochrysa</i> sp. nr. <i>cincta</i> (Schneider) (México)	Durazno, limón, mango, naranjo, nogal, papayo	Coah., Col., Dgo., Nay., N.L., Son. Tams., Ver.
<i>Ceraeochrysa valida</i> (Banks)	Aguacate, durazno, limón, mango, naranjo, nogal, papayo	Coah., Col., Mich., Nay., N.L., Son., Tams., Ver.
<i>Chrysopa nigricornis</i> Burmeister (este)	Nogal, vid	Coah.
<i>Chrysopa nigricornis</i> Burmeister (oeste)	Nogal, vid	Chih., Coah., Dgo., N.L., Son.
<i>Chrysopa oculata</i> Say	Manzano, nogal	Chih., Coah., Dgo.
<i>Chrysopa quadripunctata</i> Burmeister	Naranja, nogal	N.L.
<i>Chrysoperla carnea</i> s. lat. Stephens	Durazno, nogal, vid	Chih., Coah., Dgo., Gjto., N.L., Son., Zac.
<i>Chrysoperla comanche</i> Banks	Durazno, guayabo, limón, naranjo, manzano, nogal, papayo	Ags., Chih., Coah., Dgo., Gjto., Mich., Nay., N.L., Son., Zac.
<i>Chrysoperla exotera</i> Navás	Durazno, guayabo, naranjo, nogal	Ags., Chih., Coah., Dgo., Gjto., N.L., Son., Zac.
<i>Chrysoperla externa</i> Hagen	Durazno, guayabo, naranjo, manzano, nogal, vid	Ags., Chih., Coah., Dgo., Gjto., N.L., Tams.
<i>Chrysoperla rufilabris</i> Burmeister	Durazno, naranjo, nogal, papayo	Coah., Dgo., Gjto., Mich., N.L., Tams.
<i>Eremochrysa punctinervis</i> Banks	Durazno, guayabo, naranjo, nogal	Ags., Chih., Coah., Dgo., Son., Zac.
<i>Leucochrysa (Nodita)</i> sp.	Naranja, nogal	Coah., Dgo., N.L.
<i>Meleoma arizonensis</i> (Banks)	Nogal	Coahuila
<i>Meleoma colhuaca</i> Banks	Durazno, vid	Zacatecas

**Aprovechamiento de especies de Coccinellidae.** Se han descrito un poco más de 5,200 especies de la familia Coccinellidae en el mundo (Hawkeswood 1987). Para los E.U.A. y Norte de México, se han registrado 57 géneros y 475 especies descritas (Gordon 1985). En México, la Colección Entomológica del Instituto de Biología de la UNAM cuenta con un registro de 23 géneros y 49 especies que fueron colectadas en diversas regiones del país (Juárez 1986). En la Colección Nacional de Insectos del INIFAP existen 87 especies de coccinélidos agrupadas en 38 géneros y seis subfamilias (Marín 1994).

A través de diferentes observaciones y estudios formales de investigación ha sido posible determinar cierta especialización de diferentes grupos de coccinélidos; de esta forma se tiene que diversas especies de *Hippodamia*, *Cycloneda* y *Coccinella*, *Adalia bipunctata* (Linnaeus) y *Olla v-nigrum* (Mulsant), son probablemente los coccinélidos afidófagos más comunes, además de *Harmonia axyridis* (Pallas), *Coccinella septempunctata* L. y *Coleomegilla maculata* (De Geer). Dentro de los coccinélidos consumidores de escamas se incluye a especies de *Chilocorus*, *Hyperaspis*, *Rhyzobius* y *Azya*. *Rodolia* se alimenta sólo sobre la escama algodonosa de los cítricos. Especies de los géneros *Exochomus*, *Hyperaspis* y *Scymnus* depredan piojos harinosos, algunos áfidos y adélgidos, además de escamas y otros insectos de cuerpo blando. Entre los depredadores de mosquitos blancas se encuentran especies de *Delphastus*, *Chilocorus*, *Clistostethus*, *Hippodamia*, *Olla* y *Scymnus*. Las especies del género *Stethorus* depredan casi exclusivamente ácaros de la familia Tetranychidae (Flint y Dreistadt 1998, Hagen *et al.* 1999).

De los coccinélidos presentes en México, las especies mayormente estudiadas incluyen a consumidores de áfidos y escamas. Los coccinélidos afidófagos han sido estudiados con mayor amplitud y básicamente se han determinado las especies asociadas a los cultivos y el rango de presas. Por ejemplo, en el estado de Morelos, se encontraron a los depredadores *Adalia bipunctata* (L.), *Coccinellina* sp., *Cycloneda sanguinea* L. *Hippodamia convergens* Guerin, *O. v-nigrum*, *Scymnus loewii* Mulsant, *Scymnus* sp. y *Harmonia axyridis* (Pallas), mismos que consumían a los áfidos *Aphis gossypii* Glover y *A. spiraecola* Patch (Trejo-Loyo *et al.* 2000). Para el estado de México, se señalan las especies *Coccinella nugatoria* Mulsant, *Coccinellina emarginata* (Mulsant), *C. sanguinea* L., *H. convergens*, *Hippodamia koebelei* Timberlake, *Paranaemia vittigera* (Mannerheim) y *S. loewii*, las cuales depredan a los áfidos *Metopolophium dirhodum* (Walter) y *Rhopalosiphum maidis* (L.) en trigo y cebada (Lomelí-Flores *et al.* 2001); en el Distrito Federal, además de la mayoría de estos depredadores se encontró al coccinélido exótico *H. axyridis*; este grupo de especies depredan áfidos asociados a plantas medicinales (Peña *et al.* 2002). En el estado de Tabasco, diversas especies de *Scymnus* depredan al áfido *Toxoptera aurantii* (Fonscolombe) en cacao (Córtez *et al.* 2001). En el caso de los

coccinélidos *H. axyridis*, *H. convergens* y *O. v-nigrum* se ha dado énfasis a estudios para favorecer la cría masiva de estas especies en el país (Tarango 1997a, 1999a,b, Tarango y Chávez 1997, Tarango y Quiñónez 1997, 2001, Tarango *et al.* 1998, Loera y Kokubu 2003).

Los estudios que involucran especies de coccinélidos que depredan insectos de otras familias de Homoptera han recibido menor atención; algunas especies registradas son *Chilocorus stigma* (Say) con depredación sobre escamas armadas en cítricos [*Aonidiella aurantii* (Maskell), *Chrysomphalus aonidum* (L.) y *Lepidosaphes beckii* (Newman)] (Cortez *et al.* 2000); *Chilocorus cacti* (L.) es señalado por alimentarse de la escama de la palma *Comstockiella sabalis* (Comstock) en el estado de Tamaulipas (Gaona-García *et al.* 2001). De los depredadores de piojos harinosos se ha encontrado a *Brachiacantha decora* Casey en la zona nogalera del norte del estado de Coahuila (Aguilar 2002). Silva-Sánchez *et al.* (2003) realizaron una reseña sobre la información referente a la cría del devorador de piojos harinosos, *Cryptolaemus montrouzieri* (Girault).

## **USO DE INSECTOS DEPREDADORES EN EL CONTROL BIOLÓGICO POR AUMENTO EN MÉXICO**

El control biológico por aumento es una tecnología que en los últimos años ha sido altamente demandada en México, al igual que en otras partes del mundo. El creciente interés por esta forma de control de plagas, además de los resultados favorables que en muchos casos se obtienen (van Lenteren *et al.* 1992, van Lenteren 2000), se ha debido a las ideas asociadas con protección ambiental y el sector salud (Arredondo-Bernal 2000). Lo anterior queda de manifiesto con la cantidad de insectarios que operan en Norte América, número que asciende hasta 142, donde se reproducen, distribuyen y comercializan 130 especies de entomófagos y nematodos (Hunter 1997); de éste grupo, 43 son especies de artrópodos depredadores pertenecientes a tres familias de ácaros y nueve familias de insectos. La mayoría de estos ácaros e insectos son criados con dieta natural y son utilizados para controlar mosquita blanca, huevos y larvas de lepidópteros, pulgones, escamas, trips, piojos harinosos y ácaros fitófagos (Cuadro 2); sólo el 18.6% del total de especies de depredadores criados en Norteamérica, son reproducidas en México.

Para México, los 1990's representaron el crecimiento exponencial en cuanto al interés por utilizar agentes de control biológico producidos masivamente; en 1991, sólo cinco especies de insectos benéficos eran criadas por los centros reproductores, para el 2006 se alcanzó la cifra de 35 especies (Arredondo 2006). Asimismo, a los 18 Centros de Producción de Organismos Benéficos descentralizados existentes en el país, se anexaron 42 centros

establecidos por la iniciativa privada, por lo que actualmente la Red Nacional de Laboratorios esta constituida por 60 centros reproductores y distribuidores de agentes de control biológico (Rodríguez y Arredondo 1999, Arredondo 2006). Los laboratorios comercializan 35 especies de entomófagos y entomopatógenos, donde el 20% son insectos depredadores (esta información excluye a las empresas dedicadas a la importación de estos insumos). En el Cuadro 3 se enlistan los depredadores que son producidos por los laboratorios; *Ceraeochrysa smithi* (Navás), *O. v-nigrum* y *Geocoris punctipes* (Say) son anexados a la lista publicada por Hunter (1997).

**Cuadro 2. Artrópodos depredadores producidos en Norte América (Hunter 1997).**

Depredador	Presa
<b>Acari: Laelapidae</b>	
<i>Hypoaspis aculeifer</i> Canestrini	Ácaros fitófagos y trips
<i>Hypoaspis miles</i> (Berlese)	Ácaros fitófagos y trips
<i>Galendromus annectans</i> (De León)	Ácaros fitófagos
<i>Galendromus</i> (= <i>Typhlodromus</i> ) <i>helveolus</i> (Chant)	Ácaros fitófagos y trips
<i>G.</i> (= <i>Metaseiulus</i> = <i>Typhlodromus</i> ) <i>occidentalis</i> Nesbitt	Ácaros fitófagos y trips
<i>Iphiseius</i> (= <i>Amblyseius</i> ) <i>degenerans</i> Berlese	Ácaros fitófagos y trips
<i>Mesoseiulus</i> (= <i>Phytoseiulus</i> ) <i>longipes</i> (Evans)	Ácaros fitófagos y trips
<i>Neoseiulus</i> (= <i>Amblyseius</i> = <i>Phytoseiulus</i> ) <i>barkeri</i> (= <i>mckenziei</i> ) (Hughes)	Ácaros fitófagos y trips
<i>Neoseiulus</i> (= <i>Amblyseius</i> ) <i>californicus</i> (McGregor)	Ácaros fitófagos y trips
<i>Neoseiulus</i> (= <i>Amblyseius</i> ) <i>cucumeris</i> (Oudemans)	Ácaros fitófagos y trips
<i>Neoseiulus</i> (= <i>Amblyseius</i> ) <i>fallacis</i> Garman	Ácaros fitófagos y trips
<i>Neoseiulus setulus</i> (Fox)	Ácaros fitófagos y trips
<i>Phytoseiulus macropilis</i> (Banks)	Ácaros fitófagos y trips
<i>Phytoseiulus persimilis</i> Athias-Henriot	Ácaros fitófagos y trips
<i>Typhlodromus pyri</i> (Scheuten)	Ácaros fitófagos y trips
<i>Typhlodromus rickeri</i> Chant	Ácaros fitófagos y trips
<b>Acari: Pyemotidae</b>	
<i>Pyemotes tritici</i> (LaGréze-Fosset & Montané)	Ácaros y lepidópteros en granos almacenados
<b>Coleóptera: Coccinellidae</b>	
<i>Coleomegilla maculata</i> (De Geer)	Pulgones
<i>Cryptolaemus montrouzieri</i> Mulsant	Escamas y piojos harinosos
<i>Delphastus pusillus</i> (LeConte)	Mosquita blanca
<i>Harmonia axyridis</i> (Pallas)	Pulgones
<i>Hippodamia convergens</i> Guérin-Méneville	Pulgones
<i>Rhyzobius</i> (= <i>Lindorus</i> ) <i>lophanthae</i> (Blaisdell)	Escamas
<i>Rhyzobius</i> (= <i>Lindorus</i> ) <i>ventralis</i> (Erichson)	Escamas
<i>Stethorus picipes</i> Casey	Ácaros fitófagos
<i>Stethorus punctillum</i> (Weise)	Ácaros fitófagos
<b>Diptera: Cecidomyiidae</b>	
<i>Aphidoletes aphidimyza</i> (Rondani)	Pulgones
<b>Hemiptera: Anthocoridae</b>	
<i>Orius insidiosus</i> (Say)	Pulgones

<i>Orius tricolor</i> (White)	Pulgones
<i>Xylocoris flavipes</i> (Reuter)	Huevos y larvas de lepidópteros
<b>Hemiptera: Lygaeidae</b>	
<i>Geocoris punctipes</i> (Say)	Chinche lygus
<b>Hemiptera: Miridae</b>	
<i>Deraeocoris brevis</i> (Uhler)	Pulgones y mosquita blanca
<i>Macrolophus caliginosus</i> (Wagner)	Pulgones y mosquita blanca
<b>Hemiptera: Pentatomidae</b>	
<i>Podisus maculiventris</i> (Say)	Larvas de lepidópteros
<b>Mantodea: Mantidae</b>	
<i>Mantis religiosa</i> (L.)	Generalista
<i>Tenodera aridifolia sinensis</i> Saussure	Generalista
<b>Neuroptera: Chrysopidae</b>	
<i>Chrysoperla</i> (= <i>Chrysopa</i> ) <i>carnea</i> (Stephens) <i>s. lat.</i>	Pulgones y mosquita blanca
<i>Chrysoperla</i> (= <i>Chrysopa</i> ) <i>comanche</i> (Banks)	Pulgones y mosquita blanca
<i>Chrysoperla</i> (= <i>Chrysopa</i> ) <i>rufilabris</i> (Burmeister)	Pulgones y mosquita blanca
<b>Thysanoptera: Thripidae</b>	
<i>Scolothrips sexmaculatus</i> (Pergande)	Ácaros y trips

**Cuadro 3. Insectos depredadores que se producen y distribuyen en México (Arredondo 2006).**

Depredador	Presas
<b>Coleoptera: Coccinellidae</b>	
<i>Cryptolaemus montrouzieri</i> Mulsant	Cochinilla rosada del hibiscus
<i>Harmonia axyridis</i> (Pallas)	Pulgón café de los cítricos y pulgones en nogal
<i>Olla-v-nigrum</i> (Mulsant) (= <i>abdominalis</i> )	Pulgón café de los cítricos y pulgones en nogal
<b>Neuroptera: Chrysopidae</b>	
<i>Ceraeochrysa smithii</i> (Navás)	Pulgón café de los cítricos
<i>Chrysoperla carnea</i> (Stephens) <i>s. lat.</i>	Mosquita blanca y pulgones
<i>Chrysoperla rufilabris</i> (Burmeister)	Mosquita blanca y pulgones
<b>Hemiptera: Geocoridae</b>	
<i>Geocoris punctipes</i> (Say)	<i>Tetranychus urticae</i> , <i>Bactericera cockerelli</i>

La importación de insectos depredadores ha sido variable en los últimos años; las especies solicitadas para su importación desde 1994 hasta el año 2002 fueron 13, las más solicitadas son *C. rufilabris*, *Neoseiulus* (= *Amblyseius*) *cucumeris* (Oudemans) y *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot. En el Cuadro 4 se indican las especies con registro de trámite para su introducción al país desde 2002 a la fecha; de éstas, solo 14 especies de depredadores fueron importadas, algunas fueron reintroducidas en forma anual. Para las 16 especies restantes, la importación fue denegada, frecuentemente por calidad irregular o baja especificidad de los organismos de interés. El total de especies que han sido sometidas al proceso de importación (Cuadro 4) representan el 75% del total de depredadores que son comercializados en Norte América, lo cual muestra el interés existente por estos agentes de control de plagas. Entre los principales



demandantes de insectos depredadores en México se encuentran principalmente productores de hortalizas, algodónero, cítricos, nogal, papayo, sorgo y uva de mesa, entre otros.

**Cuadro 4. Especies depredadoras sometidas a trámites de importación durante el período 2002-2007 (Fuente: Centro Nacional de Referencia de Control Biológico, DGSV).**

Depredador	Importación
<b>Acari: Laelapidae</b>	
<i>Hypoaspis aculeifer</i> Canestrini	Denegada
<i>Hypoaspis miles</i> (Berlese)	Denegada
<b>Acari: Phytoseiidae</b>	
<i>Galendromus</i> (=Typhlodromus) <i>helveolus</i> (Chant)	Denegada
<i>Galendromus</i> (=Typhlodromus) <i>occidentalis</i> Nesbitt	Denegada
<i>Galendromus</i> (=Typhlodromus) <i>pyri</i> (Scheuten)	Denegada
<i>Iphiseius</i> (=Amblyseius) <i>degenerans</i> Berlese	Aprobada
<i>Neoseiulus</i> (=Amblyseius) <i>barkeri</i> (Hughes)	Denegada
<i>Neoseiulus</i> (=Amblyseius) <i>californicus</i> (McGregor)	Aprobada
<i>Neoseiulus</i> (=Amblyseius) <i>cucumeris</i> (Oudemans)	Aprobada
<i>Phytoseiulus persimilis</i> Athias-Henriot	Aprobada
<i>Typhlodromips</i> (=Amblyseius) <i>swirskii</i> Athias-Henriot	Denegada
<b>Coleoptera: Coccinellidae</b>	
<i>Cryptolaemus montrouzieri</i> Mulsant	Aprobada
<i>Delphastus catalinae</i> (Horn)	Denegada
<i>Delphastus pusillus</i> (LeConte)	Denegada
<i>Hippodamia convergens</i> Guérin-Méneville	Denegada
<i>Rhyzobius</i> (=Lindorus) <i>lophanthae</i> Blaisdell	Denegada
<i>Stethorus punctillum</i> (Weise)	Aprobada
<b>Coleoptera: Cybocephalidae</b>	
<i>Cybocephalus nipponicus</i> Endrödy-Younga	Aprobada
<b>Coleoptera: Staphylinidae</b>	
<i>Atheta coriaria</i> Kraatz	Aprobada
<b>Diptera: Cecidomyiidae</b>	
<i>Aphidoletes aphidimyza</i> (Rondani)	Aprobada
<i>Feltiella acarisuga</i> (Vallot)	Aprobada
<b>Diptera: Syrphidae</b>	
<i>Episyrphus balteatus</i> (De Geer)	Denegada
<b>Hemiptera: Anthocoridae</b>	
<i>Orius insidiosus</i> (Say)	Aprobada
<i>Orius tristicolor</i> (White)	Denegada
<i>Xylocoris flavipes</i> (Reuter)	Denegada
<b>Hemiptera: Geocoridae</b>	
<i>Geocoris punctipes</i> (Say)	Denegada
<b>Hemiptera: Miridae</b>	
<i>Dicyphus hesperus</i> Knight	Denegada
<b>Hemiptera: Pentatomidae</b>	
<i>Podisus maculiventris</i> (Say)	Aprobada
<b>Neuroptera: Chrysopidae</b>	
<i>Chrysoperla carnea</i> (Stephens) <i>s. lat.</i>	Aprobada
<i>Chrysoperla rufilabris</i> (Burmeister)	Aprobada

En la Fig. 1 se presenta la frecuencia con la que diversas especies depredadoras han sido solicitadas para importación; estos datos fueron obtenidos de los archivos del Departamento de Información y Documentación del Centro Nacional de Referencia de Control Biológico. Se observa un interés creciente desde el 1994 hasta 1998. Para 1999-2004, existió una reducción en las solicitudes; posiblemente los costos de venta pudieron influir en esta situación, así como la calidad de las diferentes especies; para 2005 nuevamente se registró un repunte en el número de solicitudes; sin embargo, en los años siguientes éstas han sido nuevamente escasas.

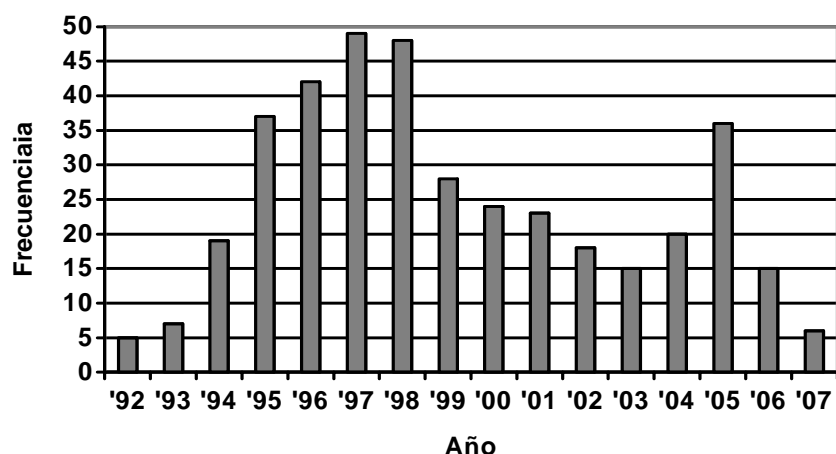


Figura 1. Frecuencia de solicitudes realizadas anualmente por importadores de insectos y ácaros depredadores en México (Fuente: Centro Nacional de Referencia de Control Biológico, DGSV).

### DEMANDAS Y NECESIDADES DE INVESTIGACIÓN PARA EL APROVECHAMIENTO DE DEPREDADORES

En México, debido a la naturaleza del control biológico de mantener las plagas en niveles bajos mediante el aprovechamiento de los factores naturales de regulación biótica, el programa de inocuidad alimentaria existente prácticamente lo coloca como la base para el manejo de plagas en los cultivos donde se establezca alcanzar la producción de alimentos con uso mínimo de insecticidas; aunado a esto, cada vez es más frecuente que los diversos productores del país se percaten de los beneficios del uso de enemigos naturales para el control de plagas, lo que se percibe como un incremento sostenido en los usuarios tradicionales del control biológico en México. Lo anterior muestra un panorama de gran impulso

en el uso del control biológico en el ámbito nacional y a la vez sugiere una gran demanda de diversos agentes de control biológico y tecnologías para su uso y aplicación. Asimismo, muestra la necesidad de evaluar y aprovechar los organismos benéficos existentes en forma nativa para impulsar su protección y determinar en que áreas requieren ser incrementados o complementados. A continuación se señalan algunos de los estudios necesarios para el aprovechamiento de depredadores en el control de plagas en el país.

Actualmente en México se desconocen los efectos de los cultivos transgénicos sobre los organismos benéficos, por lo que es necesario determinar su impacto. El uso de plaguicidas debe armonizar dentro de programas de manejo integrado de plagas con un gran componente de control biológico. El estudio de los factores que permitan la atracción y manipulación de enemigos naturales deben ser impulsados para favorecer los diferentes programas de aumento y conservación de agentes de control biológico. La biotecnología e ingeniería genética aplicada al control biológico requiere también ser desarrollada para facilitar los sistemas de producción de estos entomófagos, reconocer especies y sus interrelaciones, así como el mejoramiento de especies con características sobresalientes, como por ejemplo la resistencia a plaguicidas o factores climáticos adversos. Consideramos que las líneas de investigación que requieren ser apoyadas para un mejor uso de especies de depredadores en el control biológico de plagas en el país, son:

- Impulso a los estudios de Sistemática de los diversos grupos de depredadores presentes en México.
- Estudios sobre la biología, comportamiento y ecología de las especies depredadoras de plagas asociadas a los agroecosistemas del país.
- Evaluación de la efectividad de depredadores bajo condiciones de campo.
- Desarrollo de técnicas de cría y reproducción de depredadores bajo condiciones de laboratorio.
- Evaluación de dosis y técnicas de liberación de depredadores.
- Evaluación de susceptibilidad de los depredadores a agroquímicos.
- Selección de depredadores resistentes a insecticidas.
- Evaluación de depredadores introducidos contra plagas exóticas.
- Evaluación de depredadores nativos contra plagas exóticas.
- Evaluación de liberaciones de múltiples especies de depredadores contra plagas.
- Evaluación del efecto de diferentes prácticas agronómicas y sistemas de producción de cultivos en la actividad depredadora de las especies.
- Mejoramiento genético de las características de depredadores mediante técnicas de ingeniería genética.

- Transferencia de la tecnología: Acciones de validación, demostración, capacitación, asesoría e implementación.

Ante las dificultades del financiamiento de la ciencia en el país, organismos gubernamentales y las diferentes organizaciones no gubernamentales involucradas con la investigación agrícola, deberían contemplar expandir sus esfuerzos en incrementar la práctica del control biológico y el desarrollo de estudios que permitan mejorar la utilización de este método de control de plagas. Sin embargo, es necesario realizar un análisis profundo de la situación presente y definir con cautela las líneas de estudio y acciones de investigación en cada región. Una de las situaciones indeseables que podrían presentarse sería el de tomar decisiones equivocadas que deriven en impactos negativos económicos, sociales y ecológicos. Muchos de los proyectos requieren ser efectuados en zonas agroecológicas diferentes, sin embargo, la estrategia general es la de complementar el desarrollo de las líneas de investigación entre regiones geográficas y evitar la duplicidad en las acciones. Esto permitirá implementar investigación sólida que genere un desarrollo posterior sostenido del control biológico en el país, así como perspectivas aún mejores para el desarrollo sostenible de la agricultura nacional.

La generación de técnicas y metodologías, evaluaciones preliminares en laboratorio de agentes nuevos de control biológico, establecimiento de sistemas de predicción, entre otros tópicos, no son limitados por barreras geográficas; en éstos, es necesario considerar las diferentes especialidades de los investigadores involucrados en control biológico, para de esta forma identificar las fortalezas existentes en las diferentes áreas del conocimiento. Es posible que una región tome el liderazgo de un área de investigación y que sus resultados sean considerados para validación y transferencia de tecnología en áreas con cultivos o situaciones similares al de la zona de estudio original. Lo anterior además de optimizar los recursos humanos y financieros, redituará en una disponibilidad más acelerada de tecnologías acorde a cada área geográfica, lo que contribuirá a reducir y paulatinamente eliminar el uso de insectos benéficos inapropiados para las áreas de interés. La meta final es la de obtener agentes de control biológico específicos para su utilización en cada una de las diferentes áreas agroecológicas del país en un plazo relativamente corto.

## LITERATURA CITADA

- Aguilar, H. 2002. Colecta e Identificación de los Insectos Benéficos y Dañinos Asociados al Cultivo del Nogal Pecanero en la Región Norte de Coahuila, pp. 146-149. *En*: Memorias del XXV Congreso Nacional de Control Biológico. Sociedad Mexicana de Control Biológico. Noviembre de 2002. Hermosillo, Son. México.

- Aredondo-Bernal, H. C. 2000. Presente y futuro en la producción masiva de entomófagos, pp. 62-75. *En*: Bautista-M., N., A.D. Suárez-Vargas & O. Morales-Galván (eds.), Temas selectos en fitosanidad y producción de hortalizas. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 173p.
- Arredondo-Bernal, H. C. 2006. Aportaciones del control biológico en México, pp.218-232. *En*: C.A. Ángel-Sahagún, (ed.), XVII Curso Nacional de Control Biológico. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria-Sociedad Mexicana de Control Biológico. 250 p.
- Brooks, S. J. and P. C. Barnard. 1990. The green lacewings of the world: a generic review (Neuroptera: Chrysopidae). *Bull. Br. Mus. Nat. Hist. (Ent.)* 59: 117-286.
- Coria, V. M. 2000. Exploración de depredadores y parasitoides del "trips" (Varias Especies) (Thysanoptera: Thripidae) en huertos de aguacate de Uruapan, Michoacán, México, pp. 98-100. *En*: Memorias del XXIII Congreso Nacional de Control Biológico. Sociedad Mexicana de Control Biológico. Noviembre de 2000. Guanajuato, Gto. México.
- Córtez, H., R. Alatorre-Rosas, H. Bravo-Mojica, L. A. Aceves-Navarro y C. F. Ortiz-García. 2001. Efecto de factores bióticos y abióticos en la fluctuación de *Toxoptera aurantii* en cacaotales de Tabasco, México, pp. 113-116. *En*: Memorias del XXIV Congreso Nacional de Control Biológico. Sociedad Mexicana de Control Biológico. Noviembre de 2001. Chihuahua, Chih. México.
- Cortez, E., J. C. Legaspi, L. A. Rodríguez-del-Bosque y J. Vargas. 2000. Prueba de alimentación de *Chilocorus stigma* (Coleoptera: Coccinellidae) sobre "escamas armadas" de cítricos, pp. 173-176. *En*: Memorias del XXIII Congreso Nacional de Control Biológico. Sociedad Mexicana de Control Biológico. Noviembre de 2000. Guanajuato, Gto. México.
- Flint, M. L. and S. H. Dreistadt. 1998. Natural enemies handbook. The illustrated guide to biological pest control. University of California. Publication 3386. 154 p.
- Fu, A. A., G. Osorio, J. L. Miranda y J. Grageda. 2002. Evaluación de una cubierta vegetal con *Sesbania* spp. y liberaciones de *Chrysoperla carnea* para el control biológico de la chicharrita de la vid, pp. 225-227. *En*: Memorias del XXV Congreso Nacional de Control Biológico. Sociedad Mexicana de Control Biológico. Noviembre de 2002. Hermosillo, Son. México.
- Gaona-García, G., S. Myartseva y E. Ruiz-Cancino. 2001. Enemigos naturales de la escama de la palma *Comstockiella sabalis* (Homoptera: Diaspididae) en Tamaulipas, México, pp. 121-122. *En*: Memorias del XXIV Congreso Nacional de Control Biológico. Sociedad Mexicana de Control Biológico. Noviembre de 2001. Chihuahua, Chih. México.
- Gordon, R. D. 1985. The Coccinellidae (Coleoptera) of America North of México. *J. N. Y. Entomol. Soc.* Vol. 93: 912 p.
- Hagen, K. S., N. J. Mills, G. Gordh and J. A. McMurtry. 1999. Terrestrial arthropod predators of insect and mite pests, pp 383-461. *In*: T. S. Bellows & T. W. Fisher (ed), Handbook of Biological Control; Principles and Applications of Biological Control. Academic Press. U. S. A.
- Hawkeswood, T. 1987. Beetles of Australia. Angus & Robertson: North Ryde, NSW, Australia.
- Hunter, C. D. 1997. Suppliers of beneficial organisms in North America. California Environmental Protection Agency, Dept. of Pesticide Regulation, Sacramento, CA.
- Juárez, M.C.A. 1986. Consideraciones taxonómicas de Coleópteros (Coccinellidae) de la Colección del Instituto de Biología. Tesis Profesional de Biología. Facultad de Ciencias, UNAM, México, D. F. 125 p.
- Loera-Gallardo, J. y H. Kokubu. 2003. Cría masiva y liberación de *Hippodamia convergens* Guerin (Coleoptera: Coccinellidae). *En*: J.I. López-Arroyo y M.A. Rocha-Peña (eds.), Memorias

- del curso nacional Identificación y Aprovechamiento de Depredadores en Control Biológico: Chrysopidae y Coccinellidae. INIFAP, UANL. Julio 21-25, 2003. Monterrey, N. L., México.
- Lomelí, J. R., R. Peña-Martínez, N. Villegas-Jiménez, G. Benavides-Espinosa, D. Casarrubias-Trujillo y N. Gómez-Domínguez. 2001. Control natural de *Chrysomela scripta* F. (Coleoptera: Chrysomelidae) por el parasitoide *Schizonotus latus* (Hymenoptera: Pteromalidae), pp. 57-60. *En: Memorias del XXIV Congreso Nacional de Control Biológico.* Sociedad Mexicana de Control Biológico. Noviembre de 2001. Chihuahua, Chih. México.
- López-Arroyo J. I. y T. De León. 2003. Potencial para la cría masiva de especies de *Ceraeochrysa* (Neuroptera: Chrysopidae). *En: J.I. López-Arroyo & M.A. Rocha-Peña (eds.) Memorias del curso nacional Identificación y Aprovechamiento de Depredadores en Control Biológico: Chrysopidae y Coccinellidae.* INIFAP, UANL. Julio 21-25, 2003. Monterrey, N. L., México.
- López-Arroyo J. I., J. Martínez-Medina y N. Bautista-Martínez. 2002. Artrópodos plaga y benéficos asociados a la canola en Nuevo León, México, pp. 131-134. *En: Memorias del XXV Congreso Nacional de Control Biológico.* Sociedad Mexicana de Control Biológico. Noviembre de 2002. Hermosillo, Son. México.
- López-Arroyo, J. I., C. A. Tauber and M. J. Tauber. 1999b. Comparative life-histories of the predators *Ceraeochrysa cincta*, *C. cubana*, and *C. smithi* (Neuroptera: Chrysopidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 92: 208-217.
- López-Arroyo, J. I., C. A. Tauber, and M. J. Tauber. 1999a. Effects of prey on survival, development, and reproduction of trash-carrying chrysopids (Neuroptera: *Ceraeochrysa*). *Environ. Entomol.* 28: 1183-1188.
- López-Arroyo, J. I., C. A. Tauber, and M. J. Tauber. 1999c. Intermittent oviposition and re-mating in *Ceraeochrysa cincta* (Neuroptera: Chrysopidae). *Annals of the Entomological Society of America* 92: 587-593.
- López-Arroyo, J. I., C. A. Tauber, and M. J. Tauber. 2000. Storage of lacewing eggs: Post-storage hatching and quality of subsequent larvae and adults. *Biol. Control* 18: 165-171.
- Marín, J. A. 1994. Especies de la familia Coccinellidae (Coleoptera) presentes en la Colección Nacional de Insectos del INIFAP, pp. 253-54. *En: Resumen en Memoria del XXIX Congreso Nacional de Entomología, UANL, Monterrey, N. L.*
- Martínez, I. P., M. Ramírez, U. Nava y J. M. Vázquez. 2001. Fluctuación poblacional de pulgones y sus depredadores en huertas de nogal pecanero (*Carya illinoensis* Koch), con alfalfa como cobertura vegetal en la Comarca Lagunera, pp. 127-130. *En: Memorias del XXIV Congreso Nacional de Control Biológico.* Sociedad Mexicana de Control Biológico. Noviembre de 2001. Chihuahua, Chih. México.
- Martínez, L., A. Iturbide y G. Hernández. 2002. Enemigos naturales de *Corythuca cydoniae* (Hemiptera: Tingidae) en membrillero, en Durango, México, pp. 128-131. *En: Memorias del XXV Congreso Nacional de Control Biológico.* Sociedad Mexicana de Control Biológico. Noviembre de 2002. Hermosillo, Son. México.
- New, T. R. 2001. Introduction to the systematics and distribution of Coniopterygidae, Hemerobiidae, and Chrysopidae used in pest management. pp. 6-28. *In: P. McEwen, T.R. New, & A.E. Whittington (ed.). Lacewings in the Crop Environment.* Cambridge University Press. Cambridge, U.K.

- Ontiveros, Y., M. Ramírez, U. Nava y G. Hernández. 2000. Desarrollo, sobrevivencia, fecundidad y estadísticos vitales de *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae), pp. 107-110. *En: Memorias del XXIII Congreso Nacional de Control Biológico*. Sociedad Mexicana de Control Biológico. Noviembre de 2000. Guanajuato, Gto. México.
- Peña., R., A. Marín, R. Terrón-Sierra, S. Rodríguez-Navarro, M.M. González-López y A. Fierro-Álvarez. 2002. Coccinélidos y sus áfidos presa en plantas medicinales y arvenses en las Ánimas, Tulyehualco, Distrito Federal, pp. 175-177. *En: Memorias del XXV Congreso Nacional de Control Biológico*. Sociedad Mexicana de Control Biológico. Noviembre de 2002. Hermosillo, Son. México.
- Pérez, A. y C. Acatitla. 2001. Capacidad depredadora de *Chrysoperla carnea* Stephens (Neuroptera: Chrysopidae) en el control de cinco especies de áfidos de importancia agrícola en Chapingo, México, pp.209-211. *En: Memorias del XXIV Congreso Nacional de Control Biológico*. Sociedad Mexicana de Control Biológico. Noviembre de 2001. Chihuahua, Chih. México.
- Ramírez-Delgado, M. 2007. Diversidad, distribución y atributos bioecológicos de especies de Chrysopidae asociadas a los frutales del Norte y Centro de México. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de Los Garza, N. L., México. 145 p.
- Rodríguez-del-Bosque, L. A. y H. C. Arredondo. 1999. Quién es quién en control biológico en México. INIFAP-CIRNE. Campo Experimental Río Bravo. Tamaulipas, Méx. Folleto técnico no. 23. 147 p.
- Silva-Sánchez, C., A. A. Fú-Castillo, V. M. Búrquez-Delgado, J. Ayala-García y H. González-Hernández. 2003. Reproducción masiva de *Cryptolaemus montrouzieri* (Girault). *En: J.I. López-Arroyo & M.A. Rocha-Peña* (eds.), Memorias del curso nacional Identificación y Aprovechamiento de Depredadores en Control Biológico: Chrysopidae y Coccinellidae. INIFAP, UANL. Julio 21-25, 2003. Monterrey, N. L., México.
- Symondson, W.O.C., K. D. Sunderland and M. H. Greenstone. 2002. Can generalist predators be effective biocontrol agents? *Ann. Rev. Entomol.* 47: 561-594.
- Tarango, H. 1997. Depredadores de áfidos del nogal. pp 113-150. *En: L. A. Rodríguez y S. H. Tarango* (eds.), Manejo Integrado de Plagas del Nogal. México. Ed. Doble Hélice Chihuahua, Méx.
- Tarango, H. 1999a. Aptitud de *Harmonia axyridis* Pallas, *Olla v-nigrum* Mulsant e *Hippodamia convergens* Guerin (Coleoptera: Coccinellidae) para la cría masiva. *Vedalia* 6: 31-41.
- Tarango, H. 1999b. Insectos depredadores de áfidos en plantas arvenses y cultivadas en nogaleras y cultivos vecinos. Folleto técnico No. 1. Campo Experimental Delicias. INIFAP. México.
- Tarango, H. y N. Chávez. 1997. Control natural de áfidos amarillos (Homoptera: Aphididae) en nogal pecanero. *Vedalia* 4:3-7.
- Tarango, H. y F. J. Quiñones. 1997. Desarrollo y reproducción de *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) bajo diferentes condiciones de cría. *Vedalia* 4: 9-13.
- Tarango, H. y F. J. Quiñones. 2001. Biología y cría de las catarinitas *Harmonia axyridis* y *Olla v-nigrum*. Folleto técnico No. 5. Campo Experimental Delicias. INIFAP. México.
- Tarango, H., F. J. Quiñones y N. Chávez. 1998. Comportamiento de la catarinita *Harmonia axyridis* Pallas (Coleoptera: Coccinellidae) en nogales cultivados en clima semiárido. *Vedalia* 5: 29-37.
- Tauber, C. A. and T. De León. 2001. Systematics of green lacewings (Neuroptera: Chrysopidae): Larvae of *Ceraeochrysa* from Mexico. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 94: 197-209.
- Tauber, M. J., C. A. Tauber and J. I. López-Arroyo. 1997. Life-history variation in *Chrysoperla carnea*: Implications for rearing and storing a Mexican population. *Biological Control* 8: 185-190.

- Trejo, A. G., R. Lomelí-Flores y R. Peña-Martínez. 2000. Áfidos (Homoptera: Aphididae) de Cuernavaca, Morelos y sus parasitoides, pp. 46-49. *En*: Memorias del XXIII Congreso Nacional de Control Biológico. Sociedad Mexicana de Control Biológico. Noviembre de 2000. Guanajuato, Gto. México.
- Valencia, L. 2004. Estudio taxonómico de la familia Chrysopidae (Insecta: Neuroptera) en el estado de Morelos, México. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Instituto de Fitosanidad. Montecillo, Estado de México.
- van Lenteren, J. C., A. K. Minks and O.M.B. de Ponti. 1992. Biological control and integrated crop protection: Towards environmentally safer agriculture. Pudoc Scientific Publishers, Wageningen, Netherlands, 239 p.
- van Lenteren, J. C. 2000. Success in biological control of arthropods by augmentation of natural enemies, pp. 77-103. *In*: Gurr, G. & S. Wratten (eds.), Biological control: measures of success. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands. 429p.
- Vázquez, J. M. y R. Muñoz. 2000. Fluctuación poblacional de crisópidos (Neuroptera: Chrysopidae) en huertas de nogal pecanero de la Comarca Lagunera, pp. 230-232. *En*: Memorias del XXIII Congreso Nacional de Control Biológico. Sociedad Mexicana de Control Biológico. Noviembre de 2000. Guanajuato, Gto. México.



**Perspectivas del Uso de Raphidioptera y Neuroptera  
Coniopterygidae como Agentes de Control Biológico**

*R. A. Pantaleoni*

Universidad de los Estudios de Sassari e ISE-CNR, Italia  
pantaleo@uniss.it

---

---

**CONTENIDO**

<i>Introducción</i> .....	107
<i>Raphidioptera</i> .....	107
<i>Coniopterygidae</i> .....	116
<i>Literatura Citada</i> .....	122

Pantaleoni, R. A. 2007. Perspectivas del uso de Raphidioptera y Neuroptera Coniopterygidae como agentes de control biológico, pp. 106-126. *En*: L. A. Rodríguez-del-Bosque y H. C. Arredondo-Bernal (eds.), Teoría y Aplicación del Control Biológico. Sociedad Mexicana de Control Biológico, México. 303 p.

## INTRODUCCIÓN

En 1737 se imprimió el tercer tomo de la obra monumental “Mémoires pour servir à l'histoire des Insectes” del noble francés René Antoine Ferchault de Réaumur. Esta obra contiene una memoria, la undécima, titulada “Histoire des vers mangeurs des pucerons” (Historia de los gusanos comedores de pulgones) que describe, de modo sorprendentemente moderno, lo que hoy llamaríamos el grupo de depredadores de áfidos. Se trata de la primera mención de los neurópteros como agentes de control biológico. Réaumur llamaba a las larvas “vers à six jambes” (gusanos de seis patas) o bien “lions des pucerons” (leones de los pulgones); se trataba de larvas de crisópidos y de hemeróbidos, pero sobre todo de los primeros.

Desde entonces, los neurópteros han sido estudiados, criados y empleados como insectos útiles en campos agrícolas y forestales, aunque el interés se ha concentrado de forma casi exclusiva en los crisópidos y en menor medida en los hemeróbidos; como ejemplo pueden consultarse los clásicos trabajos sobre insectos entomófagos realizados por Balduf (1939) y Clausen (1940). Sólo otra familia se ha tomado en seria consideración, la de los pequeños coniopterígididos, sobre todo después del trabajo pionero de Withycombe (1924) acerca de su importancia económica. Pero estos últimos, si bien incluidos en algunas reseñas (New 1999, McEwen *et al.* 2001), parecen citarse más por completar la información que por la posibilidad práctica de emplearlos en actividades de control biológico. Otros taxa se mencionan sólo como curiosidades, por ejemplo los sicópsidos (Tillyard 1918), familia de distribución afrotropical, oriental y australiana y los rafidiópteros (Pantaleoni 1990, Aspöck 1991).

En realidad, en muchos sistemas agrícolas hay menos crisópidos que coniopterígididos, y en algunos casos la biomasa de rafidiópteros es superior a la de cualquier otro neuróptero. El conocimiento de estos dos grupos aún tiene varias lagunas, pero cada día disponemos de más información y muchos aspectos de su biología y ecología comienzan a aclararse.

## RAPHIDOPTERA

### Distribución

Raphidioptera es el Orden de insectos holometábolos menos numeroso que existe actualmente. En este Orden pertenecen sólo dos familias, los Raphidiidae con alrededor de 190 especies y los Inocelliidae con poco más de 20 (Aspöck *et al.* 1991). El Orden es muy antiguo y como demuestran los numerosos testimonios fósiles, alcanzó su máxima diversidad en familias y especies durante

el Mesozoico, época en la cual parece que habitó en ambos hemisferios, incluso en zonas tropicales y subtropicales (Grimaldi y Engel 2005).

En la actualidad está presente sólo en el hemisferio norte, de modo particular en la zona Euromediterránea, en Asia centro-oriental y en la parte occidental de América del Norte, entre los paralelos 55 y 15. Las faunas de estas tres zonas, salvo por los inocélidos paleárticos, no tienen ningún elemento común. Sólo tres especies, dos de rafididos y una de inocélidos, tienen una vasta distribución eurosibérica que va desde Europa central hasta el Pacífico, pasando por el norte de Asia central. Numerosas especies existen en áreas reducidas, limitados geográficamente incluso a un solo macizo montañoso (Aspöck *et al.* 1991, Aspöck 1998).

Todas estas características y otras vinculadas a la biología que se presentan a continuación, hacen de los rafidiópteros unos auténticos fósiles vivientes. De acuerdo con una sugestiva hipótesis (Aspöck 1998, 2000, 2002), las especies actuales descienden de las pocas líneas que sobrevivieron al impacto de un asteroide con la tierra, hace 65 millones de años. El invierno “artificial” subsiguiente a la catástrofe habría dejado con vida sólo algunas especies preadaptadas al frío y al ayuno prolongado, como son efectivamente las que viven en nuestros días.

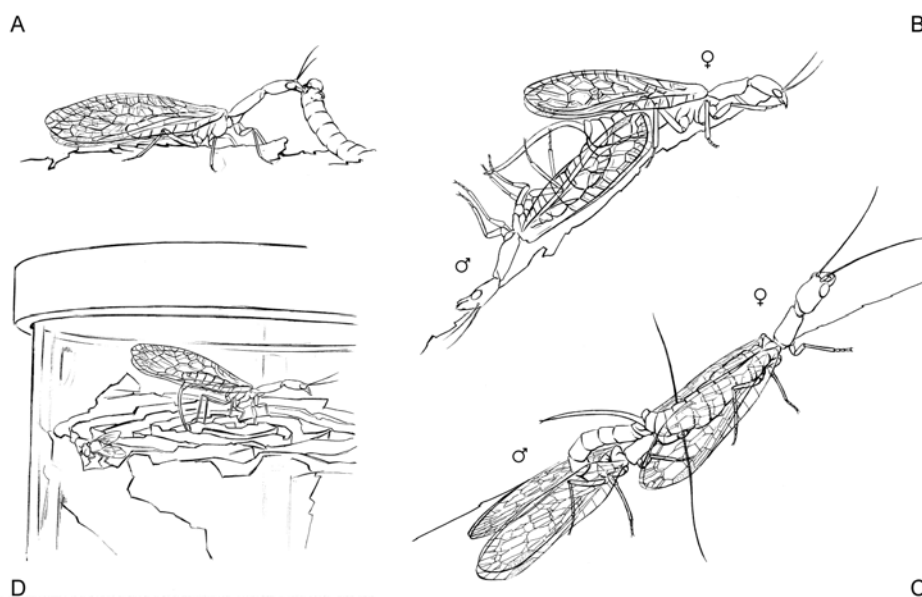
### **Hábitat y alimentación**

Los rafidiópteros viven exclusivamente en ambientes donde hay árboles o arbustos, incluso espaciados o aislados. Los adultos viven en las frondas de las plantas arbóreas y arbustivas, aunque a veces cazan en las hierbas que crecen debajo de ellas. Las larvas de muchas especies de rafididos viven en el suelo, en la hojarasca o entre las rocas de las capas más superficiales. Algunos géneros de rafididos y los inocélidos, en cambio, tienen larvas corticícolas (Aspöck *et al.* 1991, Aspöck 2002).

Muchas especies viven en ambientes o asociaciones vegetales particulares, e incluso en franjas de altitud bien definidas. Normalmente, las especies corticícolas se especializan en colonizar coníferas o latifolias; en pocos casos se limitan a un solo tipo de árbol, por ejemplo a robles o pinos. Algunas están bien preadaptadas para vivir en ambientes antropizados, como parques, jardines y plantaciones frutales. Por último, numerosos inocélidos tienen un gran valor ecológico y están distribuidos prácticamente en todos los ambientes de una determinada área geográfica (Aspöck *et al.* 1991).

Los rafididos adultos son depredadores agresivos que atacan a todo tipo de insectos pequeños. Los áfidos, cochinillas, psílidos y aleuródidos son sus

presas preferidas, aunque no desechan las pequeñas larvas de holometábolos u otros artrópodos (Stelzl 1991). La técnica de caza se basa en un rapidísimo movimiento de la cabeza hacia abajo que se proyecta, al hacer palanca en el largo protórax, como una serpiente (de aquí el nombre en inglés de snake-fly) (Tilden 1951) (Fig. 1A). Los rafididos, como muchos otros predadores, también pueden ingerir polen y néctar directamente de las flores y de otros órganos vegetales, o bien melazo (Acker 1966, Stelzl 1991). Los inocélicos, en cambio, no se nutren en estado adulto, durante el cual ingieren a lo sumo líquidos (datos no publicados).



**Figura 1. (A) Macho adulto de rafidido en ingestión de una larva de lepidóptero; (B) pareja de rafididos durante el apareamiento: El macho permanece enganchado a la hembra sólo por los genitales; (C) posición de cópula del inocélico *Fibla maclachlani*; (D) hembra de rafidido en oviposición en una cápsula de cría (dibujos originales de Marco Mattei).**

Las larvas de ambas familias también son depredadoras, aunque no se excluye que, en caso de necesidad, puedan nutrirse de insectos muertos (Aspöck *et al.* 1991). El espectro alimentario de estos insectos no se ha estudiado rigurosamente, pero en numerosas observaciones empíricas se los ha visto agredir a insectos xilófagos, incluso dentro de sus galerías y a otros presentes en la superficie o en las grietas de las cortezas (Wichmann 1957). Se ha comprobado que son capaces de comer pupas mucho más grandes que ellos (datos no publicados).

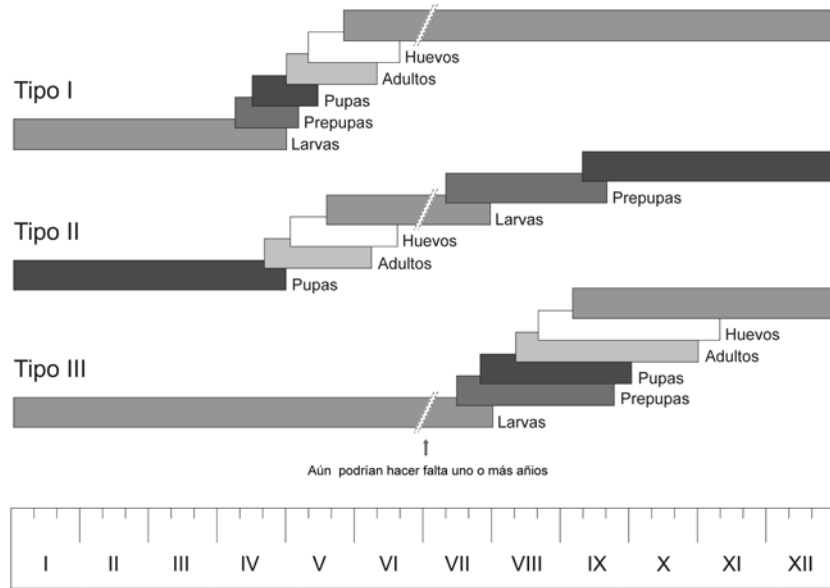
## Ciclo biológico de Raphidiidae

Estos insectos ponen los huevos en grupos que pueden ser numerosos, en pequeñas hendiduras que las hembras alcanzan con su largo ovipositor. Según la especie, la postura se realiza en la corteza de árboles y arbustos o en el suelo. No se han señalado períodos de quiescencia o diapausa de los huevos, por lo cual las pequeñas larvas recién nacidas hacen siempre la primera muda a los pocos días de la oviposición (Aspöck *et al.* 1991, Aspöck 2002).

Sólo de pocas especies se conoce con certeza que el número de mudas es 10. Sin embargo, este número es variable, sobre todo si la alimentación no es la ideal, puede crecer probablemente hasta 15 o más. Las larvas de las primeras edades parecen tener un comportamiento ligeramente gregario sin mostrar signos de canibalismo, mientras que al crecer se vuelven solitarias y agresivas (Woglum y McGregor 1958, 1959, Kovarik *et al.* 1991). Las larvas son extremadamente resistentes al ayuno e ingieren grandes cantidades de alimentos a intervalos amplios (ver información sobre los inocélicos).

El período de desarrollo larval dura como mínimo un año. Es más, según Aspöck (2002) la duración de un año es bastante rara, porque normalmente hacen falta dos o más. En realidad, la mayoría de los datos que maneja este autor se refieren a la cría en laboratorio de larvas recogidas en la naturaleza durante campañas de estudio sobre la biodiversidad de los rafidiópteros. Varios datos (incluidos los nuestros no publicados) parecen apuntar a que la duración de un año, al menos para una parte de la población, es frecuente en numerosas especies.

La regulación del ciclo biológico de los rafididos parece estar relacionada con la temperatura y no con el fotoperíodo. En la mayoría de las especies el empupamiento ocurre en primavera, después que la larva ha permanecido durante un tiempo a baja temperatura. El período pupal, en este caso, es relativamente breve (ciclo biológico de Tipo I según Aspöck 2002). Por el contrario, en algunos géneros que habitan en la zona del Mediterráneo occidental, el empupamiento se verifica a finales del verano o comienzo del otoño y los adultos emergen en la primavera siguiente, después que el período de frío lo ha sufrido la pupa (ciclo biológico de Tipo II según Aspöck 2002). Hay un detalle interesante, aún sin explicación y es que algunos individuos de especies pertenecientes al Tipo II pueden empuparse en primavera y convertirse en adultos inmediatamente después, como los del Tipo I. Por último, sobre todo en las especies mexicanas del género *Alena*, las pupas y los adultos se forman en verano (ciclo biológico de Tipo III según Aspöck 2002) (Fig. 2).



**Figura 2. Tipos de ciclo biológico de los rafidiópteros (según Aspöck 2002).**

Las especies de Tipo III, pero también la norteamericana *Agulla bicolor* considerada de Tipo I (Kovarík *et al.* 1991), no parecen necesitar un período a baja temperatura para completar su desarrollo. En los demás casos, por el contrario, si el insecto no inverna no llega ni a pupa ni a adulto. Cuando se da esta situación, en las larvas de Tipo I aparece típicamente el fenómeno de la protetelia con desarrollo de caracteres pupales, como ojos compuestos, esbozos alares o apéndices abdominales, lo que conduce casi siempre a la muerte. Sólo poquísimos individuos protetélicos sometidos a bajas temperaturas logran pupar correctamente y convertirse en adultos (Aspöck 2002).

El apareamiento tiene lugar pocos días después de la emergencia del adulto, según la poca información disponible (Aspöck *et al.* 1994). Probablemente el tiempo transcurrido es el necesario para que maduren los huevos y espermatozoides. Los machos y hembras realizan complejos rituales de cortejo para reconocerse y para verificar la disponibilidad sexual de la contraparte antes de realizar la cópula. También interviene la emisión de feromonas y de señales sonoras producidas por vibraciones abdominales, pero no se ha realizado ningún estudio sobre estos aspectos. Tampoco se sabe si una hembra puede

realizar varias cópulas (Kästner 1934, Eglin 1939, Zabel 1941, Acker 1966, Aspöck *et al.* 1994).

La posición de apareamiento es bastante curiosa: Salvo raras excepciones, el macho, tras enganchar los genitales femeninos con los suyos, queda totalmente suspendido de la hembra y es transportado por ella (Fig. 1B). Para enganchar los genitales, el macho se ubica al costado o como en el caso de los inocélidos (ver más adelante), debajo de la hembra. La cópula puede durar desde pocos minutos hasta más de una hora.

### **Ciclo biológico de Inocelliidae**

Las principales diferencias entre las dos familias residen en el hecho de que los inocélidos no comen en el estado adulto y casi todos los recursos necesarios para la maduración de huevos y espermias para el acoplamiento y la ovodeposición proceden de la alimentación de la larva. Todas las larvas de inocélidos viven en las cortezas de árboles y arbustos y es aquí donde las hembras ponen los huevos.

Como las larvas de rafididos, también las de inocélidos resisten largos ayunos y se alimentan con grandes intervalos. De nuestros recientes estudios no publicados sobre *Fibla maclachlani* (especies de Córcega, Cerdeña y Sicilia) resulta que las larvas no sufren ninguna ralentización de su desarrollo aunque se nutran, abundantemente, sólo una vez cada dos semanas. Cuando se alimentan una vez al mes, presentan sólo una ligera demora en su desarrollo.

Es interesante la presencia, encontrada también en la naturaleza, de hembras “gigantes”. En el laboratorio, los machos y hembras de *Fibla maclachlani* muestran inmediatamente dos curvas diferentes de desarrollo. Los primeros alcanzan un peso de 25 mg en unas 10 semanas y lo mantienen con aumentos mínimos hasta el empupamiento. Las hembras, en cambio, continúan subiendo de peso casi indefinidamente hasta superar los 200 mg. Estos ejemplares dan lugar a adultos incapaces de volar pero que, evidentemente, pueden poner una enorme cantidad de huevos. La gran mayoría de los inocélidos presenta un ciclo de Tipo I (descrito en el apartado anterior). Sólo algunas especies mexicanas se desarrollan según el Tipo III.

Por lo que se ha visto, los inocélidos se aparean sin ninguna demora tras la emergencia de los adultos. Para la cópula, el macho introduce la cabeza bajo el abdomen de la hembra y la engancha a nivel del quinto esternito con unas estructuras protráctiles, aún no estudiadas en profundidad, que tiene en la base de las antenas. El macho levanta entonces su abdomen hasta alcanzar los genitales femeninos, a los cuales se engancha (Fig. 1C). Esta posición se mantiene sin que

el macho, como sucede con los rafididos, sea transportado por la hembra. La cópula puede durar más de dos horas. Aunque el macho y la hembra no se alimentan, fuera del cortejo pueden agredirse recíprocamente y causarse graves heridas con las mandíbulas, que pese al ayuno les funcionan perfectamente.

## **Cría**

Aspöck *et al.* (1991) describen, por una parte, la experiencia con más de quince mil larvas recogidas en el campo y criadas hasta la edad adulta y por otra, el empleo de hembras, también recogidas en la naturaleza, de cuyos huevos se obtienen las larvas. Los dos métodos tenían por objeto el estudio taxonómico de los rafidiópteros mediante la identificación certera de las larvas recogidas y la descripción de los estadios preimaginales de especies conocidas.

Para obtener los huevos, las hembras recogidas en el campo se ponen en pequeños recipientes cilíndricos de material plástico cuya mitad inferior se rellena con un rollo de papel suave (Fig. 1D). Regularmente alimentadas con insectos recién matados, las hembras se pasan a un nuevo recipiente cada pocos días durante toda su vida. Presumiblemente, han puesto los huevos en el recipiente ya utilizado, introduciéndolos con el ovipositor entre las varias capas de papel.

Los recipientes con huevos no se tocan hasta que nacen las larvas, que pueden permanecer juntas hasta que efectúan una o dos mudas. Luego de esto, se colocan con mucho cuidado, separadas, en recipientes similares a los de ovodeposición donde hay sólo unos pequeños rectángulos de papel suave que les hacen de refugio. Las larvas se nutren a intervalos largos (típicamente una vez por mes) con insectos recién matados y cortados en grandes trozos. Luego se someten todos los años a algunos meses de frío, generalmente exponiéndolas a las condiciones climáticas naturales fuera del laboratorio. Este método de cría es sencillo y eficaz, pero tiende sobre todo a optimizar la supervivencia del material y a minimizar las horas de trabajo necesarias. No se da importancia al desarrollo rápido de las larvas ni al número de huevos puestos. Por otra parte, los pocos autores que han publicado informaciones sobre la cría experimental de rafidiópteros no añaden mucho a estos conceptos de base.

Los complicados rituales necesarios para el apareamiento siempre han sido un impedimento para realizar el ciclo de cría completo en el laboratorio. Los resultados obtenidos en este aspecto son escasos y no están de ningún modo estandarizados. Típicamente los adultos se colocan en grandes contenedores, ya que es bastante común que, en espacios reducidos, los miembros de una posible pareja se ataquen hasta matarse.



## Los rafidiópteros en los cultivos agrícolas y forestales

La presencia de rafidiópteros en los sistemas forestales se conoce desde hace mucho tiempo y muchos autores (por ejemplo Seitner 1924, Schimitschek 1931 y Wichmann 1957) los incluyen entre los depredadores de algunos de los principales insectos plaga, como los coleópteros escolítidos. Pese a ello, no hay muchos datos sobre su eficacia como depredadores porque las investigaciones de este tipo son extremadamente largas y complejas. Algo sabemos sobre los bosques europeos de pinos: En estos ambientes, *Raphidia ophiopsis* (y con menos frecuencia *Xanthostigma xanthostigma*) se considera un buen depredador de *Dendroctonus micans* (Coleoptera Scolytidae) y de *Aradus cinnamomeus* (Heteroptera Aradidae) (Pishchik 1979, Doom 1981, Voolma 1986). *Inocellia crassicornis*, en cambio, se ha señalado como eficaz contra los lepidópteros tortrícidos en el alerce (Liu y Wang 1985, Shen 2001).

La presencia de rafidiópteros en los cultivos agrícolas y en particular en los arbóreos, también se conoce desde hace mucho tiempo: Ya Achille Costa (1857) mencionaba a *Parainocellia bicolor* como habitante de los olivares. Algunas especies parecen preferir los cultivos frutales, sobre todo si están semiabandonados. Aspöck *et al.* (1974), en una síntesis de los datos ecológicos disponibles sobre Europa central, citan cuatro especies, de las once estudiadas, que abundan mucho más en manzanos y perales que en cualquier otro tipo de vegetación: *Phaeostigma major*, *Subilla confinis*, *Xanthostigma xanthostigma* y *Venustoraphidia nigricollis*.

Efectivamente, hay interesantes menciones de algunas especies como depredadoras de lepidópteros del manzano: El sésido *Synanthedon myopaeformis* y los tortrícidos *Enarmonia formosana* y *Cydia pomonella* (Boldyrev y Dobroserdov 1981, Ozkan *et al.* 1984). Existen otros estudios, más genéricos, sobre el almendro (Triggiani 1973, Bolu *et al.* 2005) además de los clásicos trabajos de Woglum y McGregor (1958, 1959) sobre las plantaciones de cítricos de California.

Recientemente se ha descubierto en Italia una importante densidad de población de *Parainocellia bicolor* en los viñedos (Pantaleoni 1990, Pantaleoni y Alma 2001). Las larvas de inocélidos colonizan en buen número el ritidoma de las cepas. Esta especie es sustituida en los viñedos de Cerdeña y Sicilia por otro inocélido, *Fibla maclachlani* (datos sin publicar). Las referencias sobre cultivos herbáceos son escasas y ocasionales, y se refieren a adultos que probablemente se habían alejado (¿Cuánto?) de los árboles para comer (Goeden y Ricker 1977, Hennig 1987, Krotova 1990).

## Problemas y perspectivas

Los rafidiópteros son depredadores generalistas, con tiempos de desarrollo extremadamente largos y exigencias ecológicas bastante particulares, para los cuales aún no hemos diseñado métodos seguros de cría masiva. Sobre la base de esta descripción (y sobre todo de lo expuesto en las líneas anteriores), puede parecer algo arriesgado proponerlos como agentes eficaces de control biológico.

En realidad, estas características constituyen al mismo tiempo una limitación y una ventaja. Los "méritos" de los depredadores generalistas respecto a depredadores y parasitoides especialistas han sido demostrados recientemente por numerosas investigaciones (ver los trabajos de Chang y Kareiva 1999 y Symondson *et al.* 2002). Ellos consisten en su capacidad de sobrevivir en ausencia del insecto plaga que depredan habitualmente, porque al ser polípagos se alimentan también de especies no dañinas; en su presencia constante en el campo (debida a los largos tiempos de desarrollo) que les permite controlar el aumento de población de los insectos plaga justo al inicio de su crecimiento; en su posibilidad de extinguir localmente la población de un insecto plaga sin que por ello disminuya el número de predadores.

Algunas especies de rafidiópteros son prácticamente ubiquestas en el interior de su areal (por ejemplo las ya citadas *Parainocellia bicolor* en la península italiana y *Fibla maclachlani* en Córcega, Cerdeña y Sicilia); otras parecen estar preadaptadas para colonizar plantaciones frutales de todo tipo, como es el caso de algunas *Agulla* norteamericanas y de las cuatro especies anteriormente mencionadas para Europa central.

Sus características biológicas permiten criarlas de modo relativamente sencillo, aunque todavía quedan algunos problemas por resolver. La fase del apareamiento sigue siendo crítica y habrá que estudiar mejor los rituales del cortejo. Las condiciones ambientales idóneas para completar el desarrollo se conocen superficialmente; sabemos que en la mayoría de los casos se necesita una permanencia invernal al frío, pero no su intensidad ni su duración. Por último, debemos optimizar las modalidades de suministro del alimento y el tipo de dieta, en función de los tiempos de desarrollo y de los niveles de supervivencia.

Las estrategias utilizables con estos insectos deberán ser una integración de metodologías conservacionistas (control del hábitat y sobre todo limitación en el uso de pesticidas) y de intervenciones inoculativas realizadas con larvas criadas en laboratorio. Los individuos distribuidos en los troncos de los árboles deberán producir un número de adultos suficiente para realizar una colonización duradera del ambiente. La escasa capacidad de dispersión de los rafidiópteros debería

asegurar una eficacia de varios años para cada intervención. Por el momento no es posible considerar métodos de intervención inundativos, pero podrían ser factibles si las técnicas de cría se perfeccionaran hasta el punto de permitir una producción masiva de estos insectos.

## CONIOPTERYGIDAE

### Distribución

Desde el punto de vista filogenético, la familia de los coniopterígididos aparece bastante aislada en el ámbito de los verdaderos neurópteros (Planipennis o neurópteros s. str.) y se distingue inmediatamente de cualquier otra incluso por su aspecto exterior. En efecto, se trata de insectos pequeños (la longitud del ala, salvo pocas excepciones, es de 5 mm o menos), recubiertos de un polvo ceroso blancuzco segregado por unas glándulas especiales (de aquí su nombre en inglés de "dusty wings"), venación alar reducida y membrana alar, salvo en algunos géneros, immaculada.

Pese a una revisión mundial efectuada por Meinander en 1972 y actualizada por el mismo autor en 1990, los conocimientos taxonómicos sobre la familia distan aún de ser satisfactorios. Quedan muchas especies por describir en las áreas tropicales y subtropicales del planeta y probablemente hay muchas especies crípticas aún sin descubrir en zonas más conocidas de clima templado. Hoy en día se conocen alrededor de 500 especies (¡en 1990 eran 423!). Los coniopterígididos se dividen en tres subfamilias: Brucheiserinae, geográficamente limitadas a América del Sur (Chile y Argentina) y con sólo cuatro especies conocidas, y Aleuropteryginae y Coniopteryginae distribuidas en todo el mundo. Estas dos subfamilias incluyen algunos géneros con distribución geográfica limitada y otros que están ampliamente distribuidos.

Según New (2001), los géneros de posible interés como agentes de control biológico son los siguientes: (entre las Coniopteryginae) *Coniopteryx*, cosmopolita; *Conwentzia*, cosmopolita con exclusión de Australia y América del Sur; *Semidalis*, ausente sólo de Australia; (entre las Aleuropteryginae) *Aleuropteryx*, holoártico y africano; *Cryptoscenea*, australiano y surasiático; *Helicoconis*, holoártico y africano; *Heteroconis*, indoaustraliano.

### Hábitat y alimentación

La mayoría de los coniopterígididos viven, tanto en su estado adulto como en el larvario, en el follaje de árboles y arbustos. Pocas especies frecuentan el estrato herbáceo de la vegetación. También en los coniopterígididos, por lo menos

en la fauna europea más conocida, existe una fuerte diferenciación entre las especies que habitan en las coníferas y las que escogen las latifolias. Entre las primeras, son particularmente fieles a la planta hospedera las que viven en las cupresáceas. Las especies residentes en latifolias parecen estar condicionadas, más que por la especie vegetal, por la fisonomía de la vegetación (densidad, estructura, condiciones microclimáticas). Esta característica es aún más evidente en los ecosistemas mediterráneos dominados por latifolias perennes (datos inéditos).

Las larvas y los adultos de coniopterígididos cazan una gran variedad de artrópodos, entre los cuales se encuentran pequeños áfidos, cochinillas y ácaros y probablemente también tisanópteros, aleiródidos y psílidos. Está comprobado que comen los huevos de todos los grupos citados y también los de holometábolos de pequeñas dimensiones. Existe poca información sobre las preferencias y la especialización alimentaria de cada especie. Stelzl (1991) examinó el contenido estomacal de ejemplares adultos de dos especies europeas (*Semidalis aleyrodiformis* y *Coniopteryx* sp.) y encontró principalmente ácaros eriófidos. Al estudiar dos coniopterígididos del ciprés en Italia, De Marzo y Pantaleoni (1998) descubrieron que las larvas de uno de ellos, *Aleuropteryx juniperi*, podían considerarse oligófagas especializadas en diaspinos, mientras que las del otro, *Semidalis pseudouncinata*, aunque se mantenían estrechamente ligadas al ciprés, eran mucho más polífagas. También la especie asiática *Heteroconis picticornis*, introducida en E.U.A., parece estar especializada en diaspinos y lecaninos (Badgley *et al.* 1955).

De todos modos, los adultos necesitan una dieta mixta, integrando las presas con una alimentación glucídica a base de néctar, polen y melazo. Fleischner y Ricker (1953) añaden otro dato importante: Los que llevan una dieta exclusivamente glucídica ponen más huevos y viven más tiempo que los que se alimentan sólo de ácaros o cochinillas. Por otra parte, los adultos de ciertas especies, como muchos otros depredadores de dieta mixta, sienten gran atracción por el hidrolizado de proteína envenenado contra los dípteros tefrítidos (Ros *et al.* 1988).

### **Ciclo biológico**

Las informaciones sobre el ciclo biológico de los coniopterígididos se basan casi exclusivamente en especies de las áreas templadas de Europa y América del Norte (especies catalogadas por Monserrat *et al.* 2001). La descripción siguiente se refiere a dichas zonas y nada excluye que, en áreas tropicales, subtropicales o desérticas, otras especies tengan comportamientos totalmente diferentes. Los huevos se depositan normalmente sobre hojas o ramas pequeñas, ya sea aislados o, en presencia de altas densidades de población, en pequeños grupos. Las

distintas especies tienen modalidades propias en cuanto a la posición de los huevos en las hojas: Mientras algunas prefieren depositarlos en el margen, otras los adosan a las nervaduras principales de la cara inferior (observaciones originales). Las hembras ponen alrededor de 10 huevos diarios y poco más de 200 en toda su vida (Badgley *et al.* 1955, Muma 1967, Castellari 1980).

Las larvas aparecen tras un período embrional de una o dos semanas. Son muy activas y empiezan desde el primer momento a explorar hojas y ramas tiernas en busca de presas. Las larvas de algunas especies depredadoras de cochinillas, como las de *Aleuropteryx*, son ligeramente más remisas y lentas (De Marzo y Pantaleoni 1998). Como todos los neurópteros planipennis, pasan a través de tres estadios. Se han publicado dos importantes estudios que registran cuatro estadios larvales en dos especies pertenecientes a dos subfamilias: Badgley *et al.* (1955) sobre *Heteroconis picticornis* (Aleuropteryginae) y Muma (1967) sobre *Semidalis vicina* (Coniopteryginae). No obstante, estos datos nunca han sido verificados y por el momento no parecen ser atendibles.

Los capullos tienen distintas formas según las especies y el lugar donde los tejen. Por lo que sabemos están siempre formados por dos capas, y la interior, de trama más densa, suele estar bien separada de la exterior. Normalmente los construyen entre la vegetación o en los troncos. A este respecto son interesantes las observaciones de Withycombe (1924), confirmadas por Pantaleoni (1996), sobre *Conwentzia psociformis*, cuya primera generación del año adosa el capullo principalmente a la cara inferior de las hojas de la planta hospedera (un roble caducifolio) mientras que la generación que deberá hibernar lo teje sólo en el tronco.

El apareamiento se realiza a los pocos días de emerger los adultos (Badgley *et al.* 1955, Castellari 1980). Los rituales del cortejo y las modalidades de copulación han sido descritos por pocos autores (Withycombe 1922, Eglin 1940, Collyer 1951, Henry 1976, Johnson y Morrison 1979). El apareamiento de los Coniopteryginae es extraordinariamente similar al que se refirió anteriormente para los inocélicos. La diferencia es que el macho sujeta con sus patas delanteras las patas traseras o intermedias de la hembra (Fig. 3). En la fase previa a la cópula, también en este caso, es probable que la hembra emita feromonas. En las Aleuropteryginae, en cambio, los dos sexos se sitúan cola con cola.

El número de generaciones varía con la especie y en una misma especie, parece cambiar con la latitud. Pero, lamentablemente, hay pocos datos comprobados. Uno de los estudios más minuciosos (Castellari 1980) demuestra que en Italia, cerca del paralelo 45, *Coniopteryx esbenpeterseni* tiene en condiciones naturales tres generaciones al año (Fig. 4).

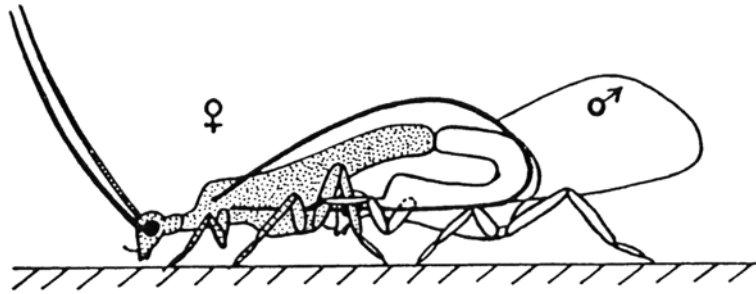


Figura 3. Apareamiento del coniopterigido *Conwentzia psociformis* (tomado de Eglin 1940).

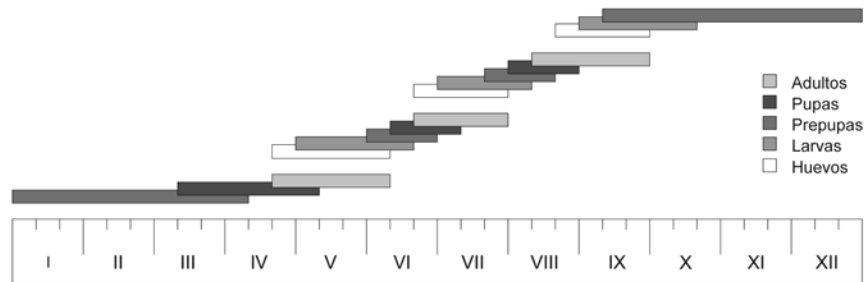


Figura 4. Voltinismo del coniopterigido *Coniopteryx esbenpeterseni*: Italia 45° N (según Castellari 1980).

En todas las especies cuyo ciclo biológico se ha estudiado, la fase que inverna es la larva encerrada en el capullo (prepupa). La larva sufre sin duda una diapausa pero no se conocen los factores que la inducen, aunque casi seguramente están ligados al fotoperíodo.

### Cría

Las pequeñas dimensiones de los coniopterigidos influyen notablemente en los métodos de cría. Por un lado los facilitan porque no exigen grandes espacios ni estructuras especiales; por el otro, complican las operaciones manuales y aumentan el tiempo de trabajo. Las informaciones que poseemos se refieren, en su gran mayoría, a pequeños criaderos experimentales (Fleschner y Ricker 1953, Muma 1967, Castellari 1980). Sólo Badgley *et al.* (1955) describen la producción de millares de *Heteroconis picticornis* (a partir de ejemplares

colectados en Taipo, Hong Kong) en el Departamento de Control Biológico de la Citrus Experiment Station de la Universidad de California en Riverside.

Sin excepción, todo el ciclo vital de la especie se desarrolló con presencia de hojas verdes en las probetas de cría. Estas hojas, de *Citrus*, *Pittosporum* y *Prunus*, tenían varias funciones: Sustrato para la oviposición y el tejido del capullo, fuente de alimento para las presas y regulación de la humedad. Esta última propiedad, en un ambiente limitado como es una pequeña probeta, no debe subestimarse. En efecto, parece bastante improbable que la humedad relativa de 50-60% existente en el criadero, indicada por Fleschner y Ricker (1953) y por Badgley *et al.* (1955), fuese suficiente para las necesidades de los coniopterígididos criados (según nuestros datos, la humedad no puede ser inferior al 70-75%). De todos modos, las hojas se deben sustituir constantemente y esto supone una gran carga de trabajo adicional.

Existen algunas características de las especies investigadas sobre las cuales todos los autores concuerdan. En primer lugar, los adultos necesitan una dieta mixta de presas y sustancias azucaradas. Es más, como ya se ha dicho, la carencia de estas últimas causa una mortalidad bastante más elevada que la falta de presas. En segundo lugar, los ácaros no parecen ser una presa ideal para las larvas. Es un dato extremadamente curioso, puesto que estos artrópodos son una de sus principales fuentes de alimentación en la naturaleza.

Algunas pruebas preliminares dejan abierta la posibilidad de utilizar dietas artificiales para la nutrición de los adultos (Castellari 1980) y suministrar a las larvas presas de sustitución, como los huevos de *Phthorimea operculella* empleados por Fleschner y Ricker (1953). Los apareamientos, si bien no se han observado con frecuencia por ser nocturnos, se realizan fácilmente en los tubos de cría.

### **Presencia en los cultivos agrícolas y forestales**

No hay plantación de árboles frutales donde no habiten coniopterígididos. Sin hacer una recopilación exhaustiva, se pueden citar indicaciones sobre manzanos (Yigit y Uygun 1982), perales (Sziraki 1979, Moussion 1982, Curkovic *et al.* 1995, Marzocchi y Pantaleoni 1995), melocotoneros (Sziraki 1979, Castellari 1980), albaricoqueros (Sziraki 1979), viñedos (Schwartz 1993, Pantaleoni y Alma 2001), olivos (Neuenschwander 1982, Pantaleoni *et al.* 2001), nogales (Patanita *et al.* 2006), pecaneros (Edelson y Estes 1987, Dinkins *et al.* 1994), plantas del té (Zhao y Hou 1993), de fresas (García-Marí y González-Zamora 1999) y sobre todo, cítricos. En lo que respecta a este último cultivo, encontramos abundantes indicaciones de los coniopterígididos como depredadores de ácaros y aleiródidos (sólo a título de ejemplo: Tomasevic y Mijuskovic 1974,

Schwartz 1976, Panis *et al.* 1977, Agekyan 1978, Ripollés y Meliá 1980, Stange 1981, García-Marí y del Rivero 1981, García-Marí *et al.* 1983, Izhevskii y Orlinskii 1985, Longo *et al.* 1985, 1990, Nikolaishvili y Mekvabishvili 1990, Soler *et al.* 2002, Izquierdo *et al.* 2002, Martins *et al.* 2002, Alvis *et al.* 2003, Abad *et al.* 2006).

También en el ámbito forestal los coniopterígididos tienen una presencia masiva y han sido señalados por un número tan grande de autores y para tal cantidad de situaciones que es imposible hacer una lista incluso parcial. Sin embargo, cabe citar el caso de *Aleuropteryx juniperi*, especie que como se ha mencionado, está estrechamente ligada a las cupresáceas y ha sido introducido involuntariamente, con el comercio de ciertas variedades ornamentales de enebro en Inglaterra y América del Norte (Ward 1970, Steinhauer 1975, Henry 1976, Stimmel 1979, Wheeler 1981).

### **Problemas y perspectivas**

Si bien los coniopterígididos son un grupo de entomófagos extremadamente abundante y disperso, nuestros conocimientos sobre ellos no son lo suficientemente profundos. Pese a ello, las perspectivas para su aplicación práctica en el control biológico son buenas, si no óptimas. No se ven dificultades insolubles para la cría, aunque será necesario adaptar los métodos actuales a sistemas de producción masiva. Las dietas, las condiciones ambientales y la manipulación del material necesitan grandes mejoras.

Los ciclos biológicos rápidos y el tamaño reducido los hacen adecuados para cualquier tipo de liberaciones, incluso inundativas. Su oofagia aún no ha sido adecuadamente estudiada, pero podría ser un factor decisivo contra algunos insectos plaga como los aleuródidos. Probablemente podrían utilizarse también en los invernaderos, en plantas hospederas no habituales en la naturaleza, como las solanáceas. En los cultivos arbóreos se podrían realizar introducciones de tipo inoculativo y sobre todo, de protección.

Un problema, en cambio, podría derivarse de sus parasitoides, que atacan sobre todo a las prepupas encerradas en el capullo. Muchos autores han encontrado altos porcentajes de ataque, capaces de reducir marcadamente la población de algunos coniopterígididos (Withycombe 1924, Viggiani 1967, Castellari 1980, Sinacori *et al.* 1992). Por último, el número de especies que podrían criarse permite pensar en usos especializados, según el cultivo que se desee proteger y el fitófago que se deba combatir.



## LITERATURA CITADA

- Abad R., Castañera P., Urbaneja A. 2006. Natural enemies of the spider mites, *Tetranychus urticae* Koch and *Panonychus citri* (McGregor) (Acari: Tetranychidae) in Spanish citrus orchards. Bulletin OILB/SROP 29: 179.
- Acker T. S. 1966. Courtship and mating behavior in *Agulla* species (Neuroptera: Raphidiidae). Annals of the Entomological Society of America 59: 1-6.
- Agekyan N. G. 1978. [A little known predator *Semidalis aleyrodiformis* Stephens (Neuroptera, Coniopterygidae) in Adzharia.] Entomologicheskoe Obozrenie 57: 509-512.
- Alvis L., Villalba M., Marzal C., Garcia-Marí F. 2003. Identification and abundance of Neuropteran species associated with citrus orchards in Valencia, Spain. Bulletin OILB/SROP 26: 185-190.
- Aspöck H. 1991. Grundlagen des möglichen Einsatzes von Raphidiopteren in der Biologischen Schädlingsbekämpfung. In: XII Internationales Symposium über Entomofaunistik Mitteleuropa Verhandlungen, Kiev, 25-30 September 1988, 26-33.
- Aspöck H. 1998. Distribution and biogeography of the order Raphidioptera: updated facts and a new hypothesis. Acta Zoologica Fennica 209: 33-44.
- Aspöck H. 2000. Der endkreidezeitliche Impakt und das Überleben der Raphidiopteren. Entomologica Basiliensia 22: 223-233.
- Aspöck H. 2002. Kamelhalsfliegen - lebende Fossilien: eine der Endkreide-Katastrophe entkommene Tiergruppe. Verhandlungen Westdeutscher Entomologentag 14: 1-6.
- Aspöck H., Aspöck U., Rausch H. 1991. Die Raphidiopteren der Erde. Eine monographische Darstellung der Systematik, Taxonomie, Biologie, Ökologie und Chorologie der rezenten Raphidiopteren der Erde, mit einer zusammenfassenden Übersicht der fossilen Raphidiopteren (Insecta: Neuropteroidea). Goecke & Evers: Krefeld. 2 Vols. 730 & 550 pp.
- Aspöck H., Rausch H., Aspöck U. 1974. Untersuchungen über die Ökologie der Raphidiopteren Mitteleuropas (Insecta, Neuropteroidea). Zeitschrift für Angewandte Entomologie 76: 1-30.
- Aspöck U., Aspöck H., Rausch H. 1994. Die Kopulation der Raphidiopteren: eine zusammenfassende Übersicht des gegenwärtigen Wissensstandes (Insecta: Neuropteroidea). Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für Allgemeine und Angewandte Entomologie 9: 393-402.
- Badgley M. E., Fleschner C. A., Hall J. C. 1955. The biology of *Spilocoelis picticornis* Banks (Neuroptera: Coniopterygidae). Psyche 62: 75-81.
- Baldur W. V. 1939. The bionomics of entomophagous Insects. Vol. 2. John S. Swift Co., Chicago. 384 p.
- Boldyrev M. I., Dobroserdov S. G. 1981. [The raphidiid - an active predator of insects.] Zashchita Rastenii 1981: 29.
- Bolu H., Ozgen I., Cinar M. 2005. Dominancy of insect families and species recorded in almond orchards of Turkey. Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica 40: 145-157.
- Castellari P. L. 1980. Indagini biologiche su *Coniopteryx (Metaconiopteryx) esbenpeterseni* Tjeder (Neur. Coniopterygidae), predatore di Acari Tetranychidi sul Pesco. Bollettino dell'Istituto di Entomologia dell'Università di Bologna 35: 157-180.
- Chang G. C., Kareiva P. 1999. The case for indigenous generalists in biological control. In: Hawkins B. A., Cornell H. V., eds. Theoretical Approaches to Biological Control. Cambridge University Press: 103-115.
- Clausen C. P. 1940. Entomophagous Insects. McGraw-Hill Book Co., New York. x + 688 pp.
- Collyer E. 1951. The separation of *Conwentzia pineticola* End. from *Conwentzia psociformis* (Curt.), and notes on their biology. Bulletin of Entomological Research 42: 555-564.

- Costa A. 1857. Degl'Insetti che attaccano l'albero ed il frutto dell'olivo del ciliegio del pero del melo del castagno e della vite e le semenze del pisello della lenticchia della fava e del grano loro descrizione e biologia danni che arrecano e mezzi per distruggerli. Opera coronata dalla Reale Accademia delle Scienze di Napoli. Stamperia e Calcografia vico Freddo Pignasecca, 15, 16. Napoli. 197 pp., 10 pl.
- Curkovic S. T., Barria P. G., Gonzalez R. R. 1995. Observaciones preliminares sobre insectos y acaros presentes en vides, perales, ciruelos y kakis detectados con trampas de agregacion. *Acta Entomologica Chilena* 19: 143-154.
- De Marzo L., Pantaleoni R. A. 1998. Due coniopterigidi predatori di cocciniglie del cipresso. *Informatore Fitopatologico* 48(9): 11-14.
- Dinkins R. L., Tedders W. L., Reid W. 1994. Predaceous neuropterans in Georgia and Kansas pecan trees. *Journal of Entomological Science* 29: 165-175.
- Doom D. 1981. Over ontwikkeling, schade, voedselplanten en natuurlijke vijanden van de denneschorswants, *Aradus cinnamomeus*. *Nederlands Bosbouw Tijdschrift* 53: 117-125.
- Edelson J. V., Estes P. M. 1987. Seasonal abundance and distribution of predators and parasites associated with *Monelliopsis pecanis* Bissell and *Monellia caryella* (Fitch) (Homoptera: Aphidae). *Journal of Entomological Science* 22: 336-347.
- Eglin W. 1939. Zur Biologie und Morphologie der Raphidien und Myrmeleoniden (Neuropteroidea) von Basel und Umgebung. *Verhandlungen der Naturforschende Gesellschaft in Basel* 50: 163-220.
- Eglin W. 1940. Die Neuropteren der Umgebung von Basel. *Revue Suisse de Zoologie* 47: 243-358.
- Fleschner C. A., Ricker D. W. 1953. Food habits of Coniopterygids on citrus in Southern California. *Journal of Economic Entomology* 46: 458-461.
- García-Mari F., del Rivero J. M. 1981. El ácaro rojo *Panonychus citri* (McGregor), nueva plaga de los cítricos en España. *Boletín del Servicio de Defensa contra Plagas e Inspección Fitopatológica* 7(1-2): 65-77.
- García-Mari F., González-Zamora J. E. 1999. Biological control of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) with naturally occurring predators in strawberry plantings in Valencia, Spain. *Experimental and Applied Acarology* 23(6): 487-495.
- García-Mari F., Santaballa E., Ferragut F., Marzal C., Colomer P., Costa J. 1983. El ácaro rojo *Panonychus citri* (McGregor): Incidencia en la problemática fitosanitaria de nuestros agrios. *Boletín del Servicio de Defensa contra Plagas e Inspección Fitopatológica* 9: 191-218.
- Goeden R. D., Ricker D. W. 1977. Establishment of *Rhinocyllus conicus* on milk thistle in southern California. *Weed Science* 25(3): 288-292.
- Grimaldi D. A., Engel M. S. 2005. *Evolution of the insects*. Cambridge University Press. xv+755 pp.
- Hennig H. 1987. Zur Ökologie des Getreidewicklers *Cnephasia pumicana* Zeller (Lepidoptera: Tortricidae). *Pflanzenschutzberichte* 48: 52-60.
- Henry T. J. 1976. *Aleuropteryx juniperi*: a European scale predator established in North America (Neuroptera: Coniopterygidae). *Proceedings of the Entomological Society of Washington* 78: 195-201.
- Izhevskii S. S., Orlinskii A. D. 1985. [Biological suppression of the citrus whitefly.] *Zashchita Rastenii* 4: 30-31.
- Izquierdo J., Mansanet V., Sanz J. V., Puiggros J. M. 2002. Development of EnvidorReg. for the control of spider mites in Spanish citrus production. *Pflanzenschutz Nachrichten Bayer* 55: 255-266.
- Johnson V., Morrison W. P. 1979. Mating behavior of three species of Coniopterygidae (Neuroptera). *Psyche* 86: 395-398.

- Kästner A. 1934. Zur Lebensweise der Kamelhalsfliegen (Raphidiina). Zoologischer Anzeiger 108: 1-11.
- Kovarik P. W., Burke H. R., Agnew C. W. 1991. Development and behavior of a snakefly, *Raphidia bicolor* Albarde (Neuroptera: Raphidiidae). Southwestern Entomologist 16: 353-364.
- Krotova I. G. 1990. [On the study of lacewings (Neuroptera) - entomophages of cereal aphids in the Priob forest-steppe.] Sibirskii Vestnik Sel'skokhozyaistvennoi Nauki 1990: 15-17.
- Liu ZL., Wang HK. 1985. [Preliminary research on the technique of controlling *Petrova perangustana*.] Forest Science and Technology Linye Keji Tongxun 1: 24-26.
- Longo S., Rapisarda C., Russo A. 1985. Risultati del controllo biologico dell'*Aleurothrixus floccosus* (Maskell) in agrumeti della Sicilia orientale. Atti XIV Congresso Nazionale Italiano di Entomologia, Palermo - Erice - Bagheria, 28 maggio-1 giugno 1985, 841-848.
- Longo S., Rapisarda C., Russo A., Siscaro G. 1990. Rilievi bio-etologici preliminari su *Parabemisia myricae* (Kuwana) e sui suoi entomofagi in Sicilia e Calabria. Bollettino di Zoologia Agraria e di Bachicoltura 22(2): 161-171.
- Martins F. M., Mendonça T. R., Lavadinho A. M. P., Vieira M. M. 2002. Entomofauna num pomar de limoeiros, no Escaroupim (Ribatejo), em Portugal. Boletín de Sanidad Vegetal, Plagas 28: 435-443.
- Marzocchi L., Pantaleoni R. A. 1995. Indagine sui principali entomofagi predatori (Insecta Heteroptera, Neuroptera et Coleoptera) in pereti della Pianura Padana. Bollettino dell'Istituto di Entomologia «G. Grandi» della Università degli Studi di Bologna 49: 21-40.
- McEwen P. K., New T. R., Whittington A. E. (eds.) 2001. Lacewings in the crop environment. Cambridge University Press. 546 p.
- Meinander M. 1972. A revision of the family Coniopterygidae (Planipennia). Acta Zoologica Fennica 136: 1-357.
- Meinander M. 1990. The Coniopterygidae (Neuroptera, Planipennia). A check-list of the species of the world, descriptions of new species and other new data. Acta Zoologica Fennica 189: 1-95.
- Monserrat V. J., Oswald J. D., Tauber C. A., Díaz-Aranda L. M. 2001. Recognition of larval Neuroptera. In: McEwen P. K., New T. R., Whittington A. E., eds. Lacewings in the crop environment. Cambridge University Press: 43-81.
- Moussion G. 1982. Le phylloxera du poirier. Phytoma 341: 23-25.
- Muma M. H. 1967. Biological notes on *Coniopteryx vicina* (Neuroptera: Coniopterygidae). Florida Entomologist 50: 285-293.
- Neuenschwander P. 1982. Beneficial insects caught by yellow traps used in mass-trapping of the olive fly, *Dacus oleae*. Entomologia Experimentalis et Applicata 32: 286-296.
- New T. R. 1999. Neuroptera and biological control (Neuropterida). Stapfia 60: 147-166.
- New T. R. 2001. Introduction to the systematics and distribution of Coniopterygidae, Hemerobiidae, and Chrysopidae used in pest management. In: McEwen P. K., New T. R., Whittington A. E., eds. Lacewings in the crop environment. Cambridge University Press: 6-28.
- Nikolaishvili A. A., Mekvabishvili S. S. 1990. [Entomophages of pests occurring on lemon trees and their effectiveness in the greenhouse.] Subtropicheskie Kul'tury 6: 102-110
- Ozkan A., Ciftci K., Alp I. 1984. Antalya ili elma agaclarinda zarar yapan elma govde kurdu (*Synanthedon myopaeformis* Borkh. Lep.: Aegeriidae)'nun populasyon yogunlugu ve dogal dusmanlarinin tespiti uzerinde arastirmalar. Bitki Koruma Bulteni 24: 213-220.
- Panis A., Carrero J. M., Limon F. 1977. Nota biologica sobre la entomofauna de los citricos en Espana. Anales del Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Serie: Protección Vegetal 7: 139-143.

- Pantaleoni R. A. 1990. Un nuovo ausiliario nel vigneto: *Parainocellia bicolor* (Costa). *Informatore Fitopatologico* 40(4): 39-43.
- Pantaleoni R. A. 1996. Distribuzione spaziale di alcuni Neurotteri Planipenni su piante arboree. *Bollettino dell'Istituto di Entomologia "Guido Grandi" dell'Università di Bologna* 50: 133-141.
- Pantaleoni R. A., Alma A. 2001. Lacewings in Piedmont Vineyards. *In: McEwen P. K., New T. R., Whittington A. E., eds. Lacewings in the crop environment. Cambridge University Press: 471-480.*
- Pantaleoni R. A., Lentini A., Delrio G. 2001. Lacewings in Northern Sardinian olive groves. *In: McEwen P. K., New T. R., Whittington A. E., eds. Lacewings in the crop environment. Cambridge University Press: 435-446.*
- Patanita M. I., Martins F., Osuna E. V. 2006. Contribución al conocimiento de la entomofauna beneficiosa del nogal. *Boletín de Sanidad Vegetal, Plagas* 32: 29-35.
- Pishchik A. A. 1979. [The effect of the common *Raphidia* on pest numbers.] *Lesnoe Khozyaistvo* 2: 71-74.
- Ripollés J. L., Meliá A. 1980. Primeras observaciones sobre la proliferación de *Conwentzia psociformis* (Curt.) (Neuroptera, Coniopterygidae), en los cítricos de Castellón de la Plana. *Boletín del Servicio de Defensa contra Plagas e Inspección Fitopatológica* 6: 61-66.
- Ros J. P., Moner P., Roig V., Castillo E., Lorite P., 1988. Eficacia del hidrolizado de proteína en las pulverizaciones-cebo contra *Ceratitis capitata* Wied. *Boletín de Sanidad Vegetal, Plagas* 14: 5-9.
- Schwartz A. 1976. Die rol van predatore by die beheer van sitrusrooimyt in die Laeveld. *Citrus and Subtropical Fruit Journal* 509: 17-19.
- Schwartz A. 1993. Occurrence of natural enemies of phytophagous mites on grapevine leaves following application of fungicides for disease control. *South African Journal for Entology and Viticulture* 14: 16-17.
- Schimitschek E. 1931. Der achzähnlige Lärchenborkenkäfer *Ips cembrae* Heer. Zur Kenntnis seiner Biologie und Ökologie sowie seines Lebensvereines. *Zeitschrift für Angewandte Entomologie* 17: 255-310.
- Seitner M. 1924. Beobachtungen und Erfahrungen aus dem Auftreten des achtzähnligen Fichtenborkenkäfers *Ips typographus* L. in Oberösterreich und Steiermark in den Jahren 1921 bis einschliesslich 1923. *Centralblatt für das gesamte Forstwesen* 50: 2-23.
- Shen FJ. 2001. [Experiment on the control of *Petrova perangustana*.] *Forest Pest and Disease* 20: 24-25.
- Sinacori A., Mineo G., Lo Verde G. 1992. Osservazioni su *Aphanogmus steinitzi* Priesner (Hym., Ceraphronidae) parassitoide di *Conwentzia psociformis* (Curtis) (Neur., Coniopterygidae). *Phytophaga Palermo* 4: 29-48.
- Soler J. M., García-Marí F., Alonso D. 2002. Evolución estacional de la entomofauna auxiliar en cítricos. *Boletín de Sanidad Vegetal, Plagas* 28: 133-149.
- Stange L. A. 1981. The dustywings of Florida. Part I. Genera. (Neuroptera: Coniopterygidae). *Entomology Circular, Division of Plant Industry, Florida Department of Agriculture and Consumer Services* 233: 1-2
- Steinhauer J. R. 1975. Arthropod pests on Juniper. *Journal of Arboriculture* 1: 205-207.
- Stelzl M. 1991. Untersuchungen zu Nahrungsspektren mitteleuropäischer Neuropteren-Imagines (Neuropteroidea, Insecta). Mit einer Diskussion über deren Nutzlichkeit als Opponenten von Pflanzenschadlingen. *Journal of Applied Entomology* 111: 469-477.

- Stimmel J. F. 1979. Seasonal history and distribution of *Carulaspis minima* (Targ.-Tozz.) in Pennsylvania (Homoptera: Diaspididae). *Proceedings of the Entomological Society of Washington* 81: 222-229.
- Symondson W. O. C., Sunderland K. D., Greenstone M. H. 2002. Can Generalist Predators be Effective Biocontrol Agents? *Annual Review of Entomology* 47: 561-594.
- Sziraki G. 1979. Notes on Hungarian species of Coniopterygidae from different orchards. *Folia Entomologica Hungarica* 32: 181-184.
- Tilden J. W. 1951. A note on the manner of feeding of *Agulla adnixa* Hagen (Raphidioidea: Raphidiidae). *Pan-Pacific Entomologist* 27: 192.
- Tillyard R. J. 1918. Studies in Australian Neuroptera. No. 7. The life-history of *Psychopsis elegans* (Guérin). *Proceedings of the Linnean Society of New South Wales* 43: 787-818.
- Tomasevic B., Mijuskovic M. 1974. Uloga predatora i bolesti u redukciji prenamnozenih populacija *Panonychus citri* McGregor (Acarina, Tetranychidae) na agrumima jugoslovenskog primorja. *Arhiv'za Poljoprivredne Nauke* 27: 75-88.
- Triggiani O. 1973. Contributo alla conoscenza dell'azione svolta dai nemici naturali degli afidi del mandorlo (*Amygdalus communis*) in agro di Bari. *Entomologica* 9: 119-135.
- Viggiani D. G. 1967. Ricerche sugli Hymenoptera Chalcidoidea. XIII. Sugli entomoparassiti della *Semidalis aleurodifformis* Steph. (Neur. Coniopterygidae), con descrizione di un nuovo genere di Encyrtidae. *Bollettino del Laboratorio di Entomologia Agraria "Filippo Silvestri" di Portici* 25: 163-175.
- Voolma K. 1986. [Entomophages of *Dendroctonus micans* in Estonia.] *Metsanduslikud Uurimused, Estonian SSR* 21: 89-97.
- Ward L. K. 1970. *Aleuropteryx juniperi* Ohm (Neur. Coniopterygidae) new to Britain feeding on *Carulaspis juniperi* Bouche (Hem. Diaspididae). *Entomologist's Monthly Magazine* 106: 74-78.
- Wheeler A. G. Jr. 1981. Updated distribution of *Aleuropteryx juniperi* (Neuroptera: Coniopterygidae) a predator of scale insects on ornamental juniper. *Proceedings of the Entomological Society of Washington* 83: 173.
- Wichmann H. E. 1957. Untersuchungen an *Ips typographus* L. und seiner Umwelt. Die Kamelhalsfliegen. *Zeitschrift für Angewandte Entomologie* 40: 433-440.
- Withycombe C. L. 1922. Notes on the biology of some British Neuroptera (Planipennia). *Transactions of the [Royal] Entomological Society of London* 70: 501-594.
- Withycombe C. L. 1924. Note on the economic value of the Neuroptera, with special reference to the Coniopterygidae. *Annals of Applied Biology* 11: 112-125.
- Woglum R. S., McGregor E. A. 1958. Observations on the life history and morphology of *Agulla bractea* Carpenter (Neuroptera: Raphidioidea: Raphidiidae). *Annals of the Entomological Society of America* 51: 129-141.
- Woglum R. S., McGregor E. A. 1959. Observations on the life history and morphology of *Agulla astuta* (Banks) (Neuroptera: Raphidioidea: Raphidiidae). *Annals of the Entomological Society of America* 52: 489-502.
- Yigit A., Uygun N. 1982. Investigations on the population dynamics of hawthorn mite, *Tetranychus viennensis* Zacher (Acarina: Tetranychidae) and its predators in apple orchards. *Cukurova Universitesi Ziraat Fakultesi Yilligi* 13: 64-69.
- Zabel J. 1941. Die Kamelhals-Fliege. Beiträge zur Biologie der *Raphidia ophiopsis*. *Natur und Volk* 71: 187-195.
- Zhao YF., Hou JW. 1993. [Investigation and feeding of natural enemies of *Acaphylla theae* Watt.] *Journal of Tea* 19: 35-37.

**Hongos Entomopatógenos**

***R. Alatorre-Rosas***

Colegio de Postgraduados, Instituto de Fitosanidad  
Km 36 Carr. México-Texcoco, Montecillo, Edo. de México 56230, México  
alatoros@colpos.mx

---

---

**CONTENIDO**

<i>Introducción</i> .....	128
<i>Infeción</i> .....	129
<i>Toxinas</i> .....	130
<i>Selección</i> .....	131
<i>Interacción Huésped-Patógeno-Medio Ambiente</i> .....	132
<i>Micoinsecticidas</i> .....	134
<i>Estrategias de Manejo</i> .....	136
<i>Aplicación</i> .....	138
<i>Formulación</i> .....	139
<i>Literatura Citada</i> .....	141

Alatorre-Rosas, R. 2007. Hongos entomopatógenos, pp. 127-143. *En*: L. A. Rodríguez-del-Bosque y H. C. Arredondo-Bernal (eds.), Teoría y Aplicación del Control Biológico. Sociedad Mexicana de Control Biológico, México. 303 p.

## INTRODUCCIÓN

La protección de los cultivos contra plagas de insectos aún es dominada por los plaguicidas químicos. Las ventas de insecticidas a escala mundial en 1995 alcanzaron \$8.75 billones de dólares, de los cuales únicamente el 1.5-2% correspondieron a biopesticidas. Los micoinsecticidas (productos formulados con hongos entomopatógenos) constituyen una pequeña fracción de los biopesticidas (Charnley 1997). Sin embargo, el incremento en el costo de producción de los pesticidas químicos, la resistencia desarrollada por las plagas y la presión que existe por reducir la contaminación en el ambiente han asegurado el creciente interés en estrategias alternativas para el manejo de plagas incluyendo los hongos entomopatógenos (Rodgers 1993, Thomas 1997, Butt *et al.* 2001).

Las micosis (enfermedades causadas por los hongos) son comunes y ampliamente distribuidas en poblaciones de insectos plaga, pueden regular o causar una alta mortalidad en poblaciones de los insectos huéspedes, mediante epizootias espectaculares. Esto ilustra el potencial que los hongos tienen y estimula el desarrollo de diversos trabajos de investigación con fines de explotarlos como micoinsecticidas. Existen más de 700 especies de hongos entomopatógenos en aproximadamente 100 géneros que se presentan con una distribución mundial, sin embargo solamente unos pocos son estudiados en forma intensiva (Roberts y Humber 1981, Roberts 1989, Roberts *et al.* 1991). Los hongos se encuentran asociados con insectos que viven en diversos hábitats, como el agua, suelo y partes aéreas (Carruthers y Hural 1990); por su particular manera de infección, los hongos son los principales microorganismos que infectan insectos chupadores como áfidos, mosquita blanca, escamas, chicharritas y chinches.

Los hongos constituyen un grupo diverso de microorganismos, son heterotróficos, eucariontes, unicelulares o hifales y se reproducen sexual o asexualmente. El reino Mycota se encuentra dividido en cuatro divisiones: Chytridiomycota, Zygomycota, Ascomycota y Basidiomycota (Hawksworth *et al.* 1995, Alexopoulos *et al.* 1999). Los Deuteromycota (Hyphomycetes) y sus subclases, que incluyen un gran número de organismos entomopatógenos caracterizados por formas miceliales que llevan esporas asexuales o conidia, que nacen en células conidiogenas especializadas, libres o en estroma miceliar (conidioforos, sinemas, esporodoquios, acervulos), no son considerados por la mayoría de los micólogos como grupo taxonómico y generalmente son considerados como hongos mitosporicos. Algunos de estos han sido relacionados con miembros de los Ascomycota con base en la homología del DNA (18S DNA ribosomal). Cuando un hongo mitosporico ha sido relacionado con un estado sexual, éste es denominado estado anamorfo. De acuerdo con el Código Internacional de Nomenclatura, el hongo anamórfico será denominado con el

nombre reconocido para la fase sexual o teleomórfica. En algunos hyphomycetos se ha demostrado la presencia de la fase teleomorfa dentro de los Clavicipitales, como es el caso de *Cordyceps*. De acuerdo con esto, los Deuteromycota son clasificados como Ascomycota anamórficos. Es conveniente señalar que los ciclos de vida de muchos hongos son conocidos pobremente, que la conexión entre morfos sexuales y asexuales aún requiere ser establecida. Entre los géneros más comunes de hongos hifomicetes se encuentran: *Aspergillus*, *Beauveria*, *Culicinomyces*, *Hirsutella*, *Metarhizium*, *Nomuraea*, *Paecilomyces* y *Tolipocladium*, que producen conidia exógenos de naturaleza hidrófoba o hidrófila. Las cubiertas hidrofílicas se distinguen por la presencia de una cubierta mucilagínosa producida durante la maduración de la espora. Dentro de este grupo encontramos a *Conidiobulus*, *Entomophaga*, *Entomophthora*, *Neozygites*, *Aschersonia*, *Verticillium*, *Hirsutella* y *Culicinomyces*. En este capítulo se mencionan algunos de los factores que influyen en la eficacia de los hongos entomopatógenos y se dan ejemplos de algunos éxitos del uso de deuteromicetes y entomoforales en el control de insectos plaga.

## INFECCIÓN

La relación y respuesta del patógeno a su huésped tiende a ser crítica y dicta la secuencia de eventos que culminan en una exitosa infección. La invasión del huésped directamente a través de la cutícula, partes bucales, membranas intersegmentales o a través de los espiráculos, sitios donde existe alta humedad que promueve la germinación de las esporas y permite la penetración de las hifas, constituye el principal aspecto de la patogénesis. Se considera que estos microorganismos patógenos actúan por contacto, ya que las unidades infectivas (esporas) se adhieren a la superficie de la cutícula a través de fuerzas hidrófobas debido a la presencia de proteínas ricas en cisteínas llamadas hidrofobinas (Charnley 1997, Kershaw y Nicholas 1998, Jeffs *et al.* 1999). Una vez en contacto con la cutícula, el hongo germina y produce un tubo que empieza a deslizarse sobre la cutícula buscando puntos que faciliten su penetración (Richelme *et al.* 1998). La penetración es ayudada por la formación de células apresoriales (apresorio) que ejercen presión física sobre el exoesqueleto, además de la producción de enzimas, como proteinazas, quitinazas, lipasas, esterazas que degradan la cutícula (St. Leger 1993, Ferron *et al.* 1991).

La formación de apresorios (hinchamientos en la región apical de los tubos germinativos) dependerá del tipo de substrato o de la especie del hongo y funciona para asegurar la adhesión a la cutícula; la penetración es favorecida por efecto de la presión hidrostática y la formación de clavijas que penetran la cutícula del huésped (St. Leger *et al.* 1989). En el caso de *Metarhizium*, el apresorio utiliza para su formación altas concentraciones de energía en las que se



involucra directamente al AMPc y los iones de  $\text{Ca}^{+2}$  (Wessels 1994, Clarkson *et al.* 1998).

Durante el proceso de invasión, los tubos germinativos obedecen a cambios bioquímicos o procesos adaptativos y diferenciación celular. El hongo atraviesa la epicutícula y forma placas que van invadiendo y destruyendo los diferentes estratos. Una vez dentro del hemocele, la colonización del huésped se realiza por medio de blastosporas (un estado de desarrollo tipo levaduriforme) y micelio (St. Leger *et al.* 1991). El hongo invade la hemolinfa, en cuyo caso la muerte es el resultado de una combinación de daños mecánicos producidos por el crecimiento del hongo, desnutrición (el hongo utiliza azúcares y proteínas presentes en la hemolinfa) y por la acción de metabolitos secundarios o toxinas (Gillespie y Claydon 1989, Roberts 1989, Kershaw *et al.* 1999, Chul Kang *et al.* 1999). Dentro de los Zygomycota, durante el proceso de invasión, se producen cuerpos hifales y protoplastos que carecen de una pared celular, lo que evita ser detectados por los hemocitos del insecto (Glare y Milner 1991, Pell *et al.* 2001); éstos se diseminan en el cuerpo del insecto para obtener nutrientes, lo que ocasiona la muerte del huésped.

En la degradación de la cutícula intervienen enzimas, las que responden de manera diferenciada debido a la mezcla compleja de componentes de la cutícula de los insectos. Algunas de las enzimas degradadoras de la cutícula son proteasas (subtilisina Pr1 A y B), serina proteasa (PR<sub>2</sub>), (Pr<sub>3</sub>), cisteína proteasa (Pr<sub>4</sub>), carboxipeptidasas (MeCPA), metaloendoproteasa y dipeptidilpeptidasa), lipasas, esterazas y las quitinazas (poli N-acetil-b-D- glucosaminidasa) y 1-4-b quitobiosidasas (Bidochka *et al.* 1999, St. Leger *et al.* 1988, Charnley 1989, St. Leger *et al.* 1996a, Joshi y St. Leger 1999).

La Pr1, que se ha utilizado como modelo de estudio para el entendimiento de determinantes de patogenicidad, es una subtilisina que degrada la cutícula de los insectos y es producida por *M. anisopliae*. (St. Leger *et al.* 1996b). Se conocen dos tipos de subtilisinas, la Pr1 A y la Pr1B, las que tienen una semejanza del 54% en cuanto a su secuencia de aminoácidos y de acuerdo a un estudio cariotípico, se demostró que están ubicados en diferentes cromosomas (Bidochka y Kachatourians 1994, Joshi *et al.* 1997). La importancia relativa de estos mecanismos varía con el aislamiento específico o con el insecto huésped.

## TOXINAS

Los hongos sintetizan metabolitos con acción tóxica, identificados a partir de los filtrados del cultivo de hongos o mediante la inyección en lepidópteros y dípteros (Samuels 1988, Vey *et al.* 1991). Algunas toxinas son clasificadas dentro

de los depsipeptidos cíclicos como la beauvericina producida por *Lecanicillium* (*Verticillium*) *lecanii* y *Beauveria bassiana*, además del basianolide que es producido por este último hongo y por *Paecilomyces fumosoroseus*, productos que alteran el transporte de cationes a través de la membrana celular. En *B. bassiana* se ha identificado la oosporeina, de rojo intenso con actividad antimicrobiana que favorece el desarrollo del entomopatógeno. De *Metarhizium anisopliae* se han aislado dos grupos de toxinas, las destruccinas (depsipeptidos cíclicos), de las que se conocen 28 diferentes, y las citocalacinas (tres diferentes), cuya producción esta relacionada con la toxicidad y virulencia diferencial entre aislamientos contra algunos insectos (Khachatourians 1991, Samuels 1998).

Las toxinas provocan alteraciones en varios organelos, paralizan las células o causan un mal funcionamiento del intestino medio, tubos de malpigio, tejido muscular, hemocitos. El efecto inhibitorio sobre los elementos celulares de la hemolinfa, impide la actividad fagocítica de los plasmotocitos y permite la rápida multiplicación del hongo, al reducir la habilidad del insecto para defenderse (Khachatourians 1991, St. Leger 1993, Vilcinskis *et al.* 1997, Samuels 1998). Poco tiempo después de la muerte del huésped y bajo condiciones favorables, las hifas emergen del cadáver, producen células conidiogénicas y ocurre la esporulación sobre la superficie del huésped. Las conidias, unidades de diseminación e infección, son diseminadas por el viento, la lluvia y por el insecto huésped (autodiseminación). Cada insecto infectado constituye un foco de infección para otros individuos de la población.

## SELECCIÓN

Dentro de los hongos entomopatógenos se encuentran especies que presentan un amplio rango de huéspedes dentro de los artrópodos; *B. bassiana* y *M. anisopliae* tienen la capacidad de atacar un gran número de especies de insectos, mientras otras razas son más específicas. *B. bassiana* y *M. anisopliae* se consideran como un ensamble heterogéneo de especies en los que se encuentran diversos genotipos y que probablemente comprenden un complejo de especies. Se ha observado que las especies tienen características diferenciales, se encuentran patotipos o razas que aunque presentan una morfología similar (Mavridou y Typas 1998, Cantone y Vandenberg 1998, Glare y Inwood 1998) tienen diferente rango de huéspedes. La selección de una raza o aislamiento debe tomar en cuenta la especie susceptible así como el estado de desarrollo del huésped. La patogenicidad, una habilidad cualitativa del patógeno para causar enfermedad, es determinada por factores relacionados con el huésped, la fisiología del hongo y el medio ambiente (Shapiro *et al.* 2005).

## INTERACCIÓN HUÉSPED-PATÓGENO-MEDIO AMBIENTE

En la mayoría de los insectos, la principal ruta de infección ocurre por contacto directo con el inóculo. El porcentaje de infección o mortalidad resultante está ampliamente gobernado por el estado susceptible del huésped, el método de aplicación y factores ambientales como la temperatura, humedad, velocidad del viento y estructura de la vegetación. Una segunda ruta de infección, en el caso de los adultos, es por los residuos o deriva de la aspersión que permanece sobre la vegetación. El método de aplicación, formulación y factores ambientales bióticos y abióticos juegan un papel importante sobre la persistencia y distribución espacial de los propágulos del patógeno. Existe la posibilidad de una transmisión horizontal del patógeno producido en individuos infectados por cualquiera de las vías antes mencionadas. La dinámica de esta fase es gobernada por los factores bióticos que relacionan la edad específica del insecto huésped y características de comportamiento del huésped y del patógeno, así como factores abióticos que tienen una particular influencia sobre procesos fisiológicos y bioquímicos involucrados en la interacción.

**Patógeno.** Los microorganismos considerados como agentes de control microbiano cumplen con una serie de atributos que sirven como fundamento para su selección. Estos atributos son: (1) Rango de huéspedes; desde el punto de vista comercial un entomopatógeno con un amplio rango de huéspedes es mejor comparado con uno específico; (2) virulencia (Thomas *et al.* 2004, Shapiro-Ilan *et al.* 2005), capacidad de producir enfermedad en términos de grado o velocidad de daño en el insecto, es una característica esencial para todo microorganismo si se quiere utilizar en estrategias a corto plazo, lo cual le permite tener una capacidad para matar más rápidamente y reducir los daños al cultivo, ya que tendrá la capacidad de reducir la población del insecto plaga por debajo del umbral económico de daño; (3) eficiencia en la transmisión, característica importante cuando se trata de que el entomopatógeno se establezca, persista y colonice el hábitat del insecto plaga; (4) diseminación, característica que permite al entomopatógeno distribuirse en el hábitat del huésped (en los hongos en general es considerada como pasiva y se lleva a cabo a través de la lluvia, el viento o de insectos contaminados, aunque en el orden de los Entomophthorales existen géneros que presentan una diseminación activa, disparan las conidias primarias o secundarias, las cuales caen sobre el cuerpo de los insectos huéspedes o sobre el sustrato; (5) la persistencia de las conidias es baja ya que estas son susceptibles a la radiación, particularmente a los rayos ultravioleta (UV). Sin embargo, pueden persistir en el ambiente ya sea en el cuerpo de los insectos infectados o bien gracias a la presencia de estructuras de resistencia. La mayoría de las especies de los Entomophthorales producen esporas de resistencia esféricas, de pared gruesa que puede ser el estado sexual (oosporas) o asexual (clamidosporas, acigosoras) de estos hongos (Charnley 1997, Glare y Milner 1991). Cuando las condiciones

ambientales son adecuadas las esporas de resistencia germinan e inician el proceso de infección, que favorece la presencia de brotes epizooticos en la población del insecto huésped. Los ascomicetos teleomórficos y anamórficos (deuteromicetos) producen masas de tejido vegetativo endurecido llamadas esclerocios o estroma como en el género *Cordyceps* y *Torubiella* o hifas modificadas llamadas clamidosporas como en *Metarhizium*; (6) los hongos son ambientalmente seguros para otros organismos y para el ecosistema donde son aplicados; y (7) los entomopatógenos son competitivos con otras prácticas de control, de acuerdo a su efectividad, costo de producción y seguridad al ambiente.

**Huésped.** Existen diferencias en la susceptibilidad entre insectos huéspedes y sus estados de desarrollo. Los insecticidas microbianos son más efectivos cuando son aplicados sobre poblaciones de larvas pequeñas, en generaciones discretas y con baja densidad. Cuando los insectos se reproducen rápidamente y en altos números es difícil obtener un nivel aceptable de control. Cuando los insectos son sésiles, como las escamas y ninfas de mosquita blanca, que permanecen expuestos durante su desarrollo, son más susceptibles de ser manejados con los insecticidas microbianos que los insectos móviles o aquellos que parte de su vida permanecen ocultos, por lo que es necesario conocer la biología y distribución de los insectos huéspedes. Si se trata de una plaga indirecta (que no dañan partes comerciales) el control microbiano tiene más éxito. Considerando la extensión del problema, un mercado con amplio potencial es preferido sobre un mercado pequeño.

El comportamiento de los insectos puede influir en el desarrollo de epizootias y puede afectar la diseminación del entomopatógeno. Los insectos infectados con entomoftorales a menudo suben a las partes altas de las plantas, justo antes de morir y quedan fijos a la planta. Estas adaptaciones ayudan a las esporas a diseminarse y estar en contacto con huéspedes potenciales.

**Ambiente.** Los factores ambientales que influyen en la actividad de los hongos entomopatógenos pueden dividirse en abióticos y bióticos. Entre los factores abióticos se encuentra la temperatura, la cual afecta directamente el proceso de desarrollo de la enfermedad, así como el desarrollo del huésped (De Cross y Bidochka 1999); la humedad, factor esencial para la germinación y diseminación de las esporas de la mayoría de los hongos; el viento; lluvias que actúan como agentes importantes de diseminación; la iluminación, principalmente la luz solar constituye el factor más detrimental. El efecto directo de la radiación solar, específicamente los rayos UV, causan alteraciones que pueden reducir la persistencia de los hongos (Ignoffo 1992, English *et al.* 1993).

Los parasitoides y depredadores son organismos que también favorecen la diseminación y complementan la actividad de los microorganismos

entomopatógenos; la planta hospedera juega un papel importante en las relaciones tritróficas (planta-huésped-entomopatógeno), ya que en muchas situaciones producen sustancias con características fungistáticas (antibióticos que afectan a los hongos entomopatógenos). La susceptibilidad de los insectos varía entre instares, por ejemplo los huevecillos de mosca blanca son menos susceptibles a la infección por hifomicetes comparados con las ninfas (Cuadro 1).

## MICOINSECTICIDAS

Actualmente los biopesticidas son productos que pueden integrarse a las estrategias de manejo de insectos plaga, debido a que son seguros desde el punto de vista de protección ambiental, usados en agricultura extensiva, invernaderos, ambientes protegidos y jardines, entre otros. Para que estos biopesticidas puedan ser utilizados ampliamente en la agricultura como una estrategia viable, deben cubrir diferentes expectativas: Ser productos formulados, estandarizados, tener alta persistencia en almacén, alta eficacia, costos comparables a los insecticidas y fáciles de usar. Sin embargo, los micopesticidas formulados con hongos entomopatógenos difieren de los agroquímicos en diversos aspectos; en primer lugar estos están formulados con organismos vivos, por lo que existen problemas de producción, formulación, estabilidad y almacenaje, además su uso como agentes de control puede ser totalmente diferente de los agroquímicos que pretenden reemplazar (Chapple *et al.* 1996). La aplicación de conidias produce una respuesta que es diferente a los insecticidas, ya que todas las dosis parecen matar; por lo que es más conveniente medir el tiempo que tarda en matar que los niveles de dosis letal (Bateman 1994).

La necesidad por alta humedad relativa (HR) para que se inicie la enfermedad siempre ha sido considerada como la principal limitante en el uso de los hongos para el control de insectos. La inclusión de sustancias que retengan humedad en formulaciones acuosas y el uso de formulaciones aceitosas pueden ayudar a vencer los requerimientos de alta humedad ambiental. En HR cercana al 75% se lleva a cabo la infección, sin embargo esto varía dependiendo del aislamiento y el estado de desarrollo del insecto; sin embargo entre 81 y 92% de HR se registra mayor porcentaje de infección (Cuadro 1). El desarrollo de las micosis es afectado por temperaturas extremas (<15°C y >32°C), pero ocasionalmente el hongo sólo retarda su desarrollo o capacidad para esporular (Cuadro 2). Si la HR se mantiene en 70% por un periodo de 14 horas continuas, el micelio se hará evidente sobre los insectos infectados (Ortiz y Alatorre 1996). No obstante, en el caso de que se presenten menos horas de humedad, ocurrirá la infección, pero el micelio y las esporas no se manifestarán sobre el cadáver. Requerimientos de alta HR parecen ser necesarios para la esporulación (Lacey *et al.* 1996), sin embargo en algunos hifomicetos, la infección ocurre en condiciones

de baja humedad (<40%). Estos casos de infección parecen estar relacionados con las condiciones que existen en el micro hábitat del insecto huésped.

**Cuadro 1. Porcentaje de mortalidad de los diferentes estados de desarrollo de la mosquita blanca por *P. fumosoroseus* (P), *B. bassiana* (Bb) y *V. lecanii* (V), a 27.8±1°C y bajo dos diferentes condiciones de humedad relativa (HR).**

65-75 % HR					
Etapa	PG	P2	P3	Bb1	V2
Huevo	0	03	02	0	01
N1	48	66	64	68	78
N2	92	48	45	36	65
N3	90	31	23	30	65
N4	56	24	24	28	30
Adulto	02	02	0	02	01
92 % HR					
Huevo	79	34	27	13	15
N1	90	98	95	86	93
N2	93	98	93	89	95
N3	87	93	95	87	95
N4	81	84	88	75	73
Adulto	05	15	18	08	07

Ortiz-Catón 1999.

**Cuadro 2. Efecto de la temperatura en la esporulación de los hongos entomopatógenos en altas condiciones de humedad relativa (RH).**

HONGO	TEMPERATURA	TIEMPO (días)
<i>Paecilomyces fumosoroseus</i> (P1,P2,P3)*	16.3±1°C	3 a 6
<i>Beauveria bassiana</i>	16.3±1°C	4 a 13
<i>Beauveria bassiana</i> (Bb1,Bb17)*	28.5±1°C	1.2 a 2.5
<i>Lecanicillium lecanii</i> (V3)*	28.5 ±1°C	1.2 a 2.5

\*Cepario del Laboratorio de Patología, Colegio de Postgraduados

La temperatura es el principal factor limitante para los hongos entomopatógenos; sin embargo las limitantes térmicas no sólo son resultado de las condiciones ambientales, sino de la termorregulación del huésped. Los acrídidos, por ejemplo, elevan la temperatura de su cuerpo por selección del hábitat o por agregación en el sol, dicha actividad reduce la incidencia de la

enfermedad de *Entomophaga grylli* (Fres.) Batko (Carruthers *et al.* 1992), *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. (Carruthers *et al.* 1985, English *et al.* 1996) y *Metarhizium anisopliae acridum* (English *et al.* 1996, Fargues *et al.* 1997, 1997a) en chapulines y la langosta voladora y de *Entomophthora muscae* (Cohn) Fres. en moscas caseras (Watson *et al.* 1993, Pell *et al.* 2001); es por ello que es importante comparar los requerimientos térmicos del agente de control microbiano con las condiciones esperadas en el ambiente donde se realizará la aplicación.

## ESTRATEGIAS DE MANEJO

Los enemigos naturales pueden ser empleados bajo tres amplias estrategias, control biológico clásico, aumento y conservación. Existen diversos ejemplos que muestran el desarrollo de estas estrategias (Roberts y Hajek 1992, Burges 1998, Butt *et al.* 2001).

**Control biológico clásico.** En general, el control biológico clásico ha sido exitoso en programas de control de insectos que ha permitido un control a largo plazo, sostenible y económico. Con hongos entomopatógenos existen dos ejemplos de control biológico clásico, en ambos se involucran asociaciones que incluyen entomoforales. Primero *Entomophaga maimaiga* y la palomilla gitana, *Lymantria dispar* en E.U.A., introducido accidentalmente desde Japón (1860's) y establecido a principios de los 1900's usando cadáveres infectados. Desde 1989, *E. maimaiga* se ha ido dispersando a través de los bosques de la región noreste de E.U.A. y ha mantenido a *L. dispar* en bajas poblaciones (Elkinton *et al.* 1991, Hajek *et al.* 1996). Actualmente, *E. maimaiga* esta distribuida en la mayor parte de las áreas infestadas por la palomilla gitana (Pell *et al.* 2001).

El segundo caso, *Zoophthora radicans* y el pulgón manchado de la alfalfa *Theriphis trifolii* (= *maculata*), donde un aislamiento de *Z. radicans* encontrado en Israel fue aplicado en Australia. Este aislamiento fue seleccionado de acuerdo a la similitud climática entre el área de origen del aislamiento y el sitio de aplicación inicial en Australia. La diseminación experimental se llevo a cabo en 1979 mediante tres métodos: (1) Al colocar insectos infectados en el laboratorio, aún vivos sobre plantas de alfalfa; (2) al agregar áfidos infectados y muertos; y (3) a través de cultivos del hongo en cajas Petri en esporulación, sobre plantas de alfalfa infestadas con áfidos vivos. A las cinco semanas de ocurrida la aplicación de *Z. radicans* se observo la infección a 100 m del punto de aplicación. Un umbral de 9 h con más de 90% de humedad relativa es necesario para una transmisión efectiva y diseminación de la infección (Pell *et al.* 2001).

**Aumento (Inundación).** Estrategia a corto plazo. En este caso un gran número de conidias son diseminadas esperando controlar de manera relativamente rápida la población plaga. El hongo es aplicado de manera similar que un insecticida químico. Algunos agentes microbianos no se establecen ni se incrementan (reciclan) en el ambiente para reducir subsecuentes infestaciones de la plaga, es por ello que requieren ser aplicados cada vez que la población sobrepasa el umbral de daño económico. Los hongos Hyphomycetes tienen un alto potencial como agentes de control biológico en forma inundativa, ya que son fáciles de producir masivamente y formular para aplicarse con equipo convencional. Algunos ejemplos en México lo constituyen el uso de *Beauveria bassiana* para el control de la broca del café *Hypothenemus hampei*; la mosquita blanca en el algodón; lepidópteros defoliadores como *Malacosoma* spp. sobre sauce llorón (*Salix* spp.), *Tricholusia ni*, *Plutella xylostella*, *Copitarsia consueta*, *Pieris rapae*, trips (*Trips tabaci*) en hortalizas; *Metarhizium anisopliae anisopliae* para el control del salivazo de la caña de azúcar (*Aneolamia postica*) y diversas plagas rizófagas (*Phyllophaga* spp., *Cyclocephala* spp. y *Anomala* spp.). En varias partes del mundo donde la langosta y los chapulines constituyen plagas devastadoras de cultivos y pastos se está utilizando en forma comercial a *M. anisopliae acridum* (“Green Muscle”) (Milner 2002, Bateman *et al.* 1992). La dosis recomendada es de 25 g esporas/ha, con un costo de US\$5.00/ha. Los principales factores que afectan la eficacia de este producto son la dosis de esporas que es recibida por la langosta y la temperatura del cuerpo de la langosta. La langosta incrementa la temperatura durante el día lo que significa que en días soleados 30°C, la temperatura corporal de la langosta se incrementa arriba de los 37°C, lo que inhibe el desarrollo del hongo (Milner 2002, Pell *et al.* 2001). El tratamiento bajo condiciones de primavera y verano en dosis de 25g/ha la población de langosta mostró una declinación del 90% entre nueve a 14 días. El hongo persiste sobre la vegetación y ocasiona un 50% de infección entre las langostas expuestas, durante una semana. En México, *M. anisopliae acridum* (aislamiento nativo de las Islas Socorro, Colima) se está utilizando a una dosis de  $1 \times 10^{13}$  esporas/ha contra el complejo chapulín de *Sphaenarium purpurascens* y *Melanoplus differentialis* y la langosta *Schistocerca piceifrons piceifrons* (Tamayo 2005).

**Conservación.** Esta estrategia considera la manipulación del medio ambiente (manejo cultural) para favorecer la persistencia, el incremento de microorganismos que ocurren en forma natural o introducidos. La conservación se logra a través de diseño de cultivos en los que la diversificación vegetal es frecuentemente la clave de la regulación.

**Autodiseminación.** En esta estrategia el insecto es atraído a una cámara de inoculación o trampa, donde son contaminados con las conidias del hongo. Las conidias pueden ser diseminadas por estos insectos una vez que dejan la trampa y



antes de que empiece la infección. Estudios de laboratorio y campo han sido realizados por investigadores de Rothamsted en Inglaterra para desarrollar una técnica con el hongo *Zoophthora radicans* contra la palomilla dorso de diamante, *P. xylostella*. Estudios sobre ecología, virulencia, persistencia y transmisión entre huéspedes han dado la pauta para el desarrollo de trampas y evaluaciones en pequeña escala (Pell *et al.* 1993a, 1993b, Furlong *et al.* 1995). El proyecto se ha extendido a diferentes países como Malasia, Australia, México y Cuba.

**Manejo Integrado de Plagas (MIP).** Los micoinsecticidas pueden ser compatibles con otras prácticas de control. Diversos estudios han demostrado que los fungicidas, herbicidas e insecticidas pueden prevenir la germinación y desarrollo del hongo *in vitro*. Sin embargo, el control de plagas con micoinsecticidas no se ve afectado por la aplicación de pesticidas si se deja un periodo de siete días entre las aplicaciones (Anderson y Roberts 1983). A pesar de que los hongos en muchos de los casos pueden constituir una estrategia de manejo por ellos mismos, éstos son considerados como una herramienta en armonía con las diferentes técnicas empleadas en esquemas de manejo integrado (Lacey y Goettel 1995).

## APLICACIÓN

Las condiciones ambientales favorables (alta humedad, temperatura) pueden ocurrir temprano por la mañana o durante la tarde, por lo que se recomienda aplicar durante estos periodos del día. El insecto debe encontrarse en el estado susceptible (los estadios juveniles son los más susceptibles y más fáciles de controlar, por lo que se evitan daños en el cultivo). El método de aplicación depende de la naturaleza del inoculo y del nicho del insecto plaga. Conidias o blastosporas (producidas en fermentación sumergida) de *Beauveria*, *Paecilomyces*, *Lecanicillium* y *Metarhizium*, entre otros, pueden ser suspendidos en líquido o mezclados con polvos y asperjados con equipos convencionales. Las aspersoras hidráulicas de alto volumen, con boquillas de abanico o de cono hueco montadas en tractores con aguilones o aspersoras de mochila son usadas para aplicar las esporas en áreas extensivas. Sin embargo, se han determinado importantes deficiencias en estos métodos de aplicación, relacionadas principalmente a pérdidas debidas a: Deriva; intersección del follaje de otras plantas; pobre retención de la aspersión tendiendo a caer al suelo; pobre o mala distribución de la aspersión (i.e. aplicación sobre el haz de las hojas y pobre cobertura del envés que es donde generalmente se encuentran los insectos. Además la frecuencia y distribución de la gota es difícil de controlar, esto se logra cambiando la boquilla, modificando la presión o agregando adherentes (Chapple *et al.* 1996).

La mayoría de los materiales de contacto como los micoinsecticidas, requieren ser asperjados directamente sobre el área a tratar. Por ejemplo, *Beauveria* aplicado contra la mosquita blanca debe ser colocado en el envés de las hojas donde se encuentran las ninfas. Recientes desarrollos han ayudado en la modificación del equipo existente para incrementar la eficiencia en deposición y obtención de gotas más pequeñas. Esto se ha logrado al considerar la presión y ángulo de pulverización, altura de la barra y clase de boquilla (boquillas que evitan la deriva, trabajan con un amplio rango de presiones que combinan precisión y uniformidad con la resistencia al taponamiento [Ohio State Univ. 1998, Spraying Systems 1998]). Para la mayoría de las aplicaciones, el procedimiento más indicado es ajustar el pulverizador de tal forma que proporcione la mayor parte de las gotas en el rango de 200 a 300 micrones. Las gotas inferiores a 150 micrones tienen una fuerte tendencia a la deriva, mientras las gotas superiores a 500 micrones no proporcionarán una cobertura de pulverización adecuada a los volúmenes prácticos del portador.

## FORMULACIÓN

Diseñar formulaciones agroquímicas para lograr una óptima actividad biológica es relativamente nuevo. Es sorprendente como se puede lograr mayor actividad de un producto con sólo mezclar en el tanque el pesticida con adherentes. La naturaleza de la formulación varía entre compañías, sin embargo cuando hablamos de agentes microbiales producidos a nivel “cottage” estos presentan mayores variaciones ya que no tienen una formulación adecuada, y requieren de una protección contra el efecto de la desecación y la radiación (UV) durante y después de la aplicación. La protección de las conidias se logra mediante la mezcla de adherentes-dispersantes de tipo aceitoso o aquéllos que facilitan que el ingrediente activo quede encapsulado, lo que permite que las gotas finas impacten y persistan sobre los insectos que se desean controlar.

Pruebas realizadas con *P. fumosoroseus* y *B. bassiana* contra la mosquita blanca incluyen aplicaciones basadas en agua-glicerina, mediante aspersoras hidráulicas motorizadas con boquilla TX4, que permite pulverizar la mezcla; esta formulación ha sido utilizada en condiciones de clima caliente húmedo y es efectiva contra los diferentes estados ninfales de *Bemisia tabaci* en frijol y jitomate. En condiciones de ambientes secos con altas temperaturas es recomendable utilizar emulsiones (formulaciones aceitosas). Se ha demostrado que las emulsiones son 40 veces más efectivas que las suspensiones acuosas (Bateman 1992). A pesar de las ventajas que ofrecen estas formulaciones (menor cantidad del portador, 1 a 5 l/ha, mayor eficacia y persistencia que asegura

Cuadro 3. Productos micoinsecticidas en el mercado mundial.			
AGENTE BIOLÓGICO	NOMBRE COMERCIAL	HUÉSPEDES	PAÍS
<i>Beauveria bassiana</i>	MYCOTROL WP Y ES BOTANICAL GARD ES, CORNGARD ES	Hemiptera/Heteroptera/Col eoptera/ Orthoptera/ Lepidoptera	E.U.A.
<i>Beauveria bassiana</i>	OSTRINIL	<i>Ostrinia nubilalis</i>	Francia
<i>Beauveria bassiana</i>	BEA-SIN	Lepidopteros	México-Sinaloa
<i>Beauveria bassiana</i>	AGO BIOCONTROL	Coleoptera/Hemiptera/ Lepidoptera/Diptera	Colombia
<i>Beauveria brongniartii</i>	AGO-BIOCONTROL BEAVERIA 50	Coleoptera/Hemiptera/ Diptera	Colombia
<i>Beauveria bongniartii</i>	ENGERLINGSPILZ	<i>Melolontha melolontha</i>	Suiza
<i>Beauveria y Metarhizium</i>	<i>Beuveria</i> Schweizer <i>Metarhizium</i> Schweizer	Insectos/pastos	Suiza
<i>Lagenidium giganteum</i>	LAGINEX	Mosquitos	E.U.A.
<i>Metarhizium anisopliae</i> <i>acridum</i>	BIOGREEN	<i>Adoryphouse couloni</i>	Australia
<i>Metarhizium anisopliae</i> <i>acridum</i> IMI330189	GREEN MUSCLE	<i>Locusta pardalina</i> y otras langostas y chapulines	Sud-África
<i>Metarhizium anisopliae</i>	FITOSAN	<i>Phyllophaga</i> spp.	México –Guanajuato
<i>Metarhizium anisopliae</i>	SALTGREEN	<i>Aneolamia</i> spp, <i>Prosapia</i>	México –Cordoba
<i>Nomurea rileyi</i>	AGO-BIOCONTROL NOMUREA 50	Lepidoptera	Colombia
<i>Paecilomyces</i> <i>fumosoroseus</i>	AGO-BIOCONTROL PAECILOMYCES 50	Coleoptera/Nematodos	Colombia
<i>Paecilomyces</i> <i>fumosoroseus</i>	PAESIN	Mosquita blanca	México –Sinaloa
<i>Verticillium lecanii</i>	MYCOTAL	Mosquita blanca/trips	Holanda/Suiza
<i>Verticillium lecanii</i>	VERTALEC	Áfidos	Suiza
<i>Verticillium lecanii</i>	APHIN	<i>Brevicorine brasicae</i>	México

infecciones secundarias) requieren de un cambio de tecnología, el uso de equipos de Ultra Bajo Volumen, que aún no se encuentran ampliamente en el mercado.

Los micoinsecticidas se han desarrollado porque no son contaminantes y además tienen un bajo impacto sobre otros insectos no blancos y sobre el ambiente. Estos pueden favorecer la biodiversidad en áreas naturales o semi-naturales, pueden evitar la presión del público en ciertos cultivos que deben cumplir con altos estándares ecológicos y toxicológicos, pueden ser utilizados en sustitución de aplicaciones de insecticidas no satisfactorios, en situaciones donde baja toxicidad a mamíferos es crucial (i.e. plagas de granos almacenados) y como componentes de estrategias de manejo integrado (MIP), donde la preservación de otros enemigos naturales es importante. Investigación realizada con diferentes plagas agrícolas ha permitido el desarrollo de los micoinsecticidas como productos sustentables. Los avances sobre aspectos epizootiológicos, producción masiva, métodos de aplicación, formulación y mecanismos de patogénesis sugieren un futuro prometedor para los hongos entomopatógenos en el control de plagas insectiles.

La mayoría de los hongos entomopatógenos son usados para controlar poblaciones plaga por debajo del umbral económico, aceptando algunos daños en el cultivo. Además, los hongos entomopatógenos tienen un papel importante en el MIP y tienen que ser utilizados en combinación con otras estrategias para lograr un control sostenido de las plagas. En el Cuadro 3 se enlistan los micoinsecticidas que actualmente se comercializan en el mundo.

### LITERATURA CITADA

- Alexopoulos, C.J., C.W. Nims and M. Blackwell. 1999. Introduction Mycology. 4<sup>th</sup> edition, John Wiley & Sons. New York.
- Anderson, T.E. and D.W. Roberts. 1983. Compatibility of *Beauveria bassiana* isolates with insecticide formulations used in Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) control. *J. Econ. Entomol* 76: 1437-1441.
- Bateman, R. 1992. Controlled droplet application of Myco-insecticides: and Environmentally Friendly Way to Control Locust. *Antenna* 16: 6-13.
- Bateman, R. 1994. Performance of micro-insecticides: importance of formulation and controlled droplet application. BCPC Monograph N° 59: Comparing Glasshouse & Field performance II. 275-284.
- Burges, H.D. 1998. Formulation of microbial biopesticides: beneficial microorganisms, nematodes and seed treatments. Kluwer Academic, Dordrecht. The Netherlands.
- Butt Tariq, M., C. Jackson and N. Magan. 2001. Introduction - Fungal Biological Control Agents: Progress, Problems and Potential, pp. 1-8. *In*: T.M. Butt, C. Jackson & N. Magan (eds.), *Fungi as Biocontrol Agents*.
- Cantone, F.A. and J. D. Vandenberg. 1998. Intraspecific diversity in *Paecilomyces fumosoroseus*. *Mycol. Res.* 102(2): 209-215.
- Carruthers, I.R. and Hural K. 1990. Fungi as natural occurring entomopathogens, pp. 115-138. *In*: *New Directions in Biological Control: Alternatives for Suppressing Agricultural Pest and Diseases*. Alan R. Liss, Inc.
- Chapple, A.C., R.A. Downer, T.M. Wolf, R.A. Taylor and F.R. Hall. 1996. The application of biological pesticides: limitations and a practical solution. *Entomopathologia* 41 (3/4): 465-474.
- Charnley, A.K. 1997. Entomopathogenic Fungi and their role in pest control, pp. 185-201. *In* Wicklow/Sodertröm (eds.), *The Mycota IV. Environmental and Microbial Relationships*.
- De Cross, J.N.A. and Michael J. Bidochka. 1999. Effects of low temperature on growth parameters in the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae*. *Can. J. Microbiol.* 45: 1055-1061.
- Elkinton, J.S., A.E. Hajek, G.H. Boettner and Simons E.E. 1991. Distribution and apparent spread of *Entomophaga maimaiga* (Zygomycetes: Entomophthorales) in gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae) populations in North America. *Environ Entomol.* 20: 1601-1605.
- Ferron, P., J. Fargues and G. Riba. 1991. Fungi as Microbial Insecticides. *In*: Arora D.K. Ajillos and L.K.G. Mukerji (eds.), *Handbook of Applied Mycology. Humans, Animals and Insects*. Marcel and Dekker, Inc. New York. Volume 2: 665- 705.
- Furlong, M.J., J.K. Pell, P.C. Ong and A.R. Syed. 1995. Field and laboratory evaluation of a sex pheromone trap for the autodissemination of the fungal entomopathogen *Zoophthora*

- radicans* (Entomophthorales) by the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae). Bull Entomol Res 85: 331–337.
- Jeffs, B.L.L., I.J. Xavier, R.E. Matai and G.G. Khachatourians. 1999. Relationships between fungal spore morphologies and surface properties for entomopathogenic members of the genera *Beauveria*, *Metarhizium*, *Paecilomyces*, *Tolypocladium*, and *Verticillium*. Can. J. Microbiol. 45: 936-948.
- Gillespie, A.T. and N. Claydon. 1989. The use of entomogenous fungi for pest control and the role of toxins in pathogenesis. Pest. Sci. 27: 203-215.
- Glare, T.R. and A.J. Inwood. 1998. Morphological and genetic characterization of *Beauveria* spp. From New Zealand. Mycol. Res. 102(2): 250-256.
- Hajek, A.E., K.M. Tatman, P.H. Wanner and M.M. Wheeler. 1998b. Location and persistence of gypsy moth, *Lymantria dispar*, cadavers containing *Entomophaga maimaiga* azygospores. Mycologia 90: 754-760.
- Hawksworth. D.L., P.M. Kirk, B.C. Sutton and D.N. Pegler. 1995. Ainsworth and Bisby's Dictionary of the Fungi. CAB International, Wallingford, U.K.
- Khachatourians, G.G., 1991. Physiology and Genetics of Entomopathogenic Fungi. In: Arora D.K. Ajillos and L.K.G. Mukerji (eds.), Handbook of Applied Mycology. Humans, Animals and Insects. Marcel and Dekker, Inc. New York. Volume 2: 613-663.
- Kershaw, M.J., E.R. Moorhouse, R. Bateman, S.E. Reynolds and A.K. Charnley. 1999. The role of Dextruxins in the Pathogenicity of *Metarhizium anisopliae* for Three Species of Insects. Journal of Invertebrate Pathology 74: 213-223.
- Kershaw, M.J. and N.J. Talbot. 1998. Hydrophobins and Repellents: Proteins with Fundamental Roles in Fungal Morphogenesis. Fungal Genetics and Biology 23: 18-33.
- Lacey, L. and M.S. Goettel. 1995. Current developments in microbial control of insects pests and prospects for the Early 21<sup>st</sup> Century. Entomophaga 40: 3.
- Mavridou, A. and Milton A. Typas. 1998. Intraspecific polymorphism in *Metarhizium anisopliae* var. *anisopliae* revealed by analysis of RNA gene complex and mtDNA RFLPS. Mycol Res. 102(10): 1233-1241.
- Ohio State University Extension. 1998. Chemical Application Technology. Newsletter vol.1, N°1, January. HTTP://www.ag.ohio-state.edu/-catnews/cat-this.html
- Ortiz-Caton, M. y R. Alatorre-Rosas. 1996 Factores que influyen sobre el impacto de los hongos entomopatogenos en el control de la mosquita blanca, pp. 34-39. En: H.C. Arredondo-Bernal, W.A. Jones & R. Alatorre-Rosas (comp.), Simposio Control Biológico de Mosquita Blanca. XIX Congreso Nacional de Control Biológico. Sociedad Mexicana de Control Biológico. Noviembre de 1996, Culiacán, Sinaloa, México.
- Pell, J.K., J. Eilenberg, A.E. Hajek and D.C. Steinkraus. 2001. Biology, ecology and pest management potential of Entomophthorales, pp 71-153. In: T.M. Butt, C. Jackson and N. Magan (eds.), Fungi as biocontrol agents: progress, problems and potential. CAB. International Wallingford.
- Pell, J.K., E.D.M. Macaulay and N. Wilding. 1993a. A pheromone trap for dispersal of the pathogen, *Zoophthora radicans* Brefeld (Zygomycetes: Entomophthorales) amongst populations of the diamondback moth, *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Yponomeutidae). Biocontrol Sci. Technol. 3: 315–320.
- Pell, J.K., N. Wilding, A.L. Player and S.J. Clark. 1993b. Selection of an isolate of *Zoophthora radicans* (Zygomycetes: Entomophthorales) for biocontrol of the diamondback moth *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae). J Invert Pathol 61: 75–80.
- Riquelme M., C.G. Reynaga-Peña, G. Gires and S. Bartnicki-García. What determines Growth Direction in Fungal Hyphae? Fungal Gen. Biol. 24: 101-109.

- Roberts, D.W. and R.A. Humber. 1981. Entomogenous Fungi. *In*: G. T. Cole & B. Kendrick (eds.), *Biology of conidial fungi*. New York, Academic Press.
- Roberts, D.W. 1989. World picture of biological control of insects by fungi, pp. 89-100. *Memorias del Instituto Oswaldo Cruz*, Rio de Janeiro, Brazil. 84, Supl. III.
- Roberts, D.W., J.R. Fuxa, R. Gaugler, M. Goettel, R. Jaques and J. Maddox. 1991. Use of pathogens in insect control, pp.243-278. *In*: D. Pimentel (ed.), *Handbook of pests management in agriculture*, 2nd. Ed. Vol.2. CRC Press. Boca Raton, Fl.
- Roberts, D.R. and A.E. Hajek. 1992. Entomopathogenic fungi as bioinsecticides, pp 144–159. *In*: G.F. Leatham (ed.), *Frontiers in industrial mycology*. Chapman and Hall, New York.
- Rodgers, P.B. 1993. Potential of biopesticides in agriculture. *Pestic. Sci.* 39: 117-129.
- Samuels, I. R. 1998. Bioactive Compounds produced by entomopathogenic fungi, pp. 211-215. *In*: *Anais VI Siconbiol. Mayo de 1998*. Rio de Janeiro, Brasil.
- Shapiro-Ilan, D.I., J.R. Fuxa, L.A. Lacey, D.W. Onstad and Harry K. Kaya. 2005. Definitions of pathogenicity and virulence in invertebrate pathology. *Journal of Invertebrate Pathology* 88: 1-7.
- St. Leger, R. J., M. Goettel, D.W. Roberts and R.C. Staples. 1991. Pre-penetration events during infection of the host cuticle by *Metarhizium anisopliae*. *J. Inverteb. Path.* 58: 168-179.
- St. Leger, R.J. 1993. Biology and Mechanisms of Insect-Cuticle Invasion by Deuteromycete Fungal Pathogens, pp. 211-229. *In*: *Parasites and Pathogens of Insects. Vol.2:Pathogens*. Academic Pres, Inc.
- Spraying Systems Co. 1998 *Pulverizacion & Solutions*. TeeJet, Spray Products. Boletín N° 421 E. 2p.
- Sun Chul Kang, S. Park and D. Gyu Lee. 1999. Purification and Characterization of a Novel Chitinase from the Entomopathogenic Fungus, *Metarhizium anisopliae*. *Journal of Invertebrate Pathology* 73: 276-281.
- Thomas, M.B., 1997. Fungal Ecology and its application to the practical use of mycoinsecticides. *BCPC Symposium Proceedings N° 68: Microbial*.
- Thomas, S.R. and Joseph S. Elikinton. 2004. Pathogenicity and virulence. *Journal of Invertebrate Pathology* 85: 146-151.
- Thompkins, G.L., J.J. Linduska, J.M. Young and E.M. Dougherty. 1986. Effectiveness of microbial and chemical insecticides for controlling cabbage looper (Lepidoptera: Noctuidae) and imported cabbage worm (Lepidoptera: Pieridae) on collards in Maryland. *J. Econ. Entomol.* 79: 497.
- Vilcinskis, A., V. Matha and P. Gotz. 1997 Inhibition of phagocytic activity of plasmatocytes isolated from *Galleria mellonella* by entomopathogenic fungi and their secondary metabolites. *J. Insect Physiol.* 43: 475-483.

**Uso de Bacterias en el Control Biológico**

*J. E. Ibarra*

CINVESTAV-Campus Guanajuato, Apartado Postal 629, 36500 Irapuato, Gto, México  
jibarra@ciea.ira.cinvestav.mx

---

---

**CONTENIDO**

<i>Perspectiva Histórica</i> .....	145
<i>Bacterias y Enfermedades</i> .....	146
<i>Diversidad de Bacterias Entomopatógenas</i> .....	147
<i>Ejemplos de Bacterias Entomopatógenas</i> .....	148
<i>Literatura Citada</i> .....	156

Ibarra, J. E. 2007. Uso de bacterias en el control biológico, pp. 144-159. *En*: L. A. Rodríguez-del-Bosque y H. C. Arredondo-Bernal (eds.), Teoría y Aplicación del Control Biológico. Sociedad Mexicana de Control Biológico, México. 303 p.

## PERSPECTIVA HISTÓRICA

Si bien la historia de la Patología de Insectos podríamos rastrearla hasta el 2,700 A.C., con la descripción de algunas enfermedades del gusano de seda por la princesa Si-Ling-Shi en China o la descripción de algunas enfermedades de las abejas por Aristóteles hacia 330 A.C., no fue sino hasta el advenimiento, primero del microscopio y luego de la teoría de la infección, cuando se lograron identificar los agentes causales de esas enfermedades. En la actualidad podemos reconocer los patógenos causantes de muchas de estas enfermedades descritas en épocas tan tempranas, sólo por la descripción de los síntomas de la enfermedad. Tal es el caso de la enfermedad causada por baculovirus en el gusano de seda, llamada yondiz (jaundice) o por microsporidios en el mismo insecto, llamada pebrina (pebrine) o la muscardina causada por hongos. Sin embargo, las enfermedades detectadas en esas épocas causadas por bacterias están sujetas a mucha especulación. Un ejemplo de ello es el trabajo de Louis Pasteur y sus estudios sobre las enfermedades infecciosas en el gusano de seda. Una de ellas es fácilmente identificable como pebrina, pero la segunda enfermedad que estudió recibe el nombre genérico de flacheria (flacherie) y describe (y dibuja) una gran cantidad de microorganismos asociados a esta enfermedad, todos ellos con forma de bacterias. Desafortunadamente no es posible identificar a alguna especie en particular.

Ésta es la razón por la que las bacterias entomopatógenas empiezan a estudiarse hasta 1901 con el descubrimiento de *Bacillus thuringiensis* por Shigetane Ishiwata, en Japón, cuando la aisla de los cadáveres del gusano de seda, donde causaba grandes pérdidas en la sericultura (Aizawa 2001). Es paradójico que la primera vez que se aisló *B. thuringiensis* fuera en calidad de agente nocivo, cuando en la actualidad es la bacteria entomopatógena más utilizada como agente de control biológico de plagas. También a principios de siglo XX se estudió otra bacteria entomopatógena que en su época fue ampliamente probada como agente de control biológico. Se trata de la bacteria *Coccobacillus acridiorum*, la cual fue aislada por Félix d'Herelle de chapulines enfermos, dentro de una manga migrante de langosta, en Yucatán, alrededor de 1914 (Lozano 2006). Ésta se probó contra chapulines en México, Centroamérica, Sudamérica, E.U.A. y África, con resultados alentadores al principio, pero inciertos al final. Otro caso importante en la historia sobre el estudio de las bacterias entomopatógenas es el de Sam Dutky, quien aisló en 1940 una cepa bacteriana que causaba la llamada enfermedad lechosa del escarabajo japonés, *Popillia japonica*, a la que denominó *Bacillus popilliae* (Dutky 1940) (ahora *Paenibacillus popilliae*). Si bien existen otras bacterias entomopatógenas importantes, éstas marcaron un hito en la historia del control biológico de plagas.



## BACTERIAS Y ENFERMEDADES

La gran diversidad de las bacterias en hábitats terrestres y acuáticos está directamente relacionada con la capacidad para explotar multitud de nichos y a una gran variedad de interacciones que presentan con otros organismos. Estas interacciones van desde una simple dependencia de nutrientes orgánicos provenientes de organismos en descomposición (saprofitismo) hasta complejas relaciones interespecíficas que involucran procesos coevolutivos interdependientes desarrollados a través de millones de años. En esta categoría se encuentran las interacciones simbióticas entre las bacterias y organismos más evolucionados, como es el caso del mutualismo desarrollado entre algunos nemátodos entomopatógenicos y las bacterias que matan al huésped y le sirven de alimento al nemátodo (Herre *et al.* 1999). Ésto, además de los complejos mecanismos de interdependencia, implica una ventaja para ambos organismos. También, dentro de la categoría de las relaciones simbióticas, se encuentra el parasitismo causado por bacterias hacia otros organismos más complejos. Este parasitismo normalmente ocurre cuando la bacteria ha logrado franquear las barreras de defensa del huésped y se alimenta de los tejidos de éste. A este proceso se le conoce como “infección” y causa un estado de irritación y pérdida de la homeostasis conocida como “enfermedad”. Es por esto que al microorganismo parásito causante de una enfermedad infecciosa se le conozca como “patógeno”, que etimológicamente significa “causante de enfermedad”.

Las enfermedades infecciosas causadas por bacterias, llamadas bacteriosis, se presentan en todos los organismos, desde los más simples hasta los más complejos. De la misma forma en que los vertebrados estamos sujetos a la infección de innumerables bacterias (cólera, tuberculosis, ántrax, tétanos), también los insectos están expuestos a una gran diversidad de infecciones bacterianas. Estas interacciones patológicas pueden ser sencillas y en ocasiones, hasta fortuitas (como la infección de una herida causada por *Serratia marcescens*), hasta complejas interacciones donde existe total dependencia de la bacteria hacia su huésped para poder reproducirse, como la infección acusada por *Paenibacillus larvae* a las abejas (Matheson y Reid 1992).

Al igual que la mayoría de los patógenos de insectos, las bacterias entomopatógenas infectan al insecto por vía oral. Cuando una bacteria logra penetrar el hemocele del insecto, normalmente causa una septicemia, específicamente una bacteremia, al proliferar en la hemolinfa y posteriormente atacan los tejidos del insecto, hasta deshacerlos por completo. Debido a que muchas bacterias (entre ellas las del tracto digestivo del insecto) pueden causar bacteremias letales en la mayoría de los insectos, sólo por el hecho de penetrar al hemocele, es difícil clasificar a las que son estrictamente patógenas de aquellas oportunistas como *S. marcescens*. En estos casos, es importante determinar la

dependencia de la bacteria hacia el huésped, ya que las bacterias patógenas obligadas normalmente no pueden crecer si no es en el ambiente del hospedero y frecuentemente no es factible cultivarlas en medios artificiales, como *P. popilliae* (Dutky 1940).

Por otro lado, existen las bacterias que utilizan toxinas para penetrar o aniquilar más eficientemente al huésped. En estos casos, la bacteria forma una o varias toxinas que intoxican al huésped, ya sea cuando ésta es ingerida, como *Bacillus thuringiensis* y *B. sphaericus*, o al invadir el hemocele. En el último caso, la presencia de toxinas en la hemolinfa del insecto se conoce como toxemia. Independientemente de la forma en que la bacteria penetre al insecto, éste eventualmente muere y de acuerdo a la bacteria entomopatógena, puede ser consumido por bacterias saprófitas propias del intestino del insecto, lo que produce una coloración oscura en el cadáver; o bien exclusivamente por la bacteria entomopatógena, para lo cual comúnmente produce sustancias antibióticas que limitan el crecimiento de otras bacterias como *Photorhabdus luminescens* (Forst y Dowds 1997). Las bacterias que producen toxinas que aniquilan al insecto son las más exitosas en su uso como agentes de control biológico de plagas y su estudio es el más amplio de todas las bacterias entomopatógenas.

## **DIVERSIDAD DE BACTERIAS ENTOMOPATÓGENAS**

Las bacterias son los organismos más simples que existen en la actualidad, e incluyen a grupos que se consideran los representantes de los primeros organismos que se desarrollaron sobre la Tierra, como son los Archaea. En la actualidad, de los tres dominios de organismos reconocidos por la clasificación basada en métodos moleculares, las bacterias representan a dos de ellos. Como en todos los ámbitos de la taxonomía moderna, las bacterias se encuentran en una fase de revisión continua y renovadora, donde los antiguos grupos (desde los reinos hasta las especies) están siendo revisados y modificados por las nuevas técnicas moleculares de clasificación. De ahí que, día a día, aparecen en la literatura científica nuevas especies e incluso nuevas categorías taxonómicas que eventualmente transformarán la forma en que tradicionalmente se clasificaba a las bacterias (Oren 2004).

A pesar de la gran diversidad bacteriana, las bacterias que causan enfermedades infecciosas a los insectos presentan poca diversidad, si comparamos a este grupo de entomopatógenos con otros como los protozoarios o los hongos. Se conocen aproximadamente 90 especies de bacterias causantes de enfermedades infecciosas en los insectos, de las cuales sólo algunas pocas tienen un alto potencial como agentes de control biológico (Cloutier y Cloutier 1992). A

pesar de su baja diversidad, las bacterias son los agentes de control biológico más utilizados en el mundo y representan la mayoría del mercado, no sólo de insecticidas microbianos, sino de los agentes de control biológico en general. Este fenómeno se debe principalmente a que el agente microbiano más exitoso en el control de plagas es una bacteria, *B. thuringiensis*.

Aunque existen muchas familias bacterianas que contienen especies entomopatógenas, son sólo unas pocas las que presentan especies altamente virulentas. Desde diversos puntos de vista, la familia más estudiada, más desarrollada y más utilizada como agente de control biológico es la Bacillaceae. Los miembros de la familia Bacillaceae se caracterizan por formar endosporas, son Gram positivos y las células vegetativas presentan forma alargada como de bastón o báculo (de ahí su nombre), entre otras muchas características. Los principales géneros con especies entomopatógenas son *Bacillus*, *Paenibacillus* y *Clostridium* (Cloutier y Cloutier 1992). Estos tres géneros se pueden diferenciar fácilmente porque el segundo es patógeno obligado y el tercero es anaerobio obligado. Muchas especies son móviles por medio de flagelos, a pesar de que pueden formar largas cadenas de células. La esporulación ocurre cuando se agotan los nutrientes del medio donde crecen y se denomina “esporangio” a la célula con espora. En ocasiones, junto a la espora se forma un cuerpo proteico (unido o libre de ésta) al cual se le llama cuerpo parasporal o simplemente cristal. Éstas son las bacterias y en general, los entomopatógenos de mayor importancia en el control microbiano de insectos.

Por otro lado, dentro de las Pseudomonadales, familia Enterobacteriaceae existen dos especies de conocida capacidad entomopatógena: *Serratia marcescens* y *S. entomophila*. A continuación se presenta una reseña de las características y usos más destacados de algunas de las bacterias más importantes en control biológico de plagas.

## EJEMPLOS DE BACTERIAS ENTOMOPATÓGENAS

***Bacillus sphaericus***. Es una bacteria estrictamente aerobia cuya forma es bacilar, aunque presenta un ensanchamiento en el sitio donde se formará la endospora, la cual es completamente esférica (de ahí su nombre). *B. sphaericus* no era considerado patógeno de insectos hasta 1965, cuando se aisló una cepa del mosquito *Culiseta incidens* (Singer 1990). Su capacidad entomopatógena se limita a las larvas de los mosquitos; sin embargo, es hasta ahora que, además de haberse descubierto nuevas cepas altamente tóxicas, se han presentado como nuevas alternativas en el control de mosquitos. Esta bacteria es comúnmente encontrada en el suelo, agua contaminada orgánicamente y otros tipos de hábitat; sin embargo, son poco frecuentes las cepas que muestran actividad mosquitocida.

De las cepas más tóxicas se conocen aproximadamente 50, de las cuales desatacan la K, la SSII-1, la 1593 y los más recientes descubrimientos incluyen a la 2297 y 2362. Todas éstas han sido ampliamente estudiadas y las más activas pertenecen al serotipo H-5a5b y al fagotipo 3, con excepción de la 2297 (Porter *et al.* 1993, Delécluse *et al.* 2000, Aguilar-Henonin e Ibarra 1996).

Esta bacteria produce una protoxina de naturaleza proteica, que forma matrices cristalinas de diferente forma y tamaño, de ahí que se le llame cristal a la estructura tóxica, la cual está unida fuertemente al exosporium. Se sabe que este cristal está formado por dos péptidos de aproximadamente 42 y 51 Kdal, los cuales se disuelven en el interior alcalino del mesenterón de las larvas de mosquitos y se digieren proteolíticamente en forma parcial, para liberar fragmentos de 39 y 43 Kdal, respectivamente. Estas son las verdaderas toxinas, cuya acción se dirige hacia las membranas del epitelio del mesenterón. Se sabe que el péptido de 43 Kdal no presenta toxicidad por sí solo, sino únicamente en combinación con la toxina de 39 Kdal, de ahí que el elemento activo combinado reciba el nombre de toxina binaria (Delécluse *et al.* 2000, Porter *et al.* 1993).

La toxina debe ser ingerida por las larvas en su medio acuático, para luego disolverse en el mesenterón y causar lisis a las células epiteliales. Su modo de acción es similar al de *B. thuringiensis* (ver más adelante), ya que las células epiteliales se ensanchan, estallan y se abren huecos intercelulares, perdiéndose la unidad tisular, además de detenerse la peristálsis y necrosarse los músculos y los nervios. El cadáver de la larva proporciona los nutrientes suficientes para promover la proliferación de esta bacteria, lo cual permite reciclar el inóculo en el medio. Se puede cultivar fácilmente en medios artificiales por su alta capacidad saprofitica; sin embargo, su actividad insecticida es altamente específica, ya que ataca únicamente larvas de mosquitos, especialmente del género *Culex* (Porter *et al.* 1993). Su capacidad para crecer en medios artificiales ha hecho que algunas compañías hayan desarrollado algunos bioinsecticidas a base de esta bacteria (VectoLex, Spherimos, Spherico), los cuales han sido utilizados masivamente en los últimos años en Camerún, Brasil, India, Tanzania, Francia, España y Alemania. La principal ventaja de esta bacteria, comparativamente con la cepa mosquitocida de *B. thuringiensis*, se basa en su capacidad para mantenerse por un lapso de tiempo mucho mayor, en el hábitat acuático (Tanada y Kaya 1993). Desafortunadamente, durante los últimos años se han detectado poblaciones de *Culex quinquefasciatus* (de laboratorio y campo) en China, India, Francia, Estados Unidos y Brasil, con significativos niveles de resistencia hacia la toxina binaria de esta bacteria (Nielsen-Leroux *et al.* 1997).

***Paenibacillus popilliae*.** Esta bacteria, anteriormente clasificada como *Bacillus popilliae* (Pettersen *et al.*, 1999), tiene una importancia tanto desde el punto de vista práctico como histórico. Fue la primera bacteria entomopatógena

estudiada y registrada como bioinsecticida en los E.U-A, lo cual se logró principalmente por los estudios de Samuel Dutky en los 1930's y 1940's. Esta bacteria es un patógeno obligado y específico. Las diversas cepas de *P. popilliae* atacan a más de 70 especies de gallinas ciegas, causando la llamada “enfermedad lechosa”, ya que su sintomatología más distintiva es el aspecto lechoso de la hemolinfa de las larvas infectadas. Ésto es debido a la gran cantidad de esporas propias de la bacteremia causada por este patógeno en la hemolinfa que, en condiciones normales, debería presentar un aspecto translúcido. Cabe hacer notar que los adultos también son susceptibles a la infección y sus efectos se traducen en una menor longevidad y fertilidad (Klein y Jackson 1992).

Existe otra bacteria que causa la misma enfermedad y que es tan similar a *P. popilliae*, que en ocasiones sólo se le reconoce como el tipo B de esta especie. Nos referimos a *P. lentimorbus*, cuya diferencia más distintiva con *P. popilliae* es la ausencia de un cuerpo parasporal unido al exosporium, propio de esta última especie, aunque no es claro el papel que juega este cuerpo parasporal, a pesar de que poseen proteínas con homología a las toxinas Cry de *B. thuringiensis* (ver más adelante). En forma natural, ambas bacterias infectan a las larvas *per os*. Una vez en el intestino medio, las esporas germinan, y los bacilos penetran por fagocitosis a las células del intestino medio, iniciando la infección a través del epitelio intestinal. Normalmente, la larva utiliza un mecanismo de defensa conocido como “encapsulación melanótica”, por su aspecto oscuro. Esta es una capa de hemocitos que se forma alrededor de la pared intestinal, como barrera a la ulterior infección de la hemolinfa. Una infección aguda no es detenida por dicha capa, y las bacterias que invadieron el intersticio entre el epitelio intestinal y la capa basal, eventualmente pasan a la hemolinfa, causando una bacteremia. Aquí las bacterias se reproducen profusamente hasta inducir el aspecto lechoso de la hemolinfa, cuando las células vegetativas esporulan. Es posible encontrar hasta  $10^9$  esporas/ml de hemolinfa. La larva permanece activa hasta justo antes de morir, la infección generalmente es lenta y la hemolinfa no se oxida cuando se expone al medio ambiente (Tanada y Kaya 1993).

Debido a que ambas especies son patógenas obligadas, no es posible producirlas industrialmente en medios artificiales, de ahí que los productos comerciales a base de estas bacterias sean homogeneizados de cadáveres de larvas colectadas en el campo (por ser también impráctico mantener una colonia de escarabajos), las cuales se inoculan por inyección, mantenidas hasta su muerte, maceradas, filtradas, homogeneizadas y formuladas, lo cual aumenta considerablemente los costos de producción. Esta es la base técnica de productos tales como el *Doom* o el *Japademic*, que se utilizan principalmente para el control del escarabajo japonés (*Popillia japonica*) y de otros escarabajos plagas de pastos y frutales. Una de las grandes ventajas de estos productos es su alta residualidad, ya que las esporas pueden mantenerse en el suelo hasta por siete años, sin

necesidad de efectuar otra aplicación y viables en el suelo hasta por 21 años. Esto compensa el alto costo de los productos. El control del escarabajo japonés es un ejemplo clásico de control microbiano de insectos, ya que en la actualidad ha dejado de ser considerado una plaga importante en los E.U.A. Sin embargo, el éxito de este agente de control ha sido también la razón por la cual se haya reducido significativamente su producción (Potter y Held 2002). Desafortunadamente, las gallinas ciegas de importancia agrícola en México de los géneros *Phyllophaga*, *Anomala* y *Cyclocephala* presentan baja o nula susceptibilidad a las cepas conocidas de esta bacteria.

***Bacillus thuringiensis***. Es el entomopatógeno más conocido, estudiado y extensamente utilizado como agente de control microbiano. Más del 90% del mercado de bioinsecticidas lo cubren productos a base de esta bacteria (Glare y O'Callaghan 2000). *B. thuringiensis* (BT) es una bacteria Gram positiva, aeróbica, que forma esporas subterminales, las células vegetativas tienen forma de bastón y presenta flagelos peritricos. Es un microorganismo ubicuo del suelo, del cual se aísla con bastante frecuencia y presenta una distribución cosmopolita (Martin 1994).

La característica principal de BT es que, simultáneo a la formación de la espora, produce un cuerpo de naturaleza proteica denominado cristal o cuerpo parasporal. Al igual que el cristal de *B. sphaericus* y de *P. popilliae*, su denominación se debe a la conformación en láctice (red) de sus moléculas. A diferencia de las otras especies, BT forma un cristal discreto, mucho más notorio y separado de la endospora. Estas proteínas cristalizadas separadas de la espora son liberadas al medio ambiente cuando se degrada la pared celular (autólisis) al final de la esporulación. El cristal puede llegar a representar hasta el 30% del peso seco del esporangio (Höfte y Whiteley 1989, Lambert y Peferoen 1992).

**a) Patotipos.** Como se mencionó anteriormente, el cristal proteico posee la capacidad insecticida propia de esta bacteria. La gran mayoría de los serotipos, variedades y cepas conocidas presentan un cristal bipiramidal, con cierta variación de tamaño y forma. Este cristal normalmente presenta toxicidad a una gran diversidad de larvas de lepidópteros, entre ellos un número significativo de plagas agrícolas. Este es el llamado patotipo I (Federici 1993). El cuerpo parasporal, sin embargo, varía en su forma, al variar el patotipo. Es decir, las cepas que presentan alta toxicidad hacia mosquitos y jejenes (Delécluse *et al.* 2000), muestran un cristal irregular en su forma, aunque tiende a la esfericidad. Este es el llamado patotipo II, que fue aislado por primera vez en 1976, en Israel (Federici *et al.* 1990). Por último, el patotipo III fue descubierto en 1982, en Alemania; su rango de actividad se restringe a unas pocas especies de coleópteros, principalmente crisomélidos. En este patotipo, el cristal muestra una forma cuadrada y aplanada, similar a la de un cojinete delgado (Krieg *et al.*

1983). Cabe hacer mención que algunas compañías han reportado cepas con actividad hacia otros tipos de insectos (hormigas, pulgones, cucarachas) y no insectos (nematodos, ácaros, platelmintos), las cuales deberían considerarse como nuevos patotipos, pero desafortunadamente no han demostrado su verdadera efectividad con datos contundentes (De Maagd *et al.* 2001), con excepción de las cepas tóxicas a nemátodos (Wei *et al.* 2003). Además, el reciente descubrimiento del efecto insecticida de la cepa mosquitocida hacia la broca del café (Méndez-López *et al.* 2003), hace pensar que la clasificación de las cepas de BT en patotipos deberá revisarse.

**b) Serotipos.** En la actualidad existe una gran cantidad de cepas de BT, aisladas de diversas partes del mundo. Con el objeto de diferenciar los diversos aislamientos, se han tratado de establecer los parámetros que ayudarían a discriminar una cepa de otra. Uno de estos parámetros consiste en la serotipificación. Esta técnica se basa en la reacción cruzada de las proteínas flagelares de BT, contra los anticuerpos producidos a partir de las cepas tipo (De Barjac y Bonnefoi 1962). Hasta la fecha se conocen 71 grupos; sin embargo, debido a que algunos presentan subgrupos (ej. H-3a3b3c, H-3a3d3e), el número de serovariedades es mayor (84 en la actualidad) (Khyami-Horani *et al.* 2003). A su vez, a cada serotipo corresponde un nombre de serovariedad o serovar (en la actualidad ya no se reconocen como nombre subespecíficos) de tal forma que los diferentes subgrupos de BT se reconocen más ampliamente por su tercer apelativo. Así, el serotipo H-3a3b3c corresponde a la serovariedad *kurstaki*, el serotipo H-14 corresponde a la serovariedad *israelensis* y así sucesivamente.

**c) Modo de Acción.** Como en las otras bacterias ya mencionadas, BT requiere ser ingerido para que lleve a cabo su efecto patotóxico. La bacteria sin el cristal no tiene la capacidad de invadir a su huésped. Al ingerirse el complejo espora-cristal, los cristales se disuelven en el mesenterón debido a su contenido altamente alcalino. Una vez disueltos, las proteínas del cristal (protoxinas) sufren proteólisis por las proteasas digestivas del insecto; sin embargo, su degradación no es completa, quedando intacta una proteína de aproximadamente 65 kDa. Esta es la toxina activada llamada  $\delta$ -endotoxina, la cual adquiere una conformación tridimensional que le confiere gran especificidad para acoplarse a un componente glicoproteico de la membrana de las células epiteliales, comúnmente llamado “receptor” (Gill *et al.* 1992, Escriche y Ferré 2001). Recientemente se ha logrado dilucidar la naturaleza del receptor para la proteína Cry1Ac en el gusano de cuerno del tabaco *Manduca sexta*, el cual es una glicoproteína de 120 kDa que corresponde a la enzima aminopeptidasa N (Garczynski y Adang 2000, Powell *et al.* 1995). Esta unión es seguida de una oligomerización de la toxina (Rausell *et al.* 2004), la cual desequilibra la estructura de la membrana y abre un poro por el cual penetran cationes (principalmente Na y K), seguidos de agua (Escriche y Ferré, 2001). El exceso de agua en el citoplasma de las células epiteliales provoca

una distensión excesiva de los organelos membranosos, y de la propia célula en su totalidad, hasta que ésta estalla. Unas pocas células dañadas podrían ser reemplazadas rápidamente por otras nuevas, sin que ocurran consecuencias fatales; sin embargo, cantidades suficientes de  $\delta$ -endotoxina normalmente destruyen amplias áreas del epitelio, las cuales se manifiestan en huecos por donde pasa el contenido altamente alcalino del mesenterón hacia la hemolinfa (que presenta un pH casi neutro) y la hemolinfa hacia el lumen del mesenterón. Estos dos fenómenos traen consigo dos consecuencias dañinas para el insecto. Por un lado, al aumentar el pH de la hemolinfa, la conducción nerviosa cesa y la larva se paraliza. Esto implica que deja de comer y por lo tanto se detiene el daño a la planta atacada. Consecuentemente, la larva puede morir de inanición en 3-5 días. Por otro lado, al disminuir el pH del contenido estomacal, crea un ambiente favorable para la germinación de las esporas ingeridas junto con los cristales, iniciando la proliferación de las bacterias en el individuo paralizado, lo que puede provocar la muerte por septicemia o por la combinación con el cambio brusco de pH (Gill *et al.* 1992, Schnepf *et al.* 1998). A pesar de que las larvas muertas contienen algunas esporas y cristales debido a que proliferan en los cadáveres, éstas normalmente no representan focos de infección para otros individuos. Además, en el cadáver se presentan mayormente otras bacterias saprófitas, presentes en el tracto digestivo, las cuales compiten con BT. Recientemente se ha reportado que en realidad son las bacterias propias del tracto digestivo las que provocan la septicemia y finalmente la muerte del insecto (Broderick *et al.* 2006).

La diferencia en toxicidad depende del tipo de  $\delta$ -endotoxina. Es preciso aclarar que aunque normalmente se hace referencia a “la  $\delta$ -endotoxina de *B. thuringiensis*”, en realidad se conocen hasta esta fecha más de 380 diferentes  $\delta$ -endotoxinas, las cuales se han clasificado como proteínas Cry de la 1 a la 53, y éstas a su vez se dividen en subgrupos (Höfte y Whiteley 1989, Crickmore *et al.* 1998, Crickmore *et al.* 2007). Cada grupo presenta no sólo diversos grados de homología a nivel de la secuencia de sus aminoácidos, sino que su especificidad normalmente también es compartida con los Cry del mismo grupo. Algunas cepas de *B. thuringiensis* pueden producir varias proteínas Cry, relacionadas o no, lo cual puede ampliar el rango o el nivel de actividad de estas cepas. De la misma forma, una especie insectil puede ser susceptible a varias proteínas Cry (principalmente dentro de los lepidópteros), pero normalmente muestra diferentes grados de susceptibilidad a cada una de ellas (Schnepf *et al.* 1998, Höfte y Whiteley 1989).

**d) Producción Comercial.** Los bioinsecticidas a base de BT se producen en gigantescos fermentadores (biorreactores), cuyos medios artificiales se basan en el uso de diversas materias orgánicas baratas (harina de soya, sangre en polvo, harina de cascarilla de algodón, melazas), aunque la formulación completa de cada medio representa un secreto de cada compañía (González *et al.* 2001; Couch,



2000). Una vez que la fermentación ha llegado a su fase de autólisis, el fermento se concentra por centrifugación o por secado por aspersión. Este concentrado se homogeniza, se estandariza (normalmente por medio de bioensayos, para determinar la actividad de cada lote de fermentación) (Ibarra y Del Rincón 2001, Navon y Ascher 2000) y se formula de acuerdo a su presentación comercial (polvo humectable, suspensión, gránulos, croquetas). Normalmente la concentración de los productos a base de BT varía entre 2 y 10%, en función de la actividad de la cepa y de la potencia que se requiera del producto (González *et al.* 2001, Couch 2000). Su formulación normalmente permite el uso del equipo convencional para su aplicación. Existen algunas reglas básicas para el uso eficiente de los productos a base de BT, como son su aplicación: (1) En horarios de poca incidencia solar; (2) sobre poblaciones iniciales y de los primeros instares larvarios; y (3) amplia y bien distribuida, ya que las larvas deben ingerir el producto.

Como se mencionó anteriormente, BT muestra actividad contra un gran número de larvas de lepidópteros, contra larvas de mosquitos y jejenes, y contra algunas especies de coleópteros. La especificidad que muestra contra estos insectos representa una de las grandes ventajas de este bioinsecticida, ya que es completamente inocuo a otro tipo de insectos, especialmente los benéficos. De esta forma, su eficiencia en el Manejo Integrado de Plagas es alta. Asimismo, existe un cúmulo de evidencias que certifica su inocuidad hacia vertebrados, entre ellos el hombre, lo cual hace de BT, junto con su inocuidad al medio ambiente, una de las alternativas ecológicas más atractivas (Entwistle *et al.* 1993).

**e) Desarrollo de Resistencia a la  $\delta$ -endotoxina.** Una de las ventajas de los bioinsecticidas a base de BT es la lentitud o incapacidad de las plagas susceptibles a desarrollar resistencia a sus toxinas; sin embargo, ahora se cree que esto se debe principalmente al hecho de que estos productos se degradan rápidamente en el medio, lo que elimina la presión continua de selección, que es un factor clave para el desarrollo de resistencia hacia otro tipo de insecticidas. El primer caso probado de resistencia a BT fue el reportado en la palomilla de los graneros, *Plodia interpunctella* (McGaughey, 1985). Se cree que esto fue motivado por las condiciones de granero, las cuales permiten mantener activo al producto por un período más largo y de esta forma, efectuar una presión de selección más duradera. Es también importante aclarar que los volúmenes usados de estos productos, comparativamente con los de los insecticidas sintéticos, son reducidos; sin embargo, su uso se ha incrementado grandemente en los últimos 20 años y es en este período en que han aparecido reportes de resistencia en el campo. El único caso documentado sobre el desarrollo de resistencia a BT es el de la palomilla dorso de diamante, *Plutella xylostella*, sobre hortalizas en diversas partes del mundo (Tabashnik *et al.* 1991). A pesar de que existen otros casos, éste es el único que se ha desarrollado bajo condiciones de campo, debido a un uso

inmoderado de bioinsecticidas a base de BT. Los otros casos (mosquitos, catarinita de la papa, otros lepidópteros) se han desarrollado bajo condiciones de laboratorio. Afortunadamente, el desarrollo de resistencia hacia BT es rápidamente reversible cuando se elimina la presión de selección de la toxina (Ferré y Van Rie 2002, Ibarra y López-Meza 1997).

*Clostridium spp.* Además de las bacterias ya mencionadas, existen unas pocas más, típicamente entomopatógenas, las cuales son raras y con pocas posibilidades de ser desarrolladas como bioinsecticidas. Entre éstas se encuentran algunas especies del género *Clostridium*, pertenecientes a la misma familia *Bacillaceae*, como *C. brevifasciens* y *C. malacosomae*, ambas anaerobias y causantes de enfermedades infecciosas sobre el gusano telarañero, *Malacosoma pluviale*. Estas crecen en el mesenterón y paralizan a la larva, la cual muere por inanición y su cuerpo adquiere una apariencia distendida, en forma de telescopio, llamada braquitosia (Tanada y Kaya 1993). Recientemente se descubrió en Malasia una cepa de *C. bifermens* con actividad mosquitocida. Debido a su anaerobiosis, las posibilidades de desarrollar esta cepa como bioinsecticida son bajas; sin embargo, ya se han clonado algunos de sus genes que expresan a las toxinas (Barloy *et al.* 1996), los cuales pueden ser transferidos a otro tipo de bacterias que presenten mayor posibilidad de desarrollo (ej. BT).

*Serratia marcescens* y *S. entomophila*. La primera es más conocida como modelo de estudio en los laboratorios de Genética Molecular, que como entomopatógeno. Eventualmente se le encuentra causando altas mortalidades en insectarios, donde las condiciones para su transmisión son favorables. Sin embargo, se le debe considerar un patógeno oportunista (Ruiz-Sánchez *et al.* 2003). Su rango de huéspedes es amplio y se le reconoce fácilmente por formar colonias de un rojo brillante en placas de agar.

La segunda especie es importante por ser la única bacteria, fuera de las baciláceas, que está comercializada como bioinsecticida. Su registro, bajo el nombre de *Invade* es reciente y sólo para su uso en Nueva Zelanda. Esta bacteria, al igual que *P. popilliae*, ataca gallinas ciegas de los pastizales y causa la llamada "enfermedad ambarina" (Grimont *et al.* 1988). Ésta también debe ser ingerida; sin embargo, a diferencia de las otras, su ataque no se dirige hacia el mesenterón sino hacia el proventrículo o "molleja" donde, debido a su conocida producción de quitinasas, degrada la cubierta ectodérmica y se adhiere fuertemente a las células epiteliales. Esta degradación, seguida de la adhesión de las bacterias al epitelio, puede durar semanas y en ocasiones hasta meses; sin embargo, un ataque agudo puede impedir la alimentación de la larva en los siguientes 2-5 días posteriores a la infección, lo que ocasiona la muerte por inanición en un par de semanas (O'Callaghan y Jackson 1993). A pesar de su acción lenta y de que se producen proporcionalmente pocas células infectivas en medio artificial, dos

compañías de renombre han desarrollado el producto ya mencionado y se llevan a cabo estudios básicos sobre la genética de su patogenicidad, con el objeto de mejorarla por Ingeniería Genética (Hurst *et al.* 2004).

## LITERATURA CITADA

- Aguilar-Henonin, L. y J. E. Ibarra. 1996. Selección de cepas mexicanas de *Bacillus sphaericus* con actividad larvicida contra mosquitos vectores (Diptera: Culicidae). *Vedalia* 3: 3-9.
- Aizawa, K. 2001. Shigetane Ishiwata: His discovery of sotto-kin (*Bacillus thuringiensis*) in 1901 and subsequent investigations in Japan. *In: Proceedings of a Centennial Symposium Commemorating Ishiwata's Discovery of Bacillus thuringiensis*. Ed.: M. Ohba, O. Nakamura, E. Mizuki and T. Akao. Kurume, Japan. pp. 1-14.
- Barloy, P., A. Delécluse, L. Nicolas, and M. M. Lecadet. 1996. Cloning and Expression of the First Anaerobic Toxin Gene from *Clostridium bifermentans* subsp. *malaysia*, Encoding a New Mosquitocidal Protein with Homologies to *Bacillus thuringiensis* Delta-Endotoxins. *Journal of Bacteriology* 178: 3099-3105.
- Broderick, A. N., K. F. Raffa and J. Handelsman. 2006. Midgut bacteria required for *Bacillus thuringiensis* insecticidal activity. *PNAS*. 103: 15196-15199.
- Charles, J-F., M.H. Silva-Filha, and C. Nielsen-LeRoux. 2000. Mode of action of *Bacillus sphaericus* on mosquito larvae: incidence on resistance. *In: Entomopathogenic bacteria: from laboratory to field application* (J-F. Charles, A. Delécluse and C. Nielsen-Le Roux, Eds.) Kluwer Academic Publishers. pp. 237-252.
- Cloutier, C. y C. Cloutier. 1992. Les solutions biologique de lutte puor la repression des insectes et acarines ravageurs des cultures, Chapitre 2. *En: La Lutte Biologique*. C. Vincent et D. Coderre (Eds.). Tec & Doc Lavoisier, Québec, Canada. p. 33.
- Couch, T. I. 2000. Industrial fermentation and formulation of entomopathogenic bacteria. *In: Entomopathogenic bacteria: from laboratory to field application*. J-F. Charles, A. Delécluse and C. Nielsen-Le Roux (Eds.) Kluwer Academic Publishers. pp. 297-316.
- Crickmore, N., D. R. Zeigler, J. Feitelson, E. Schnepf, J. Van Rie, D. Lereclus, J. Baum and D. H. Dean. 1998. Revision of the Nomenclature for the *Bacillus thuringiensis* Pesticidal Crystal Proteins. *Microbiol. Mol. Biol. R.* 62: 807-813.
- Crickmore, N., D. R. Zeigler, E. Schnepf, J. Van Rie, D. Lereclus, J. Baum, A. Bravo, and D. H. Dean. 2007. *Bacillus thuringiensis* toxin nomenclature [http://www.lifesci.sussex.ac.uk/Home/Neil\\_Crickmore/Bt/](http://www.lifesci.sussex.ac.uk/Home/Neil_Crickmore/Bt/)
- De Barjac, H. and A. Bonnefoi. 1962. Essai de classification biochimique et serologique de 24 souches de *Bacillus* du type *thuringiensis*. *Entomophaga* 7: 5-31.
- De Maagd, R. A., A. Bravo and N. Crickmore. 2001. How *Bacillus thuringiensis* has evolved specific toxins to colonize the insect world. *Trends in Genetics* 17: 193-199.
- Delécluse, A., V. Juárez-Pérez, and C. Berry. 2000. Vector-active toxins: structure and diversity. *In: Entomopathogenic bacteria: from laboratory to field application* (J-F. Charles, A. Delécluse and C. Nielsen-Le Roux, (Eds.) Kluwer Academic Publishers. pp. 101-125.
- Dutky, S. R. 1940. Two new spore-forming bacteria causing milky diseases of Japanese beetle larvae. *J. Agric. Res.* 61: 57-68
- Entwistle, F., J. S. Cory, M. J. Bailey and S. Higg. 1993. *Bacillus thuringiensis*, An Environmental Biopesticide: Theory and Practice. John Wiley and Sons, Ltd. London.
- Escriche, B. y J. Ferré. 2001. Modo de acción de las proteínas insecticidas de *Bacillus thuringiensis*. *En: En: Bioinsecticidas: Fundamentos y Aplicaciones de Bacillus thuringiensis en el*

- Control Integrado de Plagas. (P. Caballero y J. Ferré, Eds.) M.V. Phytoma-España, S. L. Valencia. pp. 87-108.
- Federici, B. A. 1993. Insecticidal bacterial proteins identify the midgut epithelium as a source of novel target sites for insect control. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology* 22: 357-371.
- Federici, B. A., P. Luthy and J. E. Ibarra. 1990. Parasporal body of *Bacillus thuringiensis israelensis*, structure, protein composition, and toxicity. Chpt. 3. *In: Bacterial Control of Mosquitoes and Blackflies*. H. de Barjac and D.J. Sutherland (eds.) Rutgers University Press. New Brunswick pp. 16-44
- Ferré, J. and J. Van Rie. 2002. Biochemistry and Genetics of Insect Resistance to *Bacillus thuringiensis*. *Annu. Rev. Entomol.* 47: 501-33.
- Forst, S., B. Dowds. 1997. *Xenorhabdus* and *Photorhabdus* spp.: Bugs That Kill Bugs. *Annu. Rev. Microbiol.* 51: 47-72.
- Garczynski, S.F., and M. J. Adang. 2000. Investigations on the *Bacillus thuringiensis* Cry1 toxin receptor structure and function. *In: Entomopathogenic bacteria: from laboratory to field application* (J-F. Charles, A. Delécluse and C. Nielsen-Le Roux, Eds.) Kluwer Academic Publishers. pp. 101-125.
- Gill, S. S., E. A. Cowles and P. V. Pietrantonio. 1992. The mode of action of *Bacillus thuringiensis* endotoxins. *Annu. Rev. Entomol.* 37: 615-636.
- Glare, T. R. and M. O'Callaghan. 2000. *Bacillus thuringiensis: Biology, Ecology and Safety*. John Wilery & Sons, LTD. New York. 350 p.
- González, A., A. Restrepo y S. Orduz. 2001. Producción de *Bacillus thuringiensis*. *En: Bioinsecticidas: Fundamentos y Aplicaciones de Bacillus thuringiensis en el Control Integrado de Plagas*. (P. Caballero y J. Ferré, Eds.) M.V. Phytoma-España, S. L. Valencia. pp. 109-132.
- Grimont, P.A.D., T. A. Jackson, E. Ageron, and M. J. Noonan. 1988. *Serratia entomophila* sp. nov. associated with amber disease in the New Zealand grass grub *Costelytra zealandica*. *Int. J. Syst. Bacteriol.* 38: 1-6.
- Herre, E. A. , N. Knowlton, U. G. Mueller, and S. A. Rehner 1999. The evolution of mutualisms: exploring the paths between conflict and cooperation. *Trends Evol. Ecol.* 14: 49-52
- Höfte, H. and H. R. Whiteley. 1989. Insecticidal Crystal Proteins of *Bacillus thuringiensis*. *Microbiol. Rev.* 53: 242-255.
- Hurst, M.R.H., T. R. Glare, and T. A. Jackson. 2004. Cloning *Serratia entomophila* Antifeeding Genes—a Putative Defective Prophage Active against the Grass Grub *Costelytra zealandica*. *Journal of Bacteriology* 186: 5116-5128.
- Ibarra, J. E. y J. E. López Meza. 2000. Bacterias Entomopatógenas. Cap. 23. *En: Fundamentos y Perspectivas de Control Biológico* (M.H. Baddii, A.E. Flores y L.J. Galán Wong, Eds). Universidad Autónoma de Nuevo León. 462 p.
- Ibarra, J. E. y J. E. López-Meza. 1997. Desarrollo de Resistencia Hacia *Bacillus thuringiensis*. *Agrociencia* 31: 121-131.
- Ibarra, J. E. y M. C. Del Rincón-Castro. 2001. Cuantificación Toxicológica de *Bacillus thuringiensis*. *En: Bioinsecticidas: Fundamentos y Aplicaciones de Bacillus thuringiensis en el Control Integrado de Plagas*. (P. Caballero y J. Ferré, Eds.) M.V. Phytoma-España, S. L. Valencia. pp. 133-152.
- Khyami-Horani, H., M. Hajaj, and J. F. Charles. 2003. Characterization of *Bacillus thuringiensis* ser. *jordanica* (Serotype H71), a Novel Serovariety Isolated in Jordan. *Current Microbiology* 47: 26-31

- Klein, M. G. and T. A. Jackson. 1992. Bacterial diseases of scarabs. *In: Use of Pathogens in Scarab Pest Management*. T. A. Jackson and T. R. Glare, (Eds.). Intercept, Andover. pp. 43–61.
- Krieg, A., A. Huger, G. Langenbruch, and W. Schnetter. 1983. *Bacillus thuringiensis* var. *tenebrionis*: Ein neuer gegenuber larven von coleopteren wirksamer pathotyp. *Z. Angew. Entomol.* 96: 500-508.
- Lambert, B. and M. Peferoen. 1992. Insecticidal promise of *Bacillus thuringiensis*. *BioScience* 42: 112-122.
- Lozano, S. 2006. Félix d'Hérelle: Aportes a la Biografía de un Pasteuriano en México. *Revista Electrónica Latinoamericana de Estudios Sociales, Históricos y Culturales de la Ciencia y la Tecnología.* (1):1904-1911.
- Martin, P.A.W. 1994. An Iconoclastic View of *Bacillus thuringiensis* Ecology. *American Entomologist* 40: 85-90.
- Matheson, A. and M. Reid. 1992. Strategies for the prevention and control of American foulbrood. Part I. *Am. Bee J.* 132: 399–402.
- McGaughey, W. H. 1985. Insect Resistance to the Biological Insecticide *Bacillus thuringiensis*. *Science* 229: 193-195.
- Méndez-López, I., R. Basurto-Ríos, and J. E. Ibarra. 2003. *Bacillus thuringiensis* serovar *israelensis* is highly toxic to the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* Ferr. (Coleoptera: Scolytidae). *FEMS Microbiology Letters* 226: 73-77.
- Navon, A. and K.R.S. Ascher. 2000. *Bioassays of Entomopathogenic Microbes and Nematodes*. Cabi. 324 p.
- Nielsen-Leroux, C., F. Pasquier, J. F. Charles., G. Sinegre, B. Gaven, and N. Pasteur. 1997. Resistance to *Bacillus sphaericus* Involves Different Mechanisms in *Culex pipiens* (Diptera:Culicidae) Larvae. *J. Med. Entomol.* 34: 321-327.
- O'Callaghan, M, and T. A. Jackson. 1993. Isolation and enumeration of *Serratia entomophila* --A bacterial pathogen of the New Zealand grass grub, *Costelytra zealandica*. *J. Appl. Bacteriol.* 75: 307-314.
- Oren, A. 2004. Prokaryote diversity and taxonomy: current status and future challenges *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 359: 623–638.
- Petterson, B., K. E. Rippere, A. A. Yousten, and F. G. Priest. 1999. Transfer of *Bacillus lentimorbus* and *Bacillus popilliae* to the genus *Paenibacillus* with emended descriptions of *Paenibacillus lentimorbus* comb. nov. and *Paenibacillus popilliae* comb. nov. *Int. J. Syst. Bacteriol.* 49: 531-540.
- Porter, A.G., E. W. Davidson, and J.-W. Liu. 1993. Mosquitocidal Toxins of Bacilli and Their Genetic Manipulation for Effective Biological Control of Mosquitoes. *Microbiol. Rev.* 57: 838-861.
- Potter, D. A. and D. W. Held. 2002. Biology and management of the Japanese beetle. *Annual Review of Entomology* 47: 175-205.
- Powell, G. P., C. A. Charlton, and T. Yamamoto. 1995. Recent Advances in Structure and Function Research on *Bacillus thuringiensis* Crystal Proteins. *In: T-Y Feng et al.* (eds.). *Bacillus thuringiensis* Biotechnology and Environmental Benefits. Vol. I. Hua Shiang Yuan Publishing Co. Taipei. pp 1-20.
- Rausell, C., C. Muñoz-Garay, R. Miranda-CassoLuengo, I. Gómez, E. Rudino-Pinera, M. Soberon, and A. Bravo. 2004. Tryptophan spectroscopy studies and black lipid bilayer analysis indicate that the oligomeric structure of Cry1Ab toxin from *Bacillus thuringiensis* is the membrane-insertion intermediate. *Biochemistry* 43: 166-74.

- Ruíz-Sánchez, A., R. Cruz-Camarillo, R. Salcedo-Hernández, y J. E. Barboza-Corona. 2003. *Serratia marcescens*: De Patógeno Oportunista Al Control De Insectos Que Afectan Cultivos Agrícolas. *BioTecnología* 8: 31-37.
- Schnepf, E., N. Crickmore, J. Van Rie, D. Lereclus, J. Baum, J. Feitelson, D. R. Zeigler, and D. H. Dean. 1998. *Bacillus thuringiensis* and Its Pesticidal Crystal Proteins. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 62: 775-806.
- Singer, S. 1990. Introduction to the study of *Bacillus sphaericus* as a mosquito control agent. In: H. deBarjac and D. Southerland (Eds.). *Bacterial Control of Mosquitoes and Black Flies: Biochemistry, Genetics, and Applications of Bacillus thuringiensis israelensis and Bacillus sphaericus*. Rutgers University Press. New Brunswick, NJ. 221-227 pp.
- Tabashnik, B. E., N. Finson, and M. W. Johnson. 1991. Managing Resistance to *Bacillus thuringiensis*: Lessons from the Diamondback Moth (Lepidoptera: Plutellidae). *J. Econ. Entomol.* 84: 49-55.
- Tanada, Y., and H. K. Kaya. 1993. *Insect Pathology*. Academic Press, Inc. New York. 666 p.
- Wei, J. Z., K. Hale, L. Carta, E. Platzer, C. Wong, S. C. Fang, and R. V. Aroian. 2003. *Bacillus thuringiensis* crystal proteins that target nematodes. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 100(5): 2760-2765.

**Bioinsecticidas Virales**

***M. C. Del Rincón-Castro***

CINVESTAV-Campus Guanajuato, Depto. de Biotecnología y Bioquímica  
Km 9.6 Libramiento Norte Carr. Irapuato-León, Irapuato, Gto., México 36500  
mdelrinc@ira.cinvestav.mx

---

---

**CONTENIDO**

<i>Introducción</i> .....	161
<i>Antecedentes Históricos</i> .....	161
<i>Clasificación</i> .....	162
<i>Modo de Acción</i> .....	165
<i>Producción y Formulación</i> .....	169
<i>Estrategias de Uso y Aplicación de Virus</i> .....	171
<i>Evaluación</i> .....	172
<i>Virus como Agentes de Control Biológico</i> .....	175
<i>Comentarios Finales</i> .....	176
<i>Literatura Citada</i> .....	177

Del Rincón-Castro, M. C. 2007. Bioinsecticidas virales, pp. 160-178. *En*: L. A. Rodríguez-del-Bosque y H. C. Arredondo-Bernal (eds.), Teoría y Aplicación del Control Biológico. Sociedad Mexicana de Control Biológico, México. 303 p.

## INTRODUCCIÓN

Los insectos representan a los animales más diversos del planeta. Muchos de ellos se engloban dentro de los denominados insectos benéficos, como las abejas, gusanos de seda, insectos polinizadores, insectos parasitoides y depredadores de otros que son plaga. No obstante, un porcentaje de insectos se han convertido en plagas y la variedad de cultivos y ecosistemas que afectan es significativo. Los insectos representan plagas importantes en la agricultura, horticultura, fruticultura, ganadería y en los sistemas forestales. Para el control de la gran mayoría de las plagas de insectos, se han utilizado tradicionalmente a los insecticidas químicos, cuyo uso y abuso ha propiciado la contaminación del medio ambiente, la resistencia en los insectos y problemas de intoxicación en los seres vivos. Debido a la anterior, en la actualidad el mercado de los insecticidas químicos decrece en un 1.5% anual. La alternativa a su uso, la representan los bioinsecticidas, cuyo mercado actual abarca el 2.5 % de los insecticidas totales y se estima que para el 2010 alcanzará los niveles del 4.2%. Los bioinsecticidas se engloban dentro del control biológico de plagas y su naturaleza puede ser diversa, entre los que destacan cinco grupos principales: Las bacterias, los virus, los nemátodos, los protozoarios y los hongos. Sin duda alguna las bacterias son los bioinsecticidas microbianos más utilizados en el mundo y constituyen la base de la mayoría de los bioinsecticidas que existen en la actualidad. No obstante, un grupo importante como agentes de control biológico, lo representan los virus entomopatógenos, particularmente los baculovirus, los cuales son los más diversos y se han aislado casi de manera exclusiva de insectos, principalmente de los Órdenes Lepidoptera, Hymenoptera y Coleoptera. No obstante, la diversidad de virus entomopatógenos es amplia y cada familia en lo particular posee características únicas, que en un momento dado y para una plaga en particular, podrían ser efectivos en el control de la misma.

## ANTECEDENTES HISTÓRICOS

La primera enfermedad causada por virus en un insecto se registró en 1527, cuando se observó en el gusano de la seda *Bombyx mori* (Lepidoptera: Bombycidae) un aspecto blanquecino en su abdomen. Posteriormente, se obtuvieron registros de enfermedades virales en la abeja *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) y más tarde en algunas mariposas (Vaughn 1992). En 1856, dos italianos, Maestri y Cornalia, estudiaron los cuerpos de oclusión (CO's). En 1926, Paillot describe por vez primera a un virus de la granulosis (GV). Asimismo en 1934, Ishimori describe por primera vez a un nuevo tipo de poliedrosis en el gusano de seda, el cual se caracterizaba por formar CO's en el citoplasma de las células infectadas (Hukuhara 1985), lo que más tarde se conocería como virus de la poliedrosis citoplásmica. Cuando se empezó a trabajar



con microscopía electrónica de alta resolución, hubo un gran avance dentro de las investigaciones realizadas con virus entomopatógenos y entre los años 1930's y 1940's, Bergold, con la ayuda de la microscopía electrónica de transmisión, determinó la presencia de virus con forma de bastón dentro de los CO's (Mazzone 1985). Posteriormente, Steinhaus y colaboradores desde 1950 a 1975, realizaron las primeras aplicaciones en campo con baculovirus, mediante la introducción artificial del NPV del gusano de la alfalfa (Steinhaus 1975).

La producción comercial del primer insectida viral fue en 1975 bajo el nombre de Elcar, por la compañía Sandoz. Este bioinsecticida se obtuvo a partir de un NPV aislado del gusano elotero, *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae). De 1970 a 1985, se realizaron importantes avances en el entendimiento y genética de los virus entomopatógenos. El hecho de haber determinado el papel de los viriones no ocluidos de los baculovirus, durante su ciclo de infección, permitió poder realizar los primeros ensayos de purificación en placa en esos tiempos (Brown y Faulkner 1977). Esto trajo como consecuencia, la generación de los primeros baculovirus recombinantes, mediante la clonación de pequeños fragmentos del DNA de baculovirus en la bacteria *Escherichia coli*. En la actualidad, los estudios relacionados con la patología viral de insectos, se enfocan en determinar las secuencias genómicas completas del material genético de los virus entomopatógenos; para establecer relaciones filogenéticas entre las distintas familias, cepas y aislamientos. Hasta el momento más de 30 genomas de Baculovirus se han secuenciado completamente, dos de Entomopoxvirus, dos de Iridovirus y tres de Ascovirus. En el caso de los Cypovirus, aún no se ha secuenciado ningún genoma completamente y solo se han secuenciado algunos de los fragmentos de RNA más pequeños.

## CLASIFICACIÓN

Clasificar a los virus entomopatógenos no es una tarea fácil. Para ello se emplean criterios similares a los utilizados en la clasificación de otros virus (plantas, animales, microorganismos). Como cualquier otro virus, los virus entomopatógenos se clasifican y se ubican taxonómicamente por parte del Comité Internacional de Taxonomía Viral (ICTV, por sus siglas en inglés). Para realizar esta clasificación, se utilizan parámetros como la naturaleza del material genético, el tamaño del mismo, la morfología de la partícula viral o virión, la presencia o ausencia de una envoltura viral, el tamaño del virión y la presencia o ausencia de un CO. Los virus entomopatógenos se clasifican de acuerdo al insecto del que se aislaron y la nomenclatura que normalmente se emplea para denominar a un virus entomopatógeno, consiste en utilizar las dos primeras siglas del género del insecto huésped, seguidas de las dos primeras siglas de la especie de dicho insecto y finalmente, las siglas del grupo de virus del que se trate. De esta forma se utilizan

las siglas NPV, para los nucleopoliedrovirus; GV para los granulovirus; EPV para los entomopoxvirus; IV para los iridovirus y CPV para los virus de poliedrosis citoplásmica o cypovirus. La variedad de virus entomopatógenos es amplia, pero los virus con mayor potencial para utilizarse como bioinsecticidas, son sin duda los baculovirus. A continuación se describen las principales características de los virus entomopatógenos más estudiados en la actualidad.

### **Baculovirus**

Los baculovirus contienen DNA de doble cadena que varía de 80 a 130 kb y una partícula viral con forma de bastón. Los viriones se ocluyen en CO's que se conocen como poliedros (Tinsley y Kelly, 1985). Dentro de esta familia se han reconocido básicamente a dos géneros: *Nucleopolyhedrovirus* a los cuales se les conoce comúnmente como nucleopoliedrovirus (NPV); y los *Granulovirus*, conocidos como los granulovirus (GV). Dentro de los NPV existen dos subgrupos: los nucleopoliedrovirus simples (SNPVS), los cuales poseen una nucleocápside por envoltura viral y los nucleopoliedrovirus múltiples (MNPV) los cuales pueden tener más de una nucleocápside por envoltura. La especie tipo para los primeros es el virus de *B. mori*, mientras que para los segundos es el MNPV de *Autographa californica* (Lepidoptera: Noctuidae) (AcMNPV). Dichos virus se replican únicamente en el núcleo de las células infectadas y sus CO's miden entre 1 y 15  $\mu\text{m}$  de diámetro. Los GV son baculovirus cuyo poliedro tiene una forma granular y poseen únicamente una nucleocápside por envoltura viral y a su vez un solo virión por gránulo. Son mucho mas pequeños que los NPV (rango de 0.2 a 0.5  $\mu\text{m}$ ). La especie tipo es el GV aislado de la palomilla de la manzana *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae). El último grupo es motivo de controversia, ya que originalmente se le clasificó como un baculovirus, dentro de los virus no ocluidos (VNO), pero en los últimos reportes del ICTV, se le ubicó dentro de los virus no clasificados, pertenecientes al grupo de los los Nudivirus (Fauquet *et al.* 2005). La característica principal de este grupo es que las nucleocápsides no se encuentran ocluidas en una matriz de proteína y su replicación se ha observado principalmente en el núcleo de la célula huésped. La especie tipo la constituye el VNO del escarabajo de la palma, *Oryctes rhinoceros*. Se han reportado cerca de 600 aislamientos de baculovirus de diferentes insectos (Vlak 1992), pero el ICTV solamente reconoce a 30 especies de baculovirus como tales.

### **Entomopoxvirus o poxvirus**

La familia Poxviridae presenta virus con forma de ladrillo o tabique, DNA de doble cadena con un peso molecular 270 a 320 kb. Estos se replican exclusivamente en el citoplasma de las células infectadas y poseen una o más partículas virales ocluidas dentro de un CO de forma ovoidal, al cual se le

denomina esferoide. Estas partículas virales pueden llegar a medir hasta 400 nm de longitud y presentar un grosor de 250 nm. A su vez, la forma de la partícula viral puede variar de acuerdo al insecto que ataquen, desde una forma allantoidal hasta una forma cuadrada (Evans y Entwistle 1987). Los entomopoxvirus se han aislado a partir de 27 especies de insectos dentro de los Órdenes Orthoptera, Lepidoptera, Diptera y Coleoptera. Se les conoce comúnmente con el nombre de entomopoxvirus o poxvirus. La subfamilia Entomopoxvirinae comprende tres grupos: El grupo A que infecta a coleópteros (especie tipo, el virus de *Melolontha melolontha*); el grupo B, que infecta lepidópteros y coleópteros, cuya especie tipo es el virus aislado de *Amsacta moorei* y, por último, el grupo C que solamente infecta a dípteros y su especie tipo es el virus de *Chironomus luridus*. Se propone tentativamente a un cuarto género D, representado por virus que infectan himenópteros.

### **Cypovirus**

Los miembros de la familia Reoviridae que atacan insectos, son conocidos comúnmente como virus de la poliedrosis citoplásmica o cypovirus (CPV), debido a que presentan un CO de forma isométrica, semejando a los poliedros de baculovirus, aunque son de tamaño más grande y llegan a medir hasta 10  $\mu$ . Dentro de los CO, existen numerosos viriones icosaédricos con 12 proyecciones laterales. Estos virus se replican principalmente en el citoplasma de la célula huésped y poseen RNA segmentado de doble cadena, el cual puede medir entre 19 y 32 kb (Evans y Entwistle 1987). El número de segmentos del genoma varía de entre 10 y 12 segmentos de diferente tamaño, según de la especie de que se trate. El ICTV reconoce solamente 70 especies de CPV aislados de lepidópteros y un solo género denominado *Cypovirus*, cuya especie tipo es el CPV de *B. mori*. No obstante, existen reportes de más de 200 aislados de CPV de lepidópteros y 20 de dípteros.

### **Iridovirus**

Los miembros de esta familia presentan una partícula viral de forma icosaédrica, no están envueltos y no poseen CO. La característica más distintiva de estos virus es que presentan una iridiscencia que varía de color según la especie de virus. Estos virus poseen DNA lineal de doble cadena con un peso molecular que varía de 140 a 383 kb. Dentro de los insectos, se han encontrado solamente dos géneros de la familia Iridoviridae: los ***Iridovirus***, los cuales son virus pequeños con un rango de 120 a 130 nm, cuya especie tipo es el virus aislado del barrenador del tallo del arroz *Chilo suppressalis*; y los ***Chloriridovirus***, que poseen un mayor tamaño (180 nm) y su especie tipo es el virus aislado del mosquito *Aedes taeniorhynchus*. El ICTV reconoce solamente a

20 especies de iridovirus, pero los reportes mencionan aislamientos en 28 especies de dípteros, 12 de lepidópteros y cuatro de coleópteros.

### **Ascovirus**

Los ascovirus son miembros de la familia Ascoviridae la cual incluye solamente a virus aislados de insectos, específicamente de lepidópteros. Estos virus poseen un CO con forma de saco o vesícula, el cual ocluye viriones allantoidales. Poseen DNA de doble cadena el cual oscila en peso molecular, de 100 a 180 kb. Éstos se han aislado únicamente de ocho especies de lepidópteros noctuidos.

### **Polydnavirus**

Los polydnavirus son una familia de virus entomopatógenos que se caracterizan por infectar solamente a himenópteros endoparasitoides. Presentan viriones ovoides no ocluidos y su material genético es un DNA de doble cadena multipartita con un tamaño total que varía de 75 a 200 kb. Se reconocen solamente a dos géneros: los *Ichnovirus* cuya especie tipo es el polydnavirus aislado de *Campoletis sonorensis* y los *Bracovirus* cuya especie tipo es el polydnavirus aislado de *Cotesia melanoscela*.

## **MODO DE ACCIÓN**

Normalmente las infecciones causadas por virus en los insectos, se obtienen cuando éstos ingieren alimento contaminado con el virus. No obstante, también existen otras rutas alternas de infección, como son la contaminación de la superficie del huevo (ruta transovum), contaminación dentro del huevo (ruta transovario) y la infección por medio de parasitoides (Granados 1980). En los baculovirus, una vez que el virus entra al insecto, éste llega primeramente al lumen del intestino medio. Dentro de éste, debido al alto pH de los jugos intestinales (de 9.5 a 11.5) y posiblemente a la acción de algunas enzimas hidrolíticas, se degradan los CO's y se liberan los viriones envueltos (Granados 1980); en los baculovirus, éstos se fusionan a las microvellosidades de las células epiteliales y posteriormente las nucleocápsides desnudas se dirigen hacia al núcleo celular, en el cual se replica el virus (Fig. 1) (Granados y Williams 1986). En las infecciones causadas por los entomopoxvirus, existe una degradación del CO similar a la de los baculovirus y los viriones penetran a la célula huésped vía una fagocitosis y solamente dentro de ésta, se desnuda la nucleocápside y el proceso de replicación viral tiene lugar en el citoplasma de dicha célula (Fig. 1). Para los CPV, los CO's también se degradan en el intestino medio y liberan a los

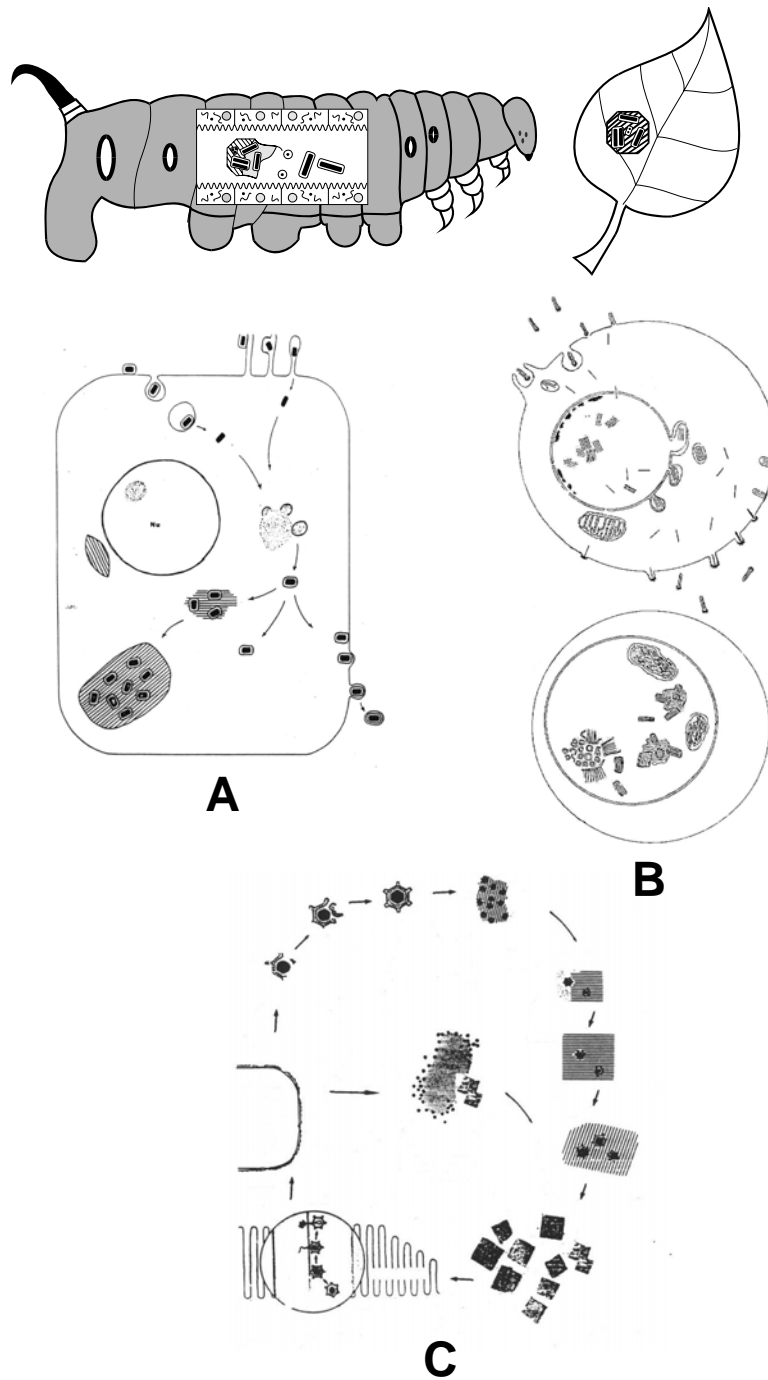


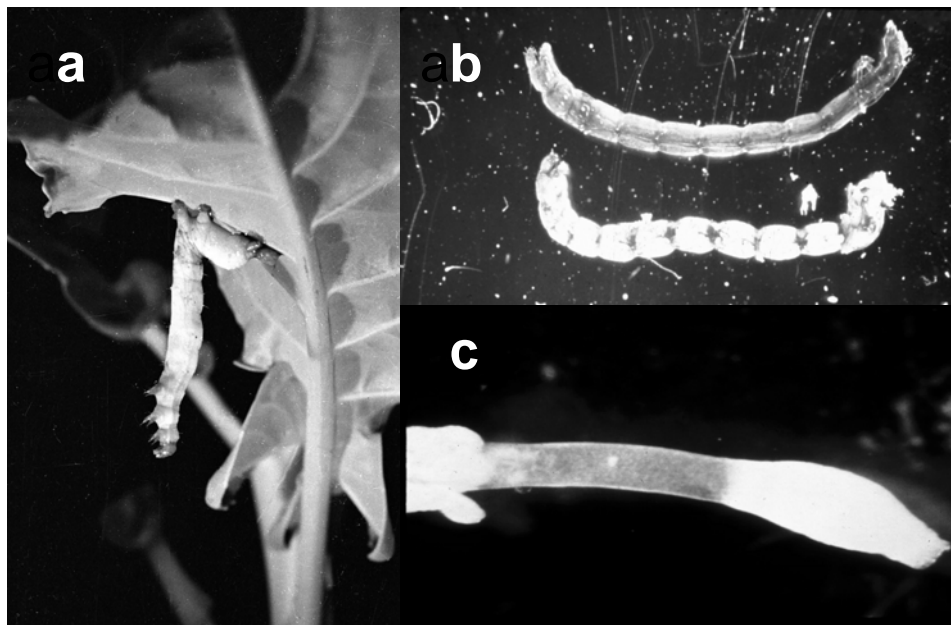
Figura 1. Ciclos de vida de Entomopoxvirus (A), Baculovirus (B) y Cypovirus (C).

viriones los cuales se fusionan a las microvellosidades de las células epiteliales del intestino medio, pero a diferencia de los baculovirus, la replicación ocurre únicamente en el citoplasma celular (Fig. 1). Por otro lado, los iridovirus entran a las células por pinocitosis y se transportan como lisosomas dentro de éstas, para posteriormente replicarse en el citoplasma de las mismas (Tanada y Kaya 1993). Los ascovirus se replican mediante un particular mecanismo, en donde las células susceptibles se desintegran para dar lugar a numerosas vesículas o sacos que contienen a los viriones allantoidales, los cuales se distribuyen a los tejidos secundarios, vía la hemolinfa. Finalmente, en las infecciones causadas por los polydnavirus, se sabe que estos son transmitidos verticalmente como provirus, integrados dentro del genoma de las avispas parasitoides (Fleming 1992). Aunado a ello, de acuerdo al género que se trate pueden salir de las células infectadas por lisis celular (Bracovirus) o bien por gemación (Ichnovirus).

Normalmente los virus entomopatógenos infectan a una gran diversidad de tejidos dentro del insecto. De acuerdo al virus del que se trate, algunos son monorganotrópicos, es decir, la infección viral se restringe a un solo tipo de tejido; por otro lado, existen los virus poliorganotrópicos, como los baculovirus e iridovirus, los cuales pueden causar infecciones sistémicas en el insecto infectado, dañando prácticamente a todos los tejidos. Como se mencionó anteriormente, los baculovirus atacan diversos tejidos del insecto, como tejido graso, epidermis, matriz traqueal y hemocitos. Mientras tanto, los entomopoxvirus se restringen principalmente al tejido adiposo y hemocitos; en el género D, infectan a las glándulas salivales, y los CPV únicamente afectan a las células del intestino medio. Para el caso de los iridovirus, se sabe que pueden causar infecciones sistémicas involucrando muchos tejidos del insecto, pero infectan principalmente al tejido adiposo (Tanada y Kaya 1993). Los ascovirus se restringen a infectar el tejido adiposo y se dispersan por la hemolinfa; los polydnavirus son específicos de un tejido en el insecto, el núcleo de las células epiteliales del calix de los ovarios de hembras adultas (Miller 1996). Las larvas infectadas con baculovirus no presentan síntomas durante los primeros días después de la infección. Posteriormente, se observa un cambio en el comportamiento del insecto, ya que sus movimientos son más lentos, deja de comer y el crecimiento se detiene (Granados y Williams 1986). También ocurre un cambio de color del integumento y el reblandecimiento del mismo, este se torna blanquecino, se rompe, y se libera un fluido blanco-grisáceo, el cual contiene CO's en grandes concentraciones. Finalmente, la larva muerta queda colgando generalmente de las propatas en una posición de V invertida, lo cual es un comportamiento que favorece la dispersión del virus en el medio ambiente (Fig. 2a).

En las infecciones con entomopoxvirus, puede observarse el tejido adiposo infectado en la parte posterior del abdomen del insecto, ya que esta región se torna de blanquecina y se hincha, lo que indica la presencia de los esferoides (Fig.

2b). La enfermedad se desarrolla lentamente en el tejido adiposo y en algunos coleópteros ésta puede desarrollarse sobre el saco rectal presentando una forma irregular y de un color blanquecino característico. En la naturaleza, los EPV están distribuidos ampliamente, pero en raras ocasiones causan epizootias (Goodwin *et al.* 1991). Para el caso de los CPV, las larvas presentan un retraso en el crecimiento y sufren una decoloración, pueden presentar diarrea y vómitos, pueden dejar de alimentarse, pero el integumento del insecto no se rompe fácilmente. La producción de grandes cantidades de CO's, proporciona al intestino un color blanco-cremoso característico (Fig. 2c).



**Figura 2.** a) Larva de *Trichoplusia ni* infectada con baculovirus. b) Larvas de *Chironomus spp.* sana (superior), e infectada con Entomopoxvirus (inferior). c) Intestino de mosquito infectado con Cypovirus.

La mayoría de las infecciones con CPV causan enfermedades crónicas en los insectos infectados, sin una considerable mortalidad larval. Por otro lado, las infecciones causadas por iridovirus bajo condiciones naturales causan una enfermedad fatal en los estadios inmaduros de los insectos. En insectos holometábolos, la enfermedad se manifiesta en los últimos estadios y pueden morir un poco antes de pupar. No obstante, los primeros síntomas de infección, son la iridiscencia en extremidades de propatas y tórax, las larvas infectadas no presentan comportamiento anormal sino hasta un poco antes de morir, que es

cuando dejan de alimentarse (Tanada y Kaya 1993). En las infecciones con polydnavirus, no hay una sintomatología aparente en las avispas infectadas, ya que estas no mueren debido a la infección, sino que existe más bien una relación mutualista entre el virus y el insecto huésped (Miller 1996). En los ascovirus, en las primeras etapas de la infección no hay sintomatología aparente, pero hacia el final de la enfermedad se afecta el desarrollo de la larva y aunque esta puede sobrevivir de dos a seis semanas, eventualmente muere (Miller 1996).

## PRODUCCIÓN Y FORMULACIÓN

Tradicionalmente, para la multiplicación masiva de los virus entomopatógenos, se utilizan dos metodologías básicas: (1) La reproducción en los individuos susceptibles (*in larva*); y (2) en cultivos *in vitro* de líneas celulares de insectos. El uso de insectos susceptibles, es sin duda el sistema más utilizado, ya que hasta el momento, ha resultado ser el medio de producción más económico; no obstante, dicho sistema involucra una labor intensiva debido a que se requiere manipular grandes cantidades de insectos vivos, bajo condiciones de insectario. Asimismo, se deben de optimizar una serie de factores como: El insecto huésped, las condiciones ambientales de su crecimiento, el inóculo viral y los métodos de producción utilizados. Sin duda, el insecto empleado es uno de los factores más importantes, ya que su origen, sea colectado en el campo o establecido en una colonia de insectario, determinará la calidad del producto viral obtenido. Por otro lado, la biología y hábitos alimenticios del mismo, son fundamentales para conocer el estadio de desarrollo más susceptible para la infección, así como el método de aplicación más viable del inóculo viral en la fuente de alimentación. Por otro lado, la composición de la dieta alimenticia, participa activamente en el costo de producción de los productos virales formulados. Estas pueden ser naturales o artificiales. La primera tiene la ventaja de que el insecto se puede mantener en las mismas plantas de las que se alimenta de manera natural. Sin embargo, la gran ventaja de las segundas, es la facilidad del mantenimiento de grandes poblaciones de insectos bajo condiciones de insectario totalmente controladas. Finalmente, para la producción *in larva*, el inóculo viral constituye un factor importante debido a que la pureza, la actividad biológica, y la dosis empleada del virus de interés, serán determinantes en la obtención y calidad del producto final.

Desde hace algún tiempo, se ha estandarizado la producción a gran escala del baculovirus de *B. mori*, lo cual se ha facilitando, debido a la domesticación de este insecto. Sin embargo, hasta ahora, la producción de los virus que se utilizan a nivel comercial, se ha realizando infectando al insecto huésped. Generalmente, a éste se le suministra el virus a través de dietas artificiales contaminadas y se utilizan larvas entre el 3o. y 4o. estadio, los cuales todavía son susceptibles a los



virus pero a su vez producen buenas cantidades de CO's. Se ha reportado que una buena producción con baculovirus, es cuando se obtienen de una larva de *Trichoplusia ni* de 3<sup>er</sup> estadio,  $5 \times 10^9$  CO's. No obstante para el caso de los baculovirus, ya se tiene una estandarización de la producción de CO's, la cual emplea "unidades virales" o "equivalentes larvales". Una unidad viral equivale a  $10^9$  CO's y un equivalente larval a  $6 \times 10^9$  CO's (Tanada y Kaya 1993). La utilización de colonias de insectos para la producción de agentes virales, trae consigo algunos problemas, adicionales a la extensiva labor en el manejo de grandes números de insectos, tales como la posible contaminación de las larvas con la cepa de virus que se desea producir, así como la contaminación bacteriana que normalmente se presenta en las últimas etapas post-infección. Para superar estos problemas, existe la alternativa de la producción de virus en líneas celulares. No obstante, que en dichas líneas los problemas de contaminación disminuyen notablemente, aún los costos de los medios de cultivo necesarios para su replicación, siguen teniendo un costo elevado no sustentable para la producción a gran escala.

Las formulaciones de los productos virales son importantes para obtener un producto comercial estable, que se pueda manipular fácilmente en el campo, con la finalidad de optimizar los métodos de aplicación y de esta manera asegurar que un insecto ingiera el inóculo viral. Los productos formulados cuyo ingrediente activo son virus entomopatógenos, incluyen algunos acarreadores inertes. En las formulaciones en polvo o secas, se pueden utilizar materiales minerales tales como atapulgita, bentonita y arena de sílica. Asimismo, también se han utilizado algunos de origen vegetal como el salvado de trigo, cáscara de nuez molida y olote molido (Williams y Cisneros 2001). Por otro lado, para aplicar dichos productos en el campo, se le puede adicionar a la formulación agentes surfactantes, los cuales contribuyen como humectantes y dispersantes del formulado viral. Existe una gran variedad de surfactantes, por ejemplo Adsee, Agral NN, Chevron, Rhoplex B60A y Tween 80. También se han empleado algunos adherentes (Agral NN, alcohol polivinilo, Hyvis 150, leche descremada), cebos o fagoestimulantes (sacarosa, aceite de semilla de algodón, glicerina, Gustol) y protectores de la luz ultravioleta (Tinopal LPW, Phorwite AR, Leucophor BS, carbón activado, ácido fólico) (Williams y Cisneros 2001). En general, las formulaciones para baculovirus son polvos humectables, los cuales se pueden aplicar fácilmente en el campo, con el equipo tradicional que se utiliza para la aplicación de los insecticidas químicos; la aplicación por aspersión es de las más utilizadas. Sin embargo, se han realizado algunas pruebas de formulaciones en microencapsulados, las cuales consisten en mezclar el inóculo viral con algunos polímeros, tales como la gelatina, pectina, quitina, y alginato de calcio, pero los almidones han resultado ser los más sencillos y fáciles de utilizar. Esta tecnología, ha resultado ser útil para el NPV de *Helicoverpa*. Lo más

importante al formular un producto viral, es que este permanezca viable por un periodo de almacén de por lo menos 18 meses. Es altamente recomendable que los formulados virales se almacenen a bajas temperaturas para prolongar su vida de anaquel, pero esto puede resultar bastante costoso. Los productos virales, sobretodo los de baculovirus, poseen la gran ventaja de que se pueden almacenar por varios años como polvos secos a temperaturas que oscilan en los 25°C, sin afectar su viabilidad.

## ESTRATEGIAS DE USO Y APLICACIÓN DE VIRUS

Existen diversas estrategias para utilizar los bioinsecticidas virales en campo. La estrategia más adecuada dependerá del tipo de plaga que se desea controlar, sus hábitos alimenticios, su comportamiento y el nivel y tipo de daño que ésta ocasiona en el hábitat donde constituye un problema. Por otro lado, los objetivos que se desean alcanzar al aplicar un bioinsecticida viral, representan otro requisito a considerar para decidir la estrategia de aplicación del producto viral. Dentro de estos objetivos podemos encontrar aquellos que van desde la protección de la planta (rendimiento o cosmético), hasta la reducción o eliminación del insecto plaga.

Una de las estrategias más empleada es la introducción del virus al medio donde se desarrolla la plaga. Esta puede ser accidental o inducida, con el fin de producir epizootias artificiales que disminuyan la densidad de la plaga. Algunos casos exitosos utilizando esta estrategia, han sido, el control de *H. zea* con Elcar, *L. dispar* con Gypchek, *O. pseudotsugata* con TM-Biocontrol-1 y *N. sertifer* con Neochech-S (Podgwaite 1985). Otra estrategia empleada con virus, es la colonización a largo plazo. Esta puede obtenerse después de la introducción del entomopatógeno y este último a su vez, puede establecerse gradualmente en el medio ambiente de la plaga y controlar el incremento de su población. Un ejemplo útil de este sistema, lo constituyen los baculovirus del escarabajo *O. rhinoceros* (Podgwaite 1985).

Otra estrategia para utilizar a los virus en el campo, es el aumento de una población de virus ya existente en el medio de la plaga. Esta puede aplicarse en aquellos sistemas en donde el virus se presenta naturalmente o ya haya sido introducido. Mediante aplicaciones tempranas, antes que la población plaga se incremente, el aumento del inóculo viral puede ser exitoso. Este sistema es útil en los sistemas forestales, donde en el suelo, puede persistir el producto viral resultante de una aplicación anterior. Finalmente, la estrategia de utilizar a los virus entomopatógenos, dentro de programas de manejo integrado de plagas también podría ser de gran utilidad. En estos casos, se requiere tener un conocimiento detallado de la biología y comportamiento del insecto plaga, con el

fin de saber cual es la etapa más propicia para la aplicación del virus y la alternancia con la aplicación de otros medios de control, como insecticidas químicos, otros insecticidas microbianos y parasitoides.

Cuando los productos a base de virus entomopatógenos se aplican en campo, se emplean los mismos equipos y aditamentos que se utilizan para aplicar los insecticidas químicos, tales como aspersión manual con mochilas, avionetas, y aspersión con equipo especial utilizando tractores. Esto representa una ventaja adicional, ya que no es necesario el empleo de equipo sofisticado, o bien, equipo que no exista en el mercado para la aplicación de los productos químicos. Sin duda alguna, la elección del método de aplicación dependerá de los resultados que se deseen obtener. No obstante, las metodologías de aplicación de productos a base de virus entomopatógenos son diversas. Dentro de éstas podemos mencionar a la liberación de huéspedes contaminados con el virus, los cuales servirán para infectar a otros insectos. Asimismo, otro sistema útil es la liberación de insectos depredadores y parasitoides infectados con un agente viral. Por otro lado, también se ha utilizado la contaminación y liberación de pájaros infectados, ya que éstos liberan a los virus en las heces, y éstas a su vez, pueden quedar expuestas sobre las plantas que sirven de alimento al insecto plaga. Otro método de liberación de agentes virales, es la utilización de cebos que contengan agentes virales, los cuales pueden prepararse a partir de granos y semillas, además de tener algún agente atrayente. Dentro de los métodos de aplicación de productos a base de virus, el más común ha sido la aspersión del virus como suspensiones acuosas. Finalmente, dentro de los métodos de aplicación más sofisticados, encontramos a la inmersión de plántulas con suspensiones de CO's y la inducción de la infección con virus "latentes" que estresan a la plaga (Podgwaite 1985).

## EVALUACIÓN

**Evaluación en invernadero.** Una vez que se ha probado la efectividad de una cepa de baculovirus bajo condiciones de laboratorio y con los análisis estadísticos más estrictos, será necesario validar su efectividad bajo las condiciones menos controladas pero más similares a las que estará sujeta en su utilización como bioinsecticida. De ahí que el siguiente paso en la validación de una cepa de baculovirus como agente de control sea el ensayo de su efectividad en campo. En algunos casos, cuando se requiere de mayor precisión sobre las dosis a probar en el campo, o la efectividad de la cepa es dudosa, o la experimentación en el campo es costosa, es recomendable realizar pruebas de efectividad bajo condiciones de invernadero. De esta forma se podrán afinar las condiciones en las que se probarán posteriormente en el campo o, inclusive, se podría determinar la ineficiencia de la cepa evaluada. Las pruebas de invernadero normalmente se realizan con plantas cultivadas en "camas" o macetas, con el número de

repeticiones y la uniformidad estadísticamente requeridos para cada tratamiento. Los tratamientos experimentales más frecuentemente probados bajo condiciones de invernadero son las diferentes dosis que podrían ser utilizadas bajo condiciones de campo, pero también se pueden probar diferentes coadyuvantes en la mezcla de aspersión, o diferentes tipos de aplicación, o los volúmenes del bioinsecticida requeridos para cada estado fenológico de la planta, o los residuos de la aplicación. Normalmente, las plantas son infestadas artificialmente con la plaga, con un número de individuos similar o mayor al que habitualmente están sujetas en condiciones naturales. El análisis estadístico de los resultados es similar al utilizado en las pruebas de campo.

**Evaluación en campo.** La evaluación de un producto a base de una cepa de baculovirus bajo condiciones de campo, al igual que las evaluaciones en el laboratorio, es similar a las técnicas utilizadas para evaluar la eficiencia de los insecticidas químicos. Las diferencias entre estas evaluaciones y las llevadas a cabo en el laboratorio son evidentes: (1) Casi un nulo control de las condiciones ambientales del experimento; (2) mayor variabilidad de los individuos sujetos al experimento; (3) menor control de los factores bióticos que inciden sobre las plagas; (4) diferentes parámetros para medir la efectividad del insecticida; y (5) diferencia en las técnicas estadísticas para analizar los datos experimentales.

Las evaluaciones bajo condiciones de campo pueden llevarse a cabo en lotes pequeños del cultivo, cuando se trata de pruebas preliminares o se requiere llevar a cabo un control más eficiente de las condiciones del experimento. Por otro lado, cuando se pretende la validación de un producto de control, se requieren de áreas más extensas de prueba. En estos casos es recomendable aplicar el producto a superficies mayores de una hectárea, con el objeto de equiparlo a las condiciones comerciales reales. Normalmente, ambos tipos de experimentos requieren de una planificación adecuada, donde es necesario determinar con anticipación el tamaño de la parcela experimental, el tamaño de muestra más representativo de la plaga y la época del año más apropiada para el experimento. Es necesario emplear las condiciones agronómicas reales del cultivo. En muchos casos, la unidad de parcela puede definirse como un número determinado de surcos (3-6), flanqueados por 2-3 surcos entre parcelas. La longitud de las parcelas experimentales puede variar, principalmente debido a la disponibilidad de terreno y del tamaño de las plantas individuales. Las unidades de muestra también varían con respecto al cultivo y a la plaga. La unidad más utilizada en las crucíferas es la planta completa (Ibarra y Aguilar 1993), donde se cuantifican las larvas sobrevivientes. Debido a que el efecto insecticida de los productos a base de baculovirus varía significativamente entre los diferentes estadios del desarrollo larvario, es recomendable que las larvas sean clasificadas en tamaños (ej. pequeñas y grandes, o pequeñas, medianas y grandes), con el objeto de analizar con mayor precisión el efecto insecticida.

La comparación del efecto entre los diferentes tratamientos (diferentes productos o dosis) con respecto tanto al testigo como al agente de control estándar, se realiza a través de análisis estadístico. En este caso, normalmente se efectúa un análisis de varianza entre las repeticiones de los diferentes tratamientos. Debido a que un experimento de campo normalmente presenta gran variabilidad entre las parcelas, es recomendable utilizar el mayor número de repeticiones posible (mínimo cinco). Aún así, el Coeficiente de Variación entre las repeticiones de un tratamiento normalmente es elevado (comparado con los ensayos de laboratorio), por lo que un valor de 40% es aceptable. Una vez establecida la diferencia significativa entre las varianzas de los tratamientos, se debe realizar una prueba de comparación de medias, con el objeto de establecer las diferencias significativas entre los tratamientos y de esta forma inferir la aplicabilidad del producto probado.

Por otro lado, debido a que la infección de los baculovirus es *per os*, la aplicación de bioinsecticidas a base de éstos debe tener una cobertura amplia y completa, con el objeto de aumentar la posibilidad de infección de los individuos susceptibles. Para ello, es indispensable no sólo seguir las recomendaciones propuestas para la aplicación de insecticidas químicos, sino poner especial atención a la calibración de las boquillas, que asegure una buena cobertura del producto. Por otro lado, es importante que las aplicaciones se lleven a cabo durante las horas de menor incidencia del sol, ya que el peor “enemigo” de los baculovirus en el campo son los rayos U.V. del sol. De ahí la recomendación de añadir (ya sea durante la formulación o como aditivo de aplicación) algún protector U.V.

Es recomendable efectuar un muestreo de las larvas en el campo, a diferentes periodos posteriores a la aplicación de un bioinsecticida viral. Esto puede proporcionar información valiosa con respecto a la tasa de infección de los insectos tratados y también del posible impacto de otros agentes causantes de mortalidad, tales como parasitoides y depredadores que atacan a los insectos infectados. En lo que respecta a las medidas de seguridad que se deben tomar durante y después de la aplicación, éstas son las que se utilizan normalmente cuando se aplican insecticidas microbianos, ya que los baculovirus poseen un alto grado de especificidad y no existe la posibilidad de infección hacia el hombre u otros vertebrados. Sin embargo, no se debe excluir la posibilidad de alguna reacción alérgica o de efectos secundarios de los componentes inertes utilizados en la formulación.

## VIRUS COMO AGENTES DE CONTROL BIOLÓGICO

El uso de los virus entomopatógenos es cosmopolita. Su aplicación y mayor éxito como bioinsecticidas se ha enfocado en los países desarrollados pertenecientes a Europa y América del Norte (E.U.A. y Canadá). En América Latina, se han empleado de manera moderada y ha sido difícil de implementar esta alternativa de control biológico, debido principalmente al lento modo de acción de los virus y a una falta de cultura en el uso de este tipo de agente de control de plagas. Los productores sienten cierto temor de aplicar “virus” a nivel de campo, a pesar de su comprobada inocuidad y su alta especificidad hacia los insectos blanco. No obstante, países como Brasil, Bolivia y Perú, ya producen de manera comercial sus propios bioinsecticidas virales. Uno de los ejemplos más exitosos de control microbiano con virus en un sistema agrícola, lo representa el control del gusano de la soya *Anticarsia gemmatalis* (Lepidoptera: Noctuidae) en Brasil. Durante más de 15 años esta plaga se ha mantenido debajo de los umbrales económicos en este país, con un control exclusivo con el NPV aislado de este mismo insecto. Anualmente se asperjan un promedio de un millón de hectáreas de soya con este NPV (Moscardi y Sosa-Gómez 1993).

En Perú, el control de la palomilla de la papa *Phthorimaea operculella*, se ha obtenido con gran éxito mediante la producción de su propio bioinsecticida a base de baculovirus. Esta plaga, provoca un enorme daño en el tubérculo de la papa, pero los agricultores regionales, han implementado una novedosa y fácil metodología de control, ya que al momento de cosechar la papa y previo a su almacenamiento, los sacos de papas sanas son espolvoreados con el producto viral en polvo. Sin duda alguna, uno de los ejemplos clásicos del control efectivo de una plaga con baculovirus, lo representa el NPV de *Heliothis virescens* (Lepidoptera: Noctuidae) el cual es efectivo para controlar especies de *Heliothis* que atacan al frijol soya, algodón, maíz, sorgo, tabaco y tomate (Huber 1986). Otro insecticida viral ampliamente comercializado es el AcNPV, el cual se ha utilizado exitosamente en el control de *Trichoplusia ni* (Lepidoptera: Noctuidae) sobre cultivos de coliflor y lechuga (Carter 1984), pero es conocido que posee un amplio rango de huéspedes.

Para el caso de los sistemas frutícolas, se han utilizado principalmente a dos baculovirus, el GV de la palomilla de la manzana *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae), el cual se ha utilizado para controlar efectivamente a las larvas de este insecto en Australia, Canadá, Europa y E.U. y el otro caso es el del Nudivirus o VNO (antiguamente clasificado como baculovirus) del escarabajo de la palma *O. rhinoceros*, el cual se ha utilizado con éxito en algunas islas del Pacífico Sur para reducir el daño ocasionado por esta plaga en las palmas de coco y aceite (Carter 1984, Huber 1986). Uno de los ejemplos de mayor éxito a nivel mundial, relacionado con la utilización de los baculovirus como bioinsecticidas,

ha sido su uso dentro de sistemas forestales. De esta manera se ha podido controlar al gusano peludo *Orgyia pseudotsugata* (Lepidoptera: Lymantriidae). Este insecto ha causado efectos devastadores en los bosques de los E.U.A, pero un NPV aislado de esta palomilla se ha aplicado en los mismos, y se ha logrado reducir en algunas pruebas casi el 100% de la población (Huber 1986). Otra plaga importante en los bosques del noreste de E.U.A, Europa Central y del Este, la región del Mediterráneo y Japón, es la palomilla gitana *Lymantria dispar* (Lepidoptera: Lymantriidae). Este defoliador ha destruido hasta 800 mil ha de bosques en los E.U.A., pero ha sido controlado eficientemente con el NPV aislado del mismo, cuyo producto comercial (Gypcheck) ya se registró en los E.U.A. Actualmente, ya se tienen registros de insecticidas virales a base de NPV de diprionidos. El NPV del diprionido del pino europeo *Neodiprion sertifer* (Hymenoptera: Diprionidae) ha sido empleado ampliamente en sistemas forestales y al menos 20 mil ha han sido tratadas en los últimos 30 años con este agente.

### COMENTARIOS FINALES.

Cuando se utilizan los baculovirus como bioinsecticidas en campo, es importante considerar algunos factores que influyen en la eficiencia de estos virus como agentes de control. Una de las características a considerar, es la potencia del inóculo que se emplee, ya que se sabe que diferentes aislados geográficos de la misma cepa viral, presentan una variabilidad en actividad biológica en función de la susceptibilidad de la población plaga nativa. También es importante considerar las condiciones climáticas de la región donde se va a utilizar a los bioinsecticidas virales, ya que la temperatura y la intensidad de la radiación solar constituyen un factor clave para el éxito de los baculovirus como bioinsecticidas. Los baculovirus se inactivan fácilmente con los rayos ultravioleta del sol, en períodos tan cortos como de 24 h. Por ello es importante la adición de protectores solares en la formulación de los productos virales. Se han utilizados compuestos como el ácido úrico y el Tinopal, los cuales han incrementado la vida media y actividad de los productos comerciales a base de virus. Adicionalmente, los tiempos de aplicación de los baculovirus en el campo, constituyen, otro factor clave para su éxito. Es altamente recomendable que los virus se apliquen temprano por la mañana o bien, por las tardes.

Por otro lado, debe considerarse seriamente los estadios larvarios de la población plaga y su densidad poblacional, para que los productos a base de virus sean exitosos, ya que se sabe que entre más desarrollado esté el insecto, menos susceptible es hacia una infección viral. Por ello, se recomienda hacer monitoreos tempranos en los cultivos, para verificar los instares larvarios más pequeños, ya que estos son los más susceptibles de contaminarse con virus. Es precisamente en

este momento, cuando deben aplicarse los productos a base de virus. Asimismo, debe tomarse en cuenta los hábitos alimenticios del insecto que se desea controlar. No es recomendable utilizar virus para el control de insectos críticos, tales como barrenadores o minadores, ya que sería difícil que éstos ingirieran las dosis letales de virus necesarias para causar una infección letal. Finalmente, la planta sobre la que se desea aplicar un bioinsecticida viral, es otro factor que debe de considerarse, ya que algunas plantas producen sustancias antimicrobianas como taninos, y ácidos, lo que podrían afectar la viabilidad de los baculovirus y aunque el efecto real de estos compuestos no se ha demostrado científicamente, es importante no ignorar la posibilidad de algún efecto adverso sobre los virus.

Finalmente, es importante mencionar que el potencial de los virus entomopatógenos es amplio, ya que representan una alternativa real, dentro del control biológico de plagas, es económicamente viable y tecnológicamente factible, que ya ha probado en reiteradas ocasiones su efectividad a lo largo de su aplicación durante muchos años, por parte de productores, compañías y agencias gubernamentales en diversos países. Nos corresponde a nosotros como responsables del cuidado y protección del medio ambiente, el decidir acerca del uso de esta tecnología prometedora para el control de insectos plaga.

#### LITERATURA CITADA

- Brown, M. and P. Faulkner. 1977. A plaque assay for nuclear polyhedrosis viruses using a solid overlay. *J. Gen. Virol.* 36: 361-364.
- Carter, J. B. 1984. Viruses as Pest-Control Agents. *En: Rusell (Ed.). Biotechnology and Genetic Engineering Reviews.* Vol. I. pp. 375-419.
- Evans, H. F. and P. Entwistle. 1987. Viral Diseases. *En: J.R. Fuxa y Y. Tanada (Eds.). Epizootiology of Insect Diseases.* J.Wiley & Sons, New York. pp. 257-322.
- Fauquet, C.M., M.A. Mayo, J. Maniloff, U. Desselberger and L.A. Ball. 2005. Virus Taxonomy. Eighth report of the international committee on taxonomy of viruses. Elsevier Academic Press. San Diego, California. 1259 p.
- Fleming, J.G.W. 1992. Polydnavirus: mutualists and pathogens. *Ann.Rev.Entomol.*37: 401-425.
- Goodwin, R. H., R. J. Milner and C. D. Beaton. 1991. Entomopoxvirinae. *En: J.R Adams y J.R. Bonami (Eds.). Atlas of invertebrate viruses.* CRC Press. Boca Ratón, Florida. pp. 259-285.
- Granados, R. R. 1980. Infectivity and mode of action of baculoviruses. *Biotech. and Bioengineering* 22:1377-1405.
- Granados, R. R. and K.A. Williams. 1986. *In Vivo* infection and replication of baculoviruses. *En: R. R. Granados y B.A. Federici (Eds.). The biology of baculoviruses.* Vol. I. CRC Press. Boca Ratón, Florida. pp.89-108.
- Huber, J. 1986. Use of baculoviruses in pest management programs. *En: R.R. Granados y B.A. Federici. (Eds.). The biology of baculoviruses.* Vol.II. CRC Press. Boca Ratón, Florida. pp.181-202.



- Hukuhara, T. 1985. Pathology associated with cytoplasmic polyhedrosis viruses. *En*: K. Maramorosh y K.E. Sherman (Eds.). *Viral insecticides for biological control*. Academic Press. Orlando, Florida. pp. 121-162.
- Ibarra, J. E. y L. Aguilar 1993. Pruebas de dos virus de la poliedrosis nuclear, para el control del falso medidor de la col, *Trichoplusia ni*, en brócoli, pp. 98-103. *En*: J. Leyva y J. Ibarra (ed.), *Memorias del XV Congreso Nacional de Control Biológico*. Sociedad Mexicana de Control Biológico, Cuautitlán, Edo. de México.
- Mazzone, H. M. 1985. Pathology associated with baculovirus infection. *En*: K. Maramorosh y K.E. Sherman (Eds.) *Viral insecticides for biological control*. Academic Press. Orlando, Florida. pp. 81-120.
- Miller, L. K. 1996. Insect viruses. *En*: B.N. Fields, D.M. Knipe, y P.M. Howley (Eds.). *Fields Virology*. Third Edition. Lippincott-Raven Publishers, Philadelphia. pp. 533-556.
- Moscardi, F. and D. R. Sosa-Gómez. 1993. A case study in biological control: soybean defoliating caterpillars in Brazil. *En*: I. Buxton, D.R. Shibles, R.A. Forsberg, B.L. Blad, K.H. Asay, G.M. Paulsen y R.F. Wilson (Eds.). *International Crop Science*. Crop Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin. pp. 115-119.
- Podgwaite, J. D. 1985. Strategies for field use of baculoviruses. *En*: Maramorosch, K. y K.E. Sherman (Eds.). *Viral insecticides for biological control*. Academic Press. Orlando, Florida. pp. 775-797.
- Steinhaus, E. A. 1975. *Disease in a minor chord*. Ohio State University Press: Columbus. 488 p.
- Tanada, Y. and H. K. Kaya. 1993. *Insect pathology*. Academic Press. San Diego, California. 666 p.
- Tinsley, T. W. and D. C. Kelly. 1985. Taxonomy and nomenclature of insect pathogenic viruses. *En*: K. Maramorosh y K. E. Sherman (Eds.). *Viral insecticides for biological control*. Academic Press. Orlando, Florida. pp. 3-25.
- Vaughn, J. L. 1992. Virus and rickettsia diseases. *En*: G.E. Cantwell (Ed.). *Insect diseases*. Vol.1. VMI Out of Print Books on demand. Ann. Arbo. Michigan, USA. pp. 49-85.
- Vlak, J. M. 1992. The biology of baculovirus *In Vivo* and In Cultured Insect Cells. *En*: J. M. Vlak, E. J. Schlaeger y A. R. Bernard (Eds.). *Baculovirus and recombinant protein production processes*. Editiones Roche. Interlakend, Switzerland. pp. 2-10.
- Williams, T. y J. Cisneros. 2001. Formulación y aplicación de los baculovirus bioinsecticidas. *En*: Primitivo Caballero, Miguel López-Ferber y Trevor Williams (Eds.). *Los baculovirus y sus aplicaciones como bioinsecticidas en el control biológico de plagas*. PHYTOMA-Universidad Pública de Navarra. España. pp. 313-372.

**Bioseguridad de Agentes de Control Microbiano**

*C. Toriello<sup>1</sup> y T. Mier<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Depto. de Microbiología y Parasitología, Fac. Medicina, UNAM, México, D.F. 01730  
toriello@servidor.unam.mx

<sup>2</sup>Depto. El Hombre y su Ambiente, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco,  
México, D.F. 04960

---

---

**CONTENIDO**

<i>Introducción</i> .....	180
<i>Pruebas para Determinar la Bioseguridad</i> .....	181
<i>Normatividad en México</i> .....	183
<i>Evaluación de Riesgos de Agentes Microbianos</i> .....	184
<i>Literatura Citada</i> .....	186

Toriello, C. y T. Mier. 2007. Bioseguridad de agentes de control microbiano, pp. 179-187.  
*En:* L. A. Rodríguez-del-Bosque y H. C. Arredondo-Bernal (eds.), Teoría y Aplicación del Control Biológico. Sociedad Mexicana de Control Biológico, México. 303 p.

## INTRODUCCIÓN

El concepto de bioseguridad ha tomado singular relevancia frente al avance indiscutible de la biotecnología. Por ejemplo, las plantas transgénicas cuyos genomas han sido modificados con DNA de otros seres vivos para adquirir una característica especial, como puede ser la resistencia a un herbicida, al ser sembradas en el campo agrícola, se integran a un agroecosistema en el cual van a existir intercambios naturales de material genético cuyos efectos solamente después de muchos años se harán plenamente evidentes y pudieran acarrear cambios favorables o desfavorables para el hombre. Frente a la avalancha de nuevos conocimientos generados en poco tiempo, han surgido imprevistos fenómenos que ahora exigen como contrapartida reglamentaciones novedosas para que la sociedad pueda adaptarse de manera eficiente a la aplicación de estas nuevas biotecnologías. Entre éstas, se sitúan los bioinsecticidas (organismos vivos) para el control de plagas agrícolas, los cuales antes de que puedan ser utilizados en el campo tienen que sujetarse a todas las pruebas técnicas requeridas para garantizar la seguridad de la salud pública y el ambiente. Una definición moderna de bioseguridad, contempla las políticas y los procedimientos adoptados para asegurar que las aplicaciones de la biotecnología moderna se realicen sin afectar negativamente la salud pública o el ambiente, con especial referencia a la protección y preservación de la biodiversidad (Pérez Miranda 2001). Sobre esta materia resulta entonces necesario adoptar normas específicas que se ajusten a las características y a los fenómenos igualmente específicos que generen los microorganismos al ser aplicados en el campo agrícola.

Diversos países y organizaciones, entre ellas la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Organización Mundial de la Salud, Grupo Internacional de las Asociaciones Nacionales de Manufactura de Agroquímicos, Organización Internacional de Control Biológico, Agencia de Protección del Ambiente (EPA) de Estados Unidos, Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE), y la Unión Europea, han contribuido al desarrollo de procedimientos para el registro de plaguicidas microbianos. Pero hasta el momento, en muchas naciones se siguen utilizando procedimientos similares a los empleados para el registro de insecticidas químicos, a pesar de que los bioinsecticidas están constituidos por organismos vivos y no por moléculas químicas, que producen efectos distintos y requieren de modelos de análisis diferentes sobre su impacto ambiental.

Los organismos vivos tienen una persistencia condicionada en el ambiente, ya que pueden ser eliminados tanto por factores bióticos (i.e. enemigos naturales) como abióticos (i.e. luz UV, temperaturas extremas). En comparación, los insecticidas químicos, por ejemplo los organoclorados (i.e. DDT) tienen una alta persistencia en el ambiente y pueden acumularse en las redes tróficas, o los

organofosforados (i.e. malatión), menos persistentes pero similarmente tóxicos para el hombre y los animales (Restrepo 1988). Las pruebas que son necesarias llevar a cabo para determinar la bioseguridad de los agentes microbianos son las que corresponden a su toxicología y al efecto sobre organismos no blanco y destino ambiental, por lo que serán los temas a tratar en este trabajo.

## PRUEBAS PARA DETERMINAR LA BIOSEGURIDAD

Los lineamientos que propone Siegel (1997), basados en procedimientos que presuponen la existencia de tres diferentes niveles de pruebas (Tiers 1, 2 y 3), a fin de evaluar el riesgo para mamíferos de un bioinsecticida, partieron de la propuesta formulada por la Organización Mundial de la Salud en 1981 (Anónimo 1981), para integrar su esquema de pruebas toxicológicas (Fig. 1). Este mismo formato de niveles de pruebas fue adoptado en E.U.A. y en diversos países de la Unión Europea. La Agencia de Protección Ambiental de E.U.A. (United States Environmental Protection Agency, EPA) sugiere que el nivel de pruebas 1 representa un enfoque razonable en la evaluación del riesgo que representa la utilización de bioinsecticidas, y en el cual si se obtienen resultados negativos, éstos permitirían presuponer un alto nivel de confianza en la bioseguridad de los agentes microbianos probados.

Entre las pruebas de toxicología del nivel 1 aplicables al producto sin formular, se encuentran: (1) Exposición aguda oral; (2) exposición aguda por inhalación (pulmonar); (3) exposición aguda intraperitoneal. De acuerdo a los procedimientos de la EPA, también se deben considerar dentro del nivel 1 de pruebas: (4) Exposición aguda dérmica; (5) irritación primaria oftalmológica; y (6) hipersensibilidad. El nivel 1 consiste en pruebas cortas (cuatro semanas o menos) y se evalúan la infectividad, toxicidad, irritabilidad y alergenicidad de los agentes microbianos, con una sola dosis para exposición oral e inhalación, e inoculación intraperitoneal, dérmica y ocular.

Por ejemplo, en México ya se han llevado a cabo algunos de estos estudios con hongos entomopatógenos utilizados como agentes microbianos. Entre ellos, están los estudios de infectividad con *Conidiobolus major* y *Erynia neoaphidis* (Toriello *et al.* 1986), *Hirsutella thompsonii* (Mier *et al.* 1989) y *Verticillium lecanii* (Mier *et al.* 1994). También se han llevado a cabo estudios de patogenicidad y toxicidad aguda oral con *M. anisopliae* var. *anisopliae*, *M. anisopliae* var. *acridum* y *Paecilomyces fumosoroseus* (Mier *et al.* 2005, Toriello 2003, Toriello *et al.* 2006). Se determinó la DL<sub>50</sub> en ratones de *Metarhizium anisopliae* (Toriello *et al.* 1999) y la toxicidad aguda dérmica por la inducción de dermatitis por contacto en suspensiones de conidios y extractos solubles de *M. anisopliae* var. *anisopliae* y *M. anisopliae* var. *acridum* (Sandoval Romero *et al.*

2006). Hasta ahora estos hongos han mostrado inocuidad en ratones, cobayos y hamsters.

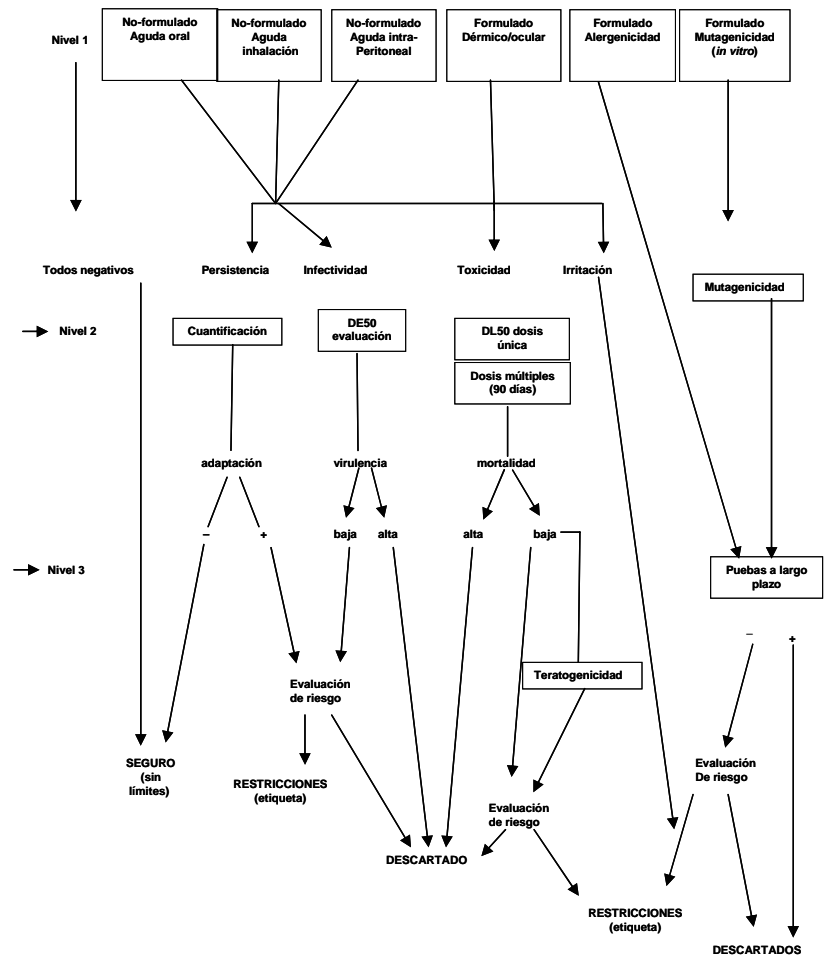


Figura 1. Procedimientos de bioseguridad para bacterias y hongos. Versión modificada a partir de Siegel (1997) (Reproducido de Bulletin WHO 59: 857-863). DE50 = Dosis de efectividad biológica, mg/kg requeridos para infectar 50 % de los animales de prueba; DL50 = Dosis letal media, dosis requerida para matar 50 % de los animales de prueba.

Cuando el agente microbiano no muestra efectos dañinos en estas pruebas se considera seguro. Si se detectara algún efecto indeseable se deberán llevar a cabo las pruebas correspondientes a los niveles 2 y 3. Éstas consisten en estudios a largo plazo, exposición a dosis únicas y múltiples, así como la cuantificación de

la toxicidad a través de la dosis letal media ( $DL_{50}$ ), infectividad a través de la dosis de efectividad media ( $DE_{50}$ ) e irritabilidad.

## **NORMATIVIDAD EN MÉXICO**

En México, la Norma Oficial Fitosanitaria publicada en el Diario Oficial de la Federación del 1 de junio de 2005 ([http://www.comerciointernacional.com.mx/incluyes/comercio/3/2005\\_06/2005-06-03\\_SS.doc](http://www.comerciointernacional.com.mx/incluyes/comercio/3/2005_06/2005-06-03_SS.doc)), requiere la siguiente información toxicológica (1.6.13): Estudios de propiedades toxicológicas con el nombre o nombres del autor, laboratorio o institución que realizaron la investigación de toxicidad oral y dérmica aguda ( $DL_{50}$ ); irritación primaria en ojos y piel. En caso de existir evidencia, estudios de patogenicidad para el humano u otros mamíferos que demuestren que el producto no contiene patógenos o variantes genéticos; alteraciones patológicas en piel y ojos después de una sola aplicación; estudios de hipersensibilidad o alergia.

Por otro lado, debido a los reconocidos efectos negativos de los insecticidas químicos en los consumidores, en ganado, aves, vertebrados, alimentos y contaminación del agua, se tomó conciencia sobre la importancia de realizar pruebas de los efectos de los productos, inclusive biológicos, sobre organismos no blanco y destino ambiental. En consecuencia, para la investigación sobre la seguridad de plaguicidas, así como para registrar bioinsecticidas se requiere de la evaluación del riesgo del agente sobre el ambiente, de acuerdo a procedimientos de la EPA, de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD), de la Unión Europea, y de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

En México, la norma oficial fitosanitaria de 2005, requiere de información ecotoxicológica, “sólo en caso de que exista evidencia”; estudios de efectos del plaguicida en flora y fauna terrestre; estudios de efectos de la flora y fauna acuática; estudios de la concentración letal media ( $CL_{50}$ ) aguda a 96 horas de exposición para una especie de pez; estudios de la  $CL_{50}$  de una especie vegetal acuática o estudio de la  $CL_{50}$  de una especie animal de la cual se alimente alguna especie de pez; y estudio sobre impacto a poblaciones de insectos benéficos y polinizadores.

La mayoría de los países coinciden en solicitar estudios sobre el efecto del microorganismo en cuestión, sobre aves (oral y por inhalación), mamíferos silvestres, peces (ambientes de agua dulce), invertebrados acuáticos de agua dulce, animales de estuario y marinos, plantas no blanco, insectos no blanco y abejas (polinizadores). Los procedimientos de la EPA en las pruebas del bioplaguicida sobre organismos no blanco, también están divididos en niveles de

prueba I, II, III y IV. De manera similar a las pruebas toxicológicas, cuando las pruebas del nivel I muestran efectos negativos, sugieren con alto nivel de confianza, que probablemente no existan efectos adversos en el ambiente y no habría necesidad de proceder a las pruebas de los siguientes niveles.

## **EVALUACIÓN DE RIESGOS DE AGENTES MICROBIANOS**

Existen dos corrientes en la evaluación de riesgo de los agentes microbianos para el control biológico. Los países, como la mayoría de los europeos, que ponen especial énfasis concerniente al destino de los agentes en el ambiente y su impacto en los organismos blanco y no-blancos, y por otro lado los países que requieren información detallada sobre los riesgos sobre la patología y toxicología de los agentes para el hombre y para los organismos no-blanco (Strasser *et al.* 2000). Tanto la eficiencia como los datos sobre impacto ambiental son relevantes y aquí juega un papel preponderante la investigación de estos hechos que puedan apoyar a las autoridades tanto de salud pública como las del ambiente, ya que las bases científicas que puedan sustentar estos aspectos ayudan a la toma de decisiones en cuanto a los efectos en la salud ambiental (Strasser *et al.* 2000).

Los estudios a largo plazo sobre el impacto de los agentes microbianos en la ecología, son también esenciales para conocer su efecto sobre la biodiversidad, sobre todo cuando se usan repetidamente a gran escala (Lomer 2001). Estos últimos son pocos hasta la fecha y se tendrán que tomar en cuenta para estudios futuros.

Sin embargo, todas estas pruebas tienen una duración extremadamente larga, lo que hace difícil el registro de un agente microbiano como bioinsecticida, que *a priori*, se reconoce específico de una plaga en especial. Por lo tanto es oportuno mencionar los resultados de la experiencia de Jaronski *et al.* (2003), sobre la extensa evaluación en el laboratorio que llevaron a cabo en cuanto al riesgo para invertebrados no blanco de *Beauveria bassiana* cepa GHA. Ellos mencionan que el mayor riesgo en la utilización de agentes microbianos de control pareciera radicar en el largo plazo e indirectamente por la eliminación del huésped blanco y estos efectos solamente pueden ser determinados por medio del rastreo constante a largo plazo. Consecuentemente, la respuesta sobre qué tan relevantes pueden ser los requerimientos regulatorios en la evaluación de la ecotoxicología de los agentes microbianos, sería que se necesitaran solamente pruebas mínimas a organismos no blanco para el registro de microorganismos autóctonos (Jaronski *et al.* 2003).

Otro aspecto que actualmente ha tomado interés, es el externado por los consumidores con respecto a que las micotoxinas puedan ser introducidas a la cadena alimenticia. Por ello, se ha generado interés en los metabolitos secundarios de hongos entomopatógenos, los cuales son secretados en pequeñas cantidades y su producción varía entre especies, cepas y condiciones de cultivo (Skrobek y Butt 2005, Skrobek *et al.* 2006). Sin embargo, faltan en la actualidad las herramientas adecuadas para evaluar el riesgo que estos metabolitos secundarios de los agentes microbianos fúngicos representan para la salud del hombre. Estudios recientes de Skrobek *et al.* (2006) sugieren una batería de organismos de prueba y líneas celulares para poder evaluar la toxicidad de los metabolitos secundarios de los agentes microbianos fúngicos.

A pesar de que no se han encontrado riesgos en los microorganismos por sí mismos a lo largo de varios ensayos y exposiciones en la naturaleza, el desarrollo de formulaciones nuevas y combinaciones de cepas sugieren que deben de existir evaluaciones detalladas en el futuro para asegurar que no causen efectos imprevistos, especialmente en el impacto a organismos no blanco. Además, el reglamento para la utilización de organismos genéticamente modificados (OGM) es cada vez más riguroso en todos los países y de manera similar éstos tienen que ser estrictamente estudiados en cuanto a su seguridad para el ambiente y los mamíferos (Glare 2004). Esta misma rigurosidad en cuanto a los OGM debería de realizarse en México y no como actualmente está en la norma COFEPRIS-06-008PMGM Org Genet Modif., donde se eliminaron algunos estudios toxicológicos y ecotoxicológicos que si deben de ser realizados en los plaguicidas microbiales COFEPRIS-06-006PM.

Es importante enfatizar la relevancia del rastreo a largo plazo en los animales e invertebrados no blanco y en el ambiente de todos los microorganismos utilizados en un manejo integrado de plagas, ya que solamente así es posible constatar la bioseguridad de los mismos a lo largo del tiempo de utilización. Este rastreo debería ser llevado a cabo por todas aquellas instituciones involucradas en el manejo integrado de plagas y sus resultados dados a conocer en los foros apropiados. Es solamente en época reciente que este tipo de investigaciones se están comenzando a llevar a cabo en el mundo (Farmer *et al.* 2007, Rodrigues Destéfano *et al.* 2004, Wang *et al.* 2004) y en México (Calderón Ezquerro *et al.* 2006), debido en parte a que hasta ahora se cuenta con herramientas moleculares como sondas de DNA que permiten detectar, de una manera precisa, cantidades mínimas de propágulos fúngicos específicos en el ambiente.

Por último, se debe mencionar que en la sesión de Abril 25-28, 2007 de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) en Roma, en el comité de ambiente y agricultura, enfatizaron que los



agroecosistemas proporcionan servicios ambientales esenciales tales como polinización, control de plagas y flujos de nutrimentos y por lo tanto, un mejor manejo de la agrobiodiversidad y de los hábitats alrededor, es clave para los sistemas sustentables de alimentación. En este contexto adquiere una particular relevancia tanto el conocimiento de la bioseguridad de los agentes microbianos utilizados en el control biológico de plagas, como el análisis de su liberación para evaluar los riesgos ambientales asociados con estas manipulaciones ecológicas.

### **Agradecimientos**

Las autoras agradecen al CONACYT el financiamiento al proyecto sobre hongos entomopatógenos para el control biológico de plagas agrícolas (Megaproyecto: G31451B).

### **LITERATURA CITADA**

- Anónimo. 1981. Mammalian safety of microbial control agents for vector control: a WHO Memorandum. *Bull Wld Hlth Org* 59: 857-863.
- Calderón-Ezquerro, C., C. Guerrero-Guerra, M. R. Reyes-Montes, I. Santiago-López, H. A. McCartney, V. M. Hernández-Velázquez, S. Gómez-Arroyo, M. Domínguez-Gallegos y C. Toriello. 2006. Detección molecular de conidios de *Metarhizium anisopliae* var. *acridum* colectados del aire para su seguimiento en el campo agrícola. *En: Memorias XXIX Congreso Nacional de Control Biológico*. Manzanillo, Colima, noviembre 6-8, 2006. pp. 487-490.
- Diario Oficial miércoles 1 de junio 2005. Segunda Sección, Secretaría de Salud. [http://www.comerciointernacional.com.mx/incluyes/comercio/3/2005\\_06/2005-06-03\\_SS.doc](http://www.comerciointernacional.com.mx/incluyes/comercio/3/2005_06/2005-06-03_SS.doc). pp. 26-29.
- Environmental Protection Agency (EPA, USA). 1996. [http://www.epa.gov/opptsfrs/publications/OPPTS\\_Harmonized/885\\_Microbial\\_Pesticide\\_Test\\_Guidelines](http://www.epa.gov/opptsfrs/publications/OPPTS_Harmonized/885_Microbial_Pesticide_Test_Guidelines) of 01/09/06.
- Farmer, M. J., X. Li, G. Feng, B. Zhao, O. Chatagnier, S. Gianinazzi, V. Gianinazzi-Pearson, and D. van Tuinen. 2007. Molecular monitoring of field-inoculated AMF to evaluate persistence in sweet potato crops in China. *Appl. Soil. Ecol.* 35: 599-609.
- Glare, T. R. 2004. Biotechnological Potential of Entomopathogenic Fungi. *In: Mycology Series, Volume 21: Fungal Biotechnology in Agricultural, Food, and Environmental Application*, Arora DF (Ed). Marcel Dekker, NY. pp. 79-90.
- Jaronski, S., M. S. Goettel, and C. J. Lomer. 2003. Regulatory requirements for Ecotoxicological Assessments of Microbial Insecticides – How Relevant are they?. *In: Assessment of Environmental Safety of Biological Insecticides*, Hokkanen H, Hayek A (Eds.).
- Lomer, C. 2001. World-wide survey of regulations affecting biopesticides. *Locust and Grasshopper Biocontrol Newsletter*. 1: 10.
- Mier ,T., J. Pérez, J. Carrillo-Farga, and C. Toriello. 1989. Study on the innocuity of *Hirsutella thompsonii*. I. Infectivity in mice and guinea pigs. *Entomophaga* 34: 105-110.

- Mier, T., F. Rivera, M. P. Rodríguez-Ponce, J. Carrillo-Farga y C. Toriello. 1994. Infectividad del hongo entomopatógeno *Verticillium lecanii* en ratones y cobayos. *Rev Lat-Amer Microbiol.* 36: 107-111.
- Mier, T., G. Olivares-Redonda, H. Navarro-Barranco, A. Pérez-Mejía, M. Lorenzana, A. Pérez-Torres, and C. Toriello. 2005. Acute oral intragastric pathogenicity and toxicity in mice of *Paecilomyces fumosoroseus* isolated from whiteflies. *Antonie van Leeuwenhoek* 88: 103-111.
- Pérez Miranda, R. 2001. Biotecnología, Sociedad y Derecho. UAM Azcapotzalco y Porrúa, México D.F.
- Restrepo, I. 1988. Naturaleza Muerta. Los plaguicidas en México. Editorial Andrómeda, México D.F.
- Rodríguez Destéfano, R. H., S. A. Lanza Destéfano, and C. L. Messias. 2004. Detection of *Metarhizium anisopliae* var. *anisopliae* within infected sugarcane borer *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera, Pyralidae) using specific primers. *Genetics Mol. Biol.* 27: 245-252.
- Sandoval-Romero, M. R., M. González-Ibarra, H. Navarro-Barranco, A. Pérez-Torres y C. Toriello. 2006. Bioseguridad de conidios y extractos antigénicos fúngicos de *Metarhizium anisopliae* var. *acridum* y *Metarhizium anisopliae* var. *anisopliae* en una prueba de dermatitis por contacto. XXIX Congreso Nacional de Control Biológico. Manzanillo, Colima. Noviembre 5-10, 2006. p. 258-261.
- Siegel, J. P. 1997. Testing the pathogenicity and infectivity of entomopathogens to mammals. *In: Manual of Techniques in Insect Pathology*, Lacey L (ed.). Academic Press, New York. pp. 325-336.
- Skropek, A. and T. M. Butt. 2005. Toxicity testing of destruxins and crude extracts from the insect-pathogenic fungus *Metarhizium anisopliae*. *FEMS Microbiol Lett* 251: 23-28.
- Skropek, A., D. Boss, G. Défago, T. M. Butt, and M. Maurhofer. 2006. Evaluation of different biological systems to assess the toxicity of metabolites from fungal biocontrol agents. *Toxicol Lett* 161: 43-52.
- Strasser, H., A. Vey, and T. M. Butt. 2000. Are there any risks in using entomopathogenic fungi for pest control, with particular referente to the bioactive metabolites of *Metarhizium*, *Tolypocladium* and *Beauveria* species? *Biocontrol Sci. Technol.* 10: 717-735.
- Toriello, C., J. M. Hernández Ibañez, R. López-Martínez, A. Martínez, L. López González, T. Mier, and J. P. Latgé. 1986. The pathogenic fungi of the spittlebug in Mexico. III. Innocuity of *Erynia neoaphidis* and *Conidiobolus major* in experimental animals. *Entomophaga* 31: 371-376.
- Toriello, C., H. Navarro-Barranco, A. Martínez-Jacobo y T. Mier. 1999. Seguridad en ratones de *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sorokin aislado de *Aeneolamia* sp. (Homoptera: Cercopidae) en México. *Rev. Mex. Mic.* 15: 123-125.
- Toriello, C. 2003. Bioseguridad de *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin (Hyphomycete). *Vedalia* 10: 107-113.
- Toriello, C., A. Pérez-Torres, A. Burciaga-Díaz, H. Navarro-Barranco, A. Pérez-Mejía, M. Lorenzana-Jiménez, and T. Mier. 2006. Lack of acute pathogenicity and toxicity in mice of an isolate of *Metarhizium anisopliae* var. *anisopliae* from spittlebugs. *Ecotoxicol. Environ. Safety* 65: 278-287.
- Wang, C., M. Fan, Z. Li, and T. M. Butt. 2004. Molecular monitoring and evaluation of the application of the insect-pathogenic fungus *Beauveria bassiana* in southeast China. *J. Appl. Microbiol.* 96: 861-870.

**Control Biológico de Maleza**

***R. N. Wiedenmann***

Department of Entomology, University of Arkansas, Fayetteville, Arkansas, 72703 U.S.A.  
rwieden@uark.edu

---

---

**CONTENIDO**

<i>Introducción</i> .....	189
<i>Enemigos Naturales de las Malezas</i> .....	192
<i>Importación de Agentes de Control Biológico</i> .....	193
<i>Especificidad de Agentes de Control Biológico</i> .....	195
<i>Literatura Citada</i> .....	199

Wiedenmann, R. N.. 2007. Control biológico de maleza, pp. 188-200. *En*: L. A. Rodríguez-del-Bosque y H. C. Arredondo-Bernal (eds.), Teoría y Aplicación del Control Biológico. Sociedad Mexicana de Control Biológico, México. 303 p.

## INTRODUCCIÓN

Una maleza se define como una planta que crece donde no es deseada. No hay nada inherente que haga cualquier especie de planta una maleza. Una planta en un lugar o situación puede ser una planta deseable, pero en otro sitio, se consideraría como una maleza. La planta “St. John’s wort” es usada como hierba medicinal para humanos así que es valiosa para los que la cultivan, pero cuando crece en pastos o en diversos terrenos en todo el occidente de E.U.A., se le considera como una maleza. La Organización de Alimentos y Agricultura de las Naciones Unidas ha estimado que la maleza reduce el suministro de alimentos en 11% a nivel mundial, lo cual equivale aproximadamente a las pérdidas causadas por insectos. En los E.U.A., los costos directos de pérdidas por maleza han excedido los \$29 mil millones de dólares por año.

Es importante aclarar que el control biológico de maleza, así como en insectos, no significa erradicación. La erradicación mediante el control biológico no es posible en la mayoría de los casos. En cambio, el objetivo es manejar la maleza para que su abundancia esté por debajo del umbral económico. De acuerdo con Julien y Griffiths (1999), en todo el mundo, 133 especies de plantas han sido el objetivo del control biológico mediante insectos y ácaros. Durante el último siglo, aproximadamente 350 especies de agentes de control biológico (principalmente insectos y ácaros) han sido liberados en 70 países. Los éxitos en el control biológico de maleza han sido numerosos y espectaculares. Desde hace mucho tiempo se ha utilizado el uso de *Cactoblastis cactorum*, contra *Opuntia* en Australia. El control biológico de maleza ha sido constantemente exitoso y repetido en países desarrollados y en vías de desarrollo alrededor del mundo.

El éxito logrado mediante el control biológico de maleza es más fácil de ver, demostrar y repetir en otras áreas del mundo que el control biológico de insectos. En la terminología del control biológico de maleza se conoce un concepto como “éxito biológico de Delfosse” (Anderson *et al.* 2003). Aún en la categoría de éxito biológico, puede haber muchos niveles de éxito: Completo, sustancial o parcial. Éxito completo significa que nunca ha habido necesidad de hacer algo más contra la maleza. Éxito sustancial significa que ocasionalmente o en pocos lugares, se necesitan algunas acciones, pero en la mayoría de los años y en la mayoría de los lugares no hay nada más que hacer. Éxito parcial significa que en algunos años no hay necesidad de acciones adicionales, pero en algunos otros años, deberán tomarse otras medidas de control. Por ejemplo, en el sur de Africa, de todos los proyectos de control biológico de maleza, aproximadamente el 25% fue considerado como éxito completo y más del 50% como éxito sustancial. En Nueva Zelanda, el 17% de los proyectos fueron considerados como éxito completo y el 67% como éxito parcial.

Existen también otras medidas de éxito para evaluar el control biológico de maleza: (1) Éxito ecológico, donde ocurre una recuperación o restauración; (2) éxito económico, donde los beneficios aumentan más que los costos; (3) éxito social, en el cual la sociedad adquiere beneficios o aumenta su entendimiento sobre el control biológico; (4) éxito legal, en el cual las leyes y normas son usadas efectivamente; (5) éxito científico, donde se incrementa el entendimiento de sistemas o procesos ecológicos; y (6) éxito político, en el cual el apoyo financiero y filosófico se logra como consecuencia del resultado de un proyecto más competitivo.

Aunque el control biológico de insectos puede tener los mismos tipos de éxitos, el control biológico de maleza tiene temas diferentes. Para controlar una maleza, se utiliza un agente que también tiene la posibilidad de llegar a ser una plaga si ésta ataca otras especies diferentes al objetivo. Los ataques en otras especies de plantas, a menudo estrechamente relacionadas con especies de plantas, son llamados efectos “no-blanco”. Algunas malezas no están relacionadas con ninguna planta de interés, como las especies de *Dipsacus*, que se originaron en el Este de Europa y Oeste de Asia. Dos especies de maleza *Dipsacus laciniatus* y *D. fullonum* son las únicas de esa familia de plantas que ocurren en Norteamérica, porque ambas fueron introducidas desde el viejo continente. Esto significa que hay menos oportunidad de que un agente se alimente de una planta relacionada (Rector *et al.* 2006). Sin embargo, muchas otras especies de maleza están estrechamente relacionadas con plantas nativas, a menudo en peligro de extinción.

En contraste, *Alliaria petiolata*, una planta de Europa que está invadiendo bosques en E.U.A., es una crucífera relacionada con muchas plantas cultivadas. Esta planta es la primera que germina en la primavera y a menudo se mantiene verde durante el invierno. Debido a que crece muy temprano, esta planta no compete con otras plantas originarias que crecen en la primavera. Muchas especies de curculiónidos del género *Ceutorhynchus* han sido encontrados en Europa y han sido examinadas por el laboratorio de CABI en Suiza. Hasta ahora, estos picudos parecen ser específicos y atacan solamente a esta planta. Cualquier agente que puede atacar esta maleza tiene que ser extremadamente específico para evitar ataques en plantas cultivadas.

*Cactoblastis* y *Opuntia* fueron el primer ejemplo de éxito de una maleza sobre una amplia área geográfica. Muchos otros éxitos han ocurrido en todo el mundo. Por ejemplo, el uso de escarabajos contra la maleza acuática *Salvinia* en el sudeste de Asia y en Nueva Guinea. La maleza había restringido completamente el tráfico en barco para la gente local. El control de ésta maleza trajo un gran beneficio a la cultura y al sustento de miles de personas locales. Otro

proyecto que fue repetido en más de 30 países alrededor del mundo fue el uso de dos picudos (*Neochetina eichhorniae* y *N. bruchi*) contra el lirio acuático.

El control biológico de maleza en los E.U.A. tiene una larga historia, la cual comienza a principios del siglo XX. Uno de los éxitos más espectaculares fue el uso de dos especies de crisomélidos, *Chrysolina quadrigemina* y *C. hyperici*, contra la maleza *Hypericum perforatum* en California. Esta maleza, que una vez cubrió grandes extensiones del occidente de los E.U.A, es originaria de Europa y Asia. En 1944, esta maleza infestó más de dos millones de hectáreas de pasto. La maleza es tóxica para el ganado, al alimentarse del pasto con el que compete. Esta maleza fue controlada existosamente en California con las liberaciones de los crisomélidos. Estos insectos redujeron la maleza en un 99% aproximadamente de sus densidades previas. El valor de la tierra aumentó hasta cuatro veces. El beneficio calculado hace más de 50 años fue de 3.5 millones de dólares por año, el cual continua aún hoy en día. Aún sin calcular los aumentos en los valores de tierra, el beneficio fue de más de 150 millones de dólares por una inversión de un millón de dólares. Desafortunadamente, el éxito en California no pudo repetirse en todo el occidente de los E.U.A. Estudios realizados desde de las liberaciones tempranas han demostrado la importancia del clima para los crisomélidos. En áreas donde llueve en la primavera, los insectos tienen un menor desempeño que en áreas donde llueve en el otoño.

Como el caso anterior, muchas especies de maleza en los E.U.A. que fueron objeto de control biológico son un problema en áreas de pastoreo, tales como *Senecio jacobaea*, *Centaurea* spp. *Euphorbia esula*. Grandes extensiones de tierra en el occidente de los E.U.A. fueron convertidas en lugares para alimentar el ganado hace más de cien años. Ésas tierras fueron fácilmente invadidas por maleza y el impacto económico del control biológico favoreció para la implementación de programas adicionales de control de maleza en áreas de pastoreo. El análisis económico demostró que algunos proyectos de biocontrol de maleza produjeron una ganancia de 112 dólares por cada dólar invertido. Desafortunadamente, la mayoría de los proyectos no tienen un adecuado y completo análisis económico, lo que dificulta desarrollar el éxito político (Anderson *et al.* 2003).

Históricamente, la mayoría de las malezas que afectan los E.U.A. son especies invasivas de regiones templadas de Europa y Asia, principalmente por que los inmigrantes en los años 1800 vinieron de dichas regiones y trajeron consigo la mayoría de esas malezas con ellos, involuntariamente o intencionalmente como hierbas o plantas medicinales. Recientemente, sin embargo, los patrones de inmigración han cambiado, como también el nivel de comercio de regiones tropicales y subtropicales del mundo. Ahora, algunos de los nuevos problemas de las malezas vienen desde áreas tropicales o subtropicales de

Asia, África y Latinoamérica. Para algunas de las malezas, el origen ancestral es entendible. Un ejemplo de esto es *Pueraria lobata*, originaria de Asia, y ahora un problema serio en el sur de los E.U.A. Por su parte, la maleza *Schinus terebinthifolius*, viene de Brasil, Argentina y Paraguay. Pero algunas de las recientes invasiones de maleza, se desconoce o se ha malentendido su origen. La maleza *Lygodium microphyllum* es un terrible invasor en la Florida, E.U.A. Esta maleza ocurre en el Viejo Mundo, desde África Occidental hasta el sudeste de Asia y las Islas del Pacífico. Debido a su agresividad, se desconoce si la maleza vino desde esas áreas o si los humanos la han transportado a otros países. El conocimiento del origen es importante para la búsqueda de sus enemigos naturales.

El éxito en los programas de control biológico de maleza no sucede rápidamente. Se ha estimado que algunos proyectos requieren 12 a 24 años de científicos (por ejemplo, 12 años de científicos equivalen a cuatro científicos que trabajan por tres años), y tienen un costo de varios millones de dólares por proyecto. Aunque, si un proyecto es un éxito, éste puede ser repetido en otra parte a un costo adicional pequeño, lo que hace que el proyecto sea más rentable. Como comparación, se estima que el desarrollo de un nuevo herbicida requiere de más de 40 millones de dólares. Aunque los proyectos para el control biológico de maleza pueden ser costosos, la relación beneficio:costo ha variado de 30:1 a más de 200:1.

## ENEMIGOS NATURALES DE LAS MALEZAS

### Herbívoros

La mayoría de los agentes usados contra las malezas en los últimos 100 años han sido artrópodos herbívoros. Más de 350 especies de insectos y ácaros se han utilizado para el control biológico. Los herbívoros más comunes son los coleópteros, especialmente curculiónidos y crisomélidos (43%), lepidópteros (32%), moscas (14%) y heterópteros (7%). Algunos de los insectos usados como agentes son herbívoros sólo durante las etapas inmaduras; en otros, ambas etapas, adultos e inmaduros, son herbívoros. La mayoría de los herbívoros que han sido usados para el control biológico son altamente específicos, a menudo hay sólo una gama estrecha de plantas de la que pueden alimentarse, o sólo de partes específicas, como flores abiertas o flores cerradas.

Algunas especies de animales vertebrados se han utilizado contra las malezas (ovejas, cabras, peces), pero éstos son usualmente generalistas que pueden causar problemas, particularmente si ellos llegan a ser salvajes, como el caso de las cabras. Aunque otros no están de acuerdo, mi primera regla sobre el

control biológico de maleza es “no vertebrados”. Debido a que los herbívoros pueden ser también plagas, es crítico que cualquier agente potencial sea analizado para garantizar su seguridad, lo que se discute con mayor detalle más adelante.

### **Patógenos**

Los patógenos afectan a las malezas así como afectan las plantas cultivadas. Al menos ocho especies de hongos han sido usados contra malezas; el éxito más espectacular ha sido el uso del hongo *Puccinia chondrillina*, introducido a Australia contra la maleza *Chondrilla juncea* (Hasan 1974). La mayoría de los hongos son específicos. Sin embargo, los hongos no se han utilizado con frecuencia para el control biológico de las malezas en los E.U.A., principalmente debido a las preocupaciones de que se conviertan en un problema para las plantas cultivadas. Sin embargo, si los protocolos y pruebas necesarias se llevan a cabo, no hay razón por la que un patógeno sea menos seguro que un artrópodo; de hecho, muchos patógenos son más específicos que ningún otro insecto.

### **Competidores**

En algunos casos se han utilizado plantas competidoras, aunque su uso ha sido limitado en el control biológico de maleza. A menudo, una planta que compite con una maleza competirá también con una planta deseable, tal como una planta cultivada, lo que limita su eficacia.

## **IMPORTACIÓN DE AGENTES DE CONTROL BIOLÓGICO**

El proceso de control biológico de maleza no es rápido. Existe un número de pasos (Harley y Forno 1992) que tienen que ser seguidos para maximizar el éxito del proyecto y garantizar la seguridad de cualquier agente introducido:

(1) Confirme que la maleza es un problema, cuya solución es factible mediante control biológico. ¿La maleza ocurre en grandes extensiones o sólo en un área restringida? Es necesario investigar en la literatura científica cualquier información acerca de la biología de la maleza y determinar si cuenta con enemigos naturales.

(2) Confirme la especie de la maleza con autoridades reguladoras del gobierno. Es necesario evitar conflictos de interés con otros. Recuerde, una planta que es considerada como maleza por algunos puede ser considerada una planta deseada por otros. Por ejemplo, la maleza europea *Lythrum salicaria* invadió los E.U.A. Aunque la planta es considerada como maleza por algunos, los apicultores



la consideran valiosa, ya que es una planta preferida por las abejas. Además, un herbívoro que puede ser considerado como agente contra una maleza, puede estar también estrechamente relacionado con un insecto plaga que está siendo objeto de control biológico. Por ejemplo, el picudo *Ceutorhynchus obstrictus* es una plaga de crucíferas en E.U.A.. Este insecto pertenece al mismo género de picudos utilizados para el control biológico de una maleza de la misma familia de las crucíferas. Al liberar parasitoides contra la plaga se reduciría la eficacia de los herbívoros utilizados para el control de maleza (Kuhlmann *et al.* 2006).

(3) Explore en el lugar de origen de la maleza. Una vez realizada la revisión bibliográfica, es necesario determinar el origen de la variedad de la maleza, ya que allí deberá realizarse la búsqueda de enemigos naturales que han coexistido con la maleza, los cuales serán los agentes bióticos potenciales para el control biológico. La exploración implica buscar enemigos naturales en rango ancestral, lo cual es más fácil de decir que de hacer. Si la búsqueda localizó grandes poblaciones de plantas de la maleza, entonces esa ubicación no es probablemente el sitio de origen. En el verdadero hogar, la maleza debe presentarse en bajas densidades. Si la planta es abundante, entonces los enemigos naturales no la están controlando, así que las especies encontradas probablemente no son agentes efectivos. Igualmente, los enemigos naturales son a menudo escasos. Por lo tanto, se tiene que buscar dónde la planta es difícil de encontrar.

(4) Investigar la ecología de la maleza en su variedad original, para determinar los agentes potenciales que pueden estar afectando las etapas significativas de la vida de la planta, o si diferentes circunstancias afectan a la planta en el nuevo lugar que ha invadido. Los insectos herbívoros pueden alimentarse de raíces, follaje, flores o semillas. Algunas malezas pueden producir muchas semillas pero sólo unas pocas germinan, así que un agente que se alimenta en semillas que reduce el número de semillas puede no ser efectivo contra la maleza. Un insecto que se alimenta de la raíz de una planta puede matar la planta, pero dicho insecto puede ser atacado por sus propios enemigos naturales, que lo hace menos efectivo en el lugar original que lo que éste sería en una área nueva. Con estos estudios, se trata de determinar cuáles agentes podrían afectar la maleza o impactar su supervivencia o reproducción, dando prioridad a esas especies que pueden afectar la maleza.

(5) Probar la especificidad de los agentes potenciales. La prueba de especificidad de plantas hospederas minimiza cualquier efecto en otras especies no-blanco, lo que se discutirá con mayor detalle más adelante.

(6) Después de la prueba de especificidad, es necesario escoger cuáles agentes usar y solicitar permiso para su introducción. A menudo, la elección de un agente la determina su facilidad de cría en el laboratorio. Debido a los posibles

efectos no-blanco, puede ser más fácil de buscar la aprobación para un agente que para otro. Buscar la aprobación de control biológico por agencias regulativas puede parecer un paso difícil, pero es una parte necesaria del proceso.

(7) Una vez que se aprueba la importación de cualquier agente, necesita ser transportado a un laboratorio de cuarentena certificado, donde los agentes son criados durante al menos una generación para asegurar que estén libres de enfermedades o parasitoides. La cuarentena no es para evaluar la eficacia de los agentes, sino para garantizar que ninguna especie no deseada sea introducida accidentalmente con los agentes.

(8) Después que los herbívoros sean introducidos en la cuarentena, es posible que se requieran permisos adicionales (gobierno local o agencias de estado) para liberar los agentes contra la maleza.

(9) Criar cantidades suficientes de los agentes para su liberación, lo que implica contar con una tecnología de cría masiva y un control de calidad adecuado para asegurar liberar individuos saludables y viables.

### **ESPECIFICIDAD DE AGENTES DE CONTROL BIOLÓGICO**

El control biológico de maleza tiene una larga historia de éxito así como de seguridad, debido al seguimiento estricto de los pasos mencionados anteriormente. A diferencia del control biológico de insectos, el proceso para probar la especificidad de agentes debe ser seguido al pie de la letra, porque un agente herbívoro podría llegar a ser una plaga; de hecho, muchas especies usadas como agentes de control biológico de maleza están relacionadas con plagas. A pesar del proceso detallado, muchas preguntas tienen que ser contestadas antes que un permiso sea otorgado. ¿Qué tan específico debe ser un agente? ¿Puede el agente atacar sólo una especie de plantas? ¿O puede éste atacar sólo unas pocas especies dentro de un género de plantas? ¿Son los artrópodos herbívoros verdaderamente específicos? ¿Si un herbívoro ataca a una planta no-objetivo, que tanto la daña? ¿Cómo debemos probar la especificidad de un agente y como debemos evaluar los resultados de alguna prueba definida?

Primero, hay que considerar que clase de daño puede ocurrirle a una planta, sea maleza o una planta no-objetivo. Para estar seguros, el agente no debe causar un daño significativo a las especies de plantas no-objetivo. Debido a que hay varios pasos en el establecimiento y crecimiento poblacional del agente, hay varios puntos en los cuales se debe valorar el daño posible. Para ser efectivo en contra de la maleza, cualquier agente tiene que aceptar la maleza como una planta

hospedera para alimentarse u ovipositar y su progenie debe desarrollarse exitosamente al alimentarse de la planta.

Se puede obtener información sobre la especificidad mientras se evalúan los enemigos naturales potenciales. ¿El agente potencial se encuentra en otras plantas o sólo en la planta objetivo? El agente potencial se encuentra en hábitats específicos o en diferentes tipos de hábitats y condiciones? Se puede también examinar colecciones de insectos y herbarios para determinar si el herbívoro ha sido registrado en otras plantas no-objetivo en otras partes del mundo. Finalmente, un importante pronosticador es saber qué tan estrechamente relacionada se comportan las especies herbívoras. ¿Son las especies del mismo género de herbívoros artrópodos específicos con los huéspedes que atacan o en los hábitats que ocupan, o son generalistas y son encontrados en muchos hábitats? Aunque se tenga información sobre especies relacionadas que ofrezca alguna percepción, ésto no reemplaza la estricta prueba del agente potencial.

Además de conocer varios aspectos sobre el agente potencial y sus parientes cercanos, ¿Qué se conoce sobre la maleza objetivo y sus familiares? ¿Están las plantas estrechamente relacionadas en el área que quizás sean afectadas por los agentes de control biológico? Por ejemplo, la maleza *Alliaria petiolata* es una crucífera, familia que tiene un gran número de especies que son usadas como cultivos. En contraste, *Dipsacus laciniatus*, planta nativa del Viejo Continente que es una maleza en E.U.A., es una de las dos únicas especies relacionadas, y la otra fue introducida también. Si hay plantas relacionadas, ¿Éstas albergan muchos herbívoros? ¿Son dichos herbívoros generalistas o especialistas? Otra vez, esta información no es un pronóstico absoluto, pero ofrece algunas sugerencias acerca de la probabilidad que un herbívoro o patógeno específico pueda ser encontrado y utilizado como agente de control biológico.

Antes de considerar cualquier prueba de especificidad de huéspedes, es necesario conocer la taxonomía y ecología de la planta objetivo. ¿Qué clase de hábitats ocupa? ¿Cuál es el fenología de la maleza objetivo? ¿Cuándo florece y fructifica? La taxonomía es importante para entender que las especies no-blanco necesitan ser analizadas. Hay varios enfoques para diseñar pruebas de especificidad de huéspedes. Quizás la prueba más fácil de considerar es la llamada “prueba de enfoque centrifugal” (Wapshere 1974). En este enfoque, las pruebas comienzan con plantas que son el pariente más cercano a la maleza objetivo, después llegan a ser gradualmente menos relacionadas o menos ecológicamente relevantes. La idea es que las plantas que están estrechamente relacionadas deben tener defensas similares, bien sean sustancias químicas o estructurales. En este enfoque los pasos de prueba serían: (1) La especie de la planta objetivo (como testigo), pero preferiblemente plantas de varias poblaciones genéticamente diferentes; (2) especies relacionadas en el mismo género de la

maleza objetivo; (3) plantas que pertenecen a géneros relacionados de la misma tribu o familia de la maleza objetivo; (4) plantas de varias familias de plantas relacionadas; (5) otras especies de plantas que han sido encontradas en hábitats similares y superpuestas en tiempo con la planta objetivo; (6) finalmente, especies de plantas que son agrónomicamente importantes, como maíz, soya, trigo, algodón, alfalfa y arroz, incluso si la planta objetivo no tiene ninguna relación con dichos cultivos.

A medida que las pruebas progresan, de la planta objetivo a las plantas relacionadas y a las plantas menos relacionadas, si el agente potencial se está alimentando, depositando huevos o dañando a las plantas no-blanco, tal daño ayuda a tomar una decisión sobre su especificidad. Un herbívoro puede atacar una o más plantas del mismo género sin que esto sea preocupante, pero si también se alimenta de un número de plantas en otros géneros u otras familias, es poco probable que sea considerado como un candidato factible. En caso extremo, si el agente potencial se alimenta de las plantas cultivadas, el agente debe descartarse de inmediato.

Es también importante decidir qué clase de pruebas deben realizarse, ya que lo anterior determina el resultado obtenido. Algunas pruebas son llamadas de “no-elección”, en este caso, el agente es colocado sólo con la planta no-objetivo y mantenido allí hasta que se alimente u oviposite en la planta, o hasta que el agente muera. Si un insecto herbívoro no se alimenta de una planta no-objetivo y muere sin alimentarse, es una evidencia de que el herbívoro no se alimentará de esa planta. Esta situación de no-elección es poco realista y el agente potencial puede alimentarse sólo porque se está muriendo de hambre y no tiene otra elección. Sin embargo, a menudo si el mismo agente potencial fuera presentado con la misma planta no-objetivo cuando hay elección de la especie (entre ellas la maleza objetivo), el agente quizás no se alimente de las especies no-objetivo. Las pruebas “de elección”, en las cuáles un agente es expuesto a una variedad de plantas objetivos y no-objetivos al mismo tiempo, son mucho más realistas. En el campo, un herbívoro siempre se enfrenta con una elección de plantas en las cuales puede alimentarse o depositar huevos. Las pruebas de elección son siempre más realistas, pero los resultados pueden ser más difíciles de analizar. Además, si un agente se alimenta u oviposita en la planta, ¿Cuánta alimentación y oviposición es importante? Si un herbívoro prueba una planta, pero no se alimenta más, ¿es esto suficiente para preocuparse? Probablemente no. Si un insecto herbívoro usualmente pone 100 huevos, pero sólo pone dos huevos en la planta no-objetivo, ¿Es esto suficiente para causar preocupaciones? Nuevamente, probablemente no. La interpretación de los resultados de las pruebas en los E.U.A. es realizada por un grupo de científicos del mismo nivel que no están asociados con el proyecto, pero con suficiente experiencia para analizar los resultados y hacer

recomendaciones acerca si un agente potencial es suficientemente seguro para ser importado y liberado.

Una vez que se decide que plantas no-objetivo deben ser analizadas y qué clases de pruebas, es necesario decidir en dónde serán realizadas las pruebas. La especificidad puede ser probada en campo o en laboratorio. Claramente, las pruebas en el campo (a menudo llamadas “pruebas de jardines comunes”) son más realistas que las pruebas en el laboratorio. Sin embargo, las pruebas de campo no deben realizarse en el país donde la planta objetivo es una maleza introducida, sino hasta después que cualquier agente sea autorizado para la liberación. Las pruebas de campo son usualmente realizadas en el país de origen de la maleza y del agente de control biológico. Esas pruebas incluyen plantas relacionadas, la maleza objetivo y otras combinaciones de especies que son escogidas de la lista de posibles no-objetivos, usando el modelo centrifugal. Debido a que los resultados de las pruebas son determinantes para decidir si un agente puede ser importado y liberado, es importante que las pruebas sean rigurosas y que los resultados puedan ser analizados e interpretados.

Además de las pruebas de alimentación en plantas no-objetivo, la oviposición y desarrollo de inmaduros en las plantas no-objetivo son igualmente importantes. Aunque la alimentación en una planta individual no-objetivo puede ser un problema, la población de una especie no-objetivo no es un riesgo a menos que el agente potencial pueda producir también una nueva generación en la planta no-objetivo. La combinación de alimentación de los adultos, la oviposición y el desarrollo exitoso de la progenie determina si un agente potencial es un riesgo para plantas no-objetivo. Si cualquiera de estas condiciones no se cumple, la población de plantas no-objetivo no está en riesgo.

¿Se puede predecir la seguridad de que un agente potencial no dañará cualquier planta no-objetivo? En primer lugar, hay una diferencia entre daño y efecto del daño. Una alimentación limitada en una planta no-objetivo puede ser considerado un daño, pero la población de plantas no-objetivo no están en riesgo. ¿Es posible que con el tiempo un agente cambie su preferencia por plantas hospederas y ataque otras especies que fueron consideradas una vez seguras? La literatura no reporta cambios de huéspedes en los artrópodos utilizados para el control biológico de maleza en los últimos 100 años. Claramente, los cambios de huéspedes han ocurrido en tiempo evolutivo, pero no en tiempo ecológico. En las situaciones en las que ha habido efectos en las especies de plantas no-objetivo, han sido el resultado de insuficientes pruebas de especificidad. Por ejemplo, la alimentación del picudo *Rhinocyllus conicus* fue probada en varios cardos originarios de E.U.A. antes de su liberación contra el cardo *Carduus nutans*. Después cuando el picudo fue encontrado atacando varios cardos nativos del género *Cirsium*, el control biológico fue culpado por ser impredecible. Sin

embargo, la alimentación en otros cardos fue conocida por la prueba original (Boldt 1997), pero la decisión hecha en ese momento (1960's) fue que el riesgo hacia los cardos originarios era mínimo. El riesgo es difícil de cuantificar y la aceptación de riesgo cambia con el tiempo y bajo diferentes circunstancias. A pesar de este caso, el cual ha sido bien documentado (Louda *et al.* 1997), el control biológico es aún considerado muy seguro por la mayoría de ecologistas de la maleza.

El control biológico es un método poderoso y seguro, sin embargo es importante recordar que a menudo éste no es el fin de un proceso, sino una parte. Algunas veces el control de una maleza puede provocar la invasión de otra maleza, especialmente en áreas naturales. También, algunos agentes pueden ser efectivos al eliminar una maleza, mientras que otras especies de agentes pueden ser efectivas al mantener la planta a bajas densidades. Delfosse (comunicación personal) se ha referido a factores que reducen la población de maleza como “front-end stressors” y a los factores que mantienen la maleza que se recupera en número y llegar a ser una maleza otra vez como “back-end stressors”. Debido a que los herbívoros u otros agentes pueden diferir en sus estrategias y en su eficacia, es importante considerar los dos tipos, “front-end stressors” para reducir la maleza a un nivel bajo y “back-end stressors” para mantener la maleza en densidades suficientemente bajas que ya no son consideradas como maleza.

El control biológico de maleza ofrece una alternativa viable, efectiva y de elevada relación beneficio:costo. Existen numerosas oportunidades para utilizar el control biológico contra maleza, en una variedad de sitios, cultivos, praderas, bosques, cuerpos de agua o en áreas naturales. Es importante decidir primero si la maleza debe ser erradicada o manejada a un nivel en el cual no cause impacto. El manejo integrado de maleza es el camino apropiado y el control biológico es sólo una parte de este sistema. Como consecuencia del desarrollo de resistencia a herbicidas por muchas malezas, el control biológico representa una opción importante que puede durar para siempre. Sin embargo, debido a que la liberación de un agente puede durar para siempre, es absolutamente importante realizar un proyecto de control biológico de la manera más segura posible, a través de todas las pruebas necesarias y trabajando bajo un sistema regulatorio para asegurar que todas las medidas preventivas hayan sido tomadas.

## LITERATURA CITADA

- Anderson, G. L., E. S. Delfosse, N. R. Spencer, C. W. Prosser and R. D. Richard. 2003. Lessons in developing successful invasive weed control programs. *Journal of Range Management* 56: 2-12.
- Boldt, P. E. 1997. Response of a *Rhinocyllus* researcher. *Biocontrol News and Information* 18: 100.

- Hasan, S. 1974. First introduction of a rust fungus in Australia for the biological control of skeletonweed. *Phytopathology* 64: 253-254.
- Julien, M. H. and M. W. Griffiths. 1999. Biological control of weeds. A world catalogue of agents and their target weeds, fourth edition. CAB International Publishing, Wallingford, UK.
- Kuhlmann, U., P. G. Mason, H. L. Hinz, B. Blossey, R. A. DeClerck-Floate, L. M. Dossall, J. P. McCaffrey, M. Schwarzlaenderr, O. Olfert, J. Brodeur, A. Gassmann, A. S. McClay and R. N. Wiedenmann. 2006. Avoiding conflicts between insect and weed biological control: selection of non-target species to assess host specificity of cabbage seedpod weevil parasitoids. *Journal of Applied Entomology* 130: 129-141.
- Louda, S. M., D. Kendall, J. Connor and D. Simberloff. 1997. Ecological effects of an insect introduced for biological control of weeds. *Science* 277: 1088-1091.
- Recctor, B. G., V. Harizanova, R. Sforza, T. Widmer and R. N. Wiedenmann. 2006. Prospects for successful biological control of teasels, *Dipsacus* spp., a new target in the United States. *Biological Control* 36: 1-14.
- Wapshere, A. J. 1974. A strategy for evaluating the safety of organisms for biological weed control. *Annals of Applied Biology* 77: 201-211.

**Control Biológico de Insectos Plaga en el Sureste de México**

*J. F. Barrera<sup>1</sup> y J. I. López-Arroyo<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>El Colegio de la Frontera Sur, Carr. Antiguo Aeropuerto km 2.5, Tapachula, Chis., 30700 México  
jbarrera@ecosur.mx

<sup>2</sup>INIFAP Campo Experimental General Terán. Apdo. Postal 3, General Terán, N. L., 67400 México  
lopez.jose@inifap.gob.mx

---

---

**CONTENIDO**

<i>Introducción</i> .....	202
<i>Control Biológico de Insectos en el Sureste</i> .....	202
<i>El Pulgón Café de los Cítricos</i> .....	203
<i>La Broca del Café</i> .....	214
<i>Literatura Citada</i> .....	225

Barrera, J. F. y J. I. López-Arroyo. 2007. Control biológico de insectos plaga en el sureste de México, pp. 201-233. *En*: L. A. Rodríguez-del-Bosque y H. C. Arredondo-Bernal (eds.), *Teoría y Aplicación del Control Biológico*. Sociedad Mexicana de Control Biológico, México. 303 p.



## INTRODUCCIÓN

La región agrícola del sureste de México está constituida por aproximadamente 1.4 millones de hectáreas de cultivos anuales y perennes en los estados de Campeche, Chiapas, Quintana Roo, Tabasco y Yucatán. En dicha región son cultivadas extensivamente al menos 26 especies vegetales. Esta diversidad está constituida por 12 cultivos anuales y 14 frutales perennes y cultivos industriales como cacao, café y caña de azúcar. En el sureste del país los cultivos que destacan por la superficie son el maíz (701,988 ha), frijol (105,162 ha), caña de azúcar (88,497 ha), plátano (37,492 ha), cítricos (35,197 ha), así como el café en Chiapas (253,955 ha) y el cacao en Tabasco (40,833 ha) (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera 2007). De los Estados que integran el sureste de México, Chiapas sobresale con la mayor superficie cultivada, con el 67.3% del total en la región.

La diversidad de cultivos en el sureste del país es atacada principalmente por 45 especies de artrópodos plaga, de las cuales cinco son especies de ácaros y el resto son insectos de los Órdenes Hemiptera (17 especies), Lepidoptera (nueve especies), Coleoptera (siete especies), Diptera (tres especies), Thysanoptera (tres especies) y Orthoptera (una especie) (Cuadro 1). Durante las décadas los 1970's a los 1990's, sobresale en la región las invasiones de insectos plaga, principalmente la broca del café, *Hypothenemus hampei* Ferrari (Coleoptera: Curculionidae) (Barrera *et al.* 2007), abeja africana, *Apis mellifera scutellata* Lepeletier (Hymenoptera: Apidae) (Cairns *et al.* 2005), así como especímenes infectivos de *Myndus crudus* Van Duzee (Hemiptera: Cixiidae), el vector del fitoplasma causante del amarillamiento letal del cocotero (Domínguez *et al.* 1999).

El presente capítulo documenta la situación actual del control biológico de insectos plaga en el sureste mexicano. Particularmente se presenta una revisión de los casos del pulgón café de los cítricos y de la broca del café, como ejemplos de los esfuerzos que se han realizado en esta región del país durante los últimos años.

## CONTROL BIOLÓGICO DE INSECTOS EN EL SURESTE

En todos los cultivos establecidos en el sureste de México, el control biológico se ha aplicado para atacar al menos una plaga de las diversas especies que inciden, a través principalmente de liberaciones del depredador *Chrysoperla* spp. (Neuroptera: Chrysopidae) y del parasitoide *Trichogramma* (Hymenoptera: Trichogrammatidae), así como aspersiones de los diversos entomopatógenos que son comercializados en el país (Cuadro 1). En la región sobresale el control biológico por introducción de enemigos naturales en mango para el control de

moscas de la fruta (Montoya *et al.* 2000, Cancino *et al.* 2002) y en cafeto para el control de la broca (Barrera 2005b) (Cuadro 2).

Posiblemente derivado de la apertura comercial y por la afluencia del turismo extranjero, en el período de 2000-2007, la región ha sufrido la invasión del pulgón café de los cítricos (Michaud y Alvarez 2000), psílido asiático de los cítricos (López-Arroyo *et al.* 2005), trips oriental (J. Jasso-Argumedo 2007, INIFAP en Yucatán, com. personal), cochinilla rosada del hibisco, palomilla del nopal<sup>2</sup>, y existe el riesgo de la invasión de mosca del Mediterráneo, mosca de la fruta del Caribe, así como de los patógenos causantes de la clorosis variegada de los cítricos y leprosis de los cítricos, cuyos vectores *Homalodisca coagulata* y diferentes especies de los ácaros *Brevipalpus*, respectivamente, forman parte de los artrópodos existentes en las zonas cítrícolas de la región (López-Arroyo *et al.* 2003a,b, J. Jasso-Argumedo 2007, INIFAP en Yucatán, com. personal ) (Cuadro 2). Estas especies de artrópodos constituyen riesgos de consideración para el desarrollo agrícola del sureste de México, factor que en el corto plazo es posible que incremente notoriamente el número de los programas de control biológico clásico, ya que en el caso de las plagas de reciente introducción a la región como el psílido asiático, la palomilla del nopal o plagas cuya invasión es potencial como la cochinilla rosada del hibisco, existen programas de control biológico ya definidos para su aplicación (Cuadro 2).

## EL PULGÓN CAFÉ DE LOS CÍTRICOS

### Importancia

El pulgón café de los cítricos, *Toxoptera citricida* (Kirkaldy) (Homoptera: Aphididae), es el vector más eficiente del virus tristeza de los cítricos (Closteroviridae: *Closterovirus*) (VTC) (Hermoso *et al.* 1984, Roistacher y Bar-Joseph 1987, Cermeli 1992, Geraud 1992, Halbert y Brown 1996). El patógeno ocasiona generalmente la muerte del árbol infectado y ha sido la causa de la eliminación de más de 116 millones de árboles de cítricos a nivel mundial (Hermoso *et al.* 1984, Roistacher y Bar-Joseph 1987, Cermeli 1992, Geraud 1992, Rocha-Peña *et al.* 1992, Sánchez-Anguiano 2003). Debido a su importancia en la transmisión del VTC, este insecto es considerado como una de las plagas más serias de los cítricos a nivel mundial (Lee *et al.* 1992). Actualmente, son escasas las regiones cítrícolas del mundo que permanecen sin ser invadidas por el pulgón café de los cítricos.

---

<sup>2</sup> ALERTA: Detección de *Cactoblastis cactorum* en Isla Mujeres, Quintana, Roo, México.  
<http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/cactoblastis/doctos/cactoblastis.html>

**Cuadro 1. Control biológico de los principales artrópodos plaga de los cultivos en el sureste de México.**

Cultivo	Plaga	Acción de control biológico
Arroz, <i>Oryza sativa</i> L. (Poaceae)	<i>Lissorhoptus oryzophilus</i> , picudo acuático (Coleoptera: Curculionidae)	Sin información.
	<i>Oebalus insularis</i> (Stal), chinche café (Hemiptera: Pentatomidae)	Aspersiones de entomopatógenos.
	<i>Rupela albinella</i> (Cramer), palomilla blanca del arroz (Lepidoptera: Pyralidae)	Aspersiones de entomopatógenos.
	<i>Sogatodes oryzicola</i> (Muir), sogata del arroz (Hemiptera: Delphacidae)	Sin información.
Cacao, <i>Theobroma cacao</i> L. (Sterculiaceae)	<i>Clastoptera globosa</i> Fowler, salivazo del cacao (Hemiptera: Clastopteridae)	Parasitismo natural superior a 90%.
	<i>Selenothrips rubrocinctus</i> (Giard), trips de banda roja (Thysanoptera: Thripidae)	Sin información.
	<i>Toxoptera aurantii</i> (Boyer de Fonscolombe), pulgón negro (Hemiptera: Aphididae)	Aspersiones de entomopatógenos.
	Café, <i>Coffea arabica</i> L., <i>C. canephora</i> Pierre ex Froehner (Rubiaceae)	<i>Hypothenemus hampei</i> Ferrari, broca del cafeto (Coleoptera: Curculionidae)
<i>Idiarthron subquadratum</i> Saussure & Pictet (Orthoptera: Tettigoniidae)		Parasitismo y depredación natural
<i>Leucoptera coffeella</i> (Guérin- Méneville), minador de la hoja (Lep.: Lyonetiidae)		Parasitismo y depredación natural
<i>Paroecanthus</i> spp. (Orthoptera: Gryllidae)		Parasitismo natural de huevos
<i>Rhabdopterus</i> sp.		Depredación natural
Café, <i>Coffea canephora</i> Pierre ex Froehner (Rubiaceae)	<i>Xylosandrus morigerus</i> (Blandford) (Coleoptera: Curculionidae)	Infecciones naturales de patógenos
Caña de azúcar, <i>Saccharum officinarum</i> L. (Poaceae)	<i>Aeneolamia postica</i> (Walker), mosca pinta o salivazo (Hemiptera: Cercopidae)	Aspersiones de entomopatógenos.
	<i>Diatraea magnifactella</i> Dyar, barrenador del tallo (Lepidoptera: Pyralidae)	Liberaciones de parasitoides y aspersiones de entomopatógenos.
	<i>Diatraea saccharalis</i> (F.), barrenador del tallo (Lepidoptera: Pyralidae)	Liberaciones de parasitoides y aspersiones de entomopatógenos.
	<i>Mocis latipes</i> (Guenée), gusano falso medidor (Lepidoptera: Noctuidae)	Liberaciones de parasitoides y aspersiones de entomopatógenos.

	<i>Prosapia simulans</i> (Walker), mosca pinta o salivazo (Hemiptera: Cercopidae)	Aspersiones de entomopatógenos.
	<i>Scolecocampa mochisa</i> Schaus, gusano de la cepa (Lepidoptera: Noctuidae)	Sin información.
Chile, <i>Capsicum annum</i> L. (Solanaceae)	<i>Anthonomus eugenii</i> Cano, picudo del chile (Coleoptera: Curculionidae)	Sin información.
	<i>Bemisia tabaci</i> Gennadius, mosquita blanca (Hemiptera: Aleyrodidae)	Liberaciones de <i>Chrysoperla</i> spp. (Neuroptera: Chrysopidae), aspersiones de entomopatógenos.
Cítricos, <i>Citrus</i> spp. (Rutaceae)	<i>Aleurocanthus woglumi</i> Ashby., mosca prieta (Hemiptera: Aleyrodidae)	Reintroducción de <i>Amitus hesperidum</i> Silvestri (Hymenoptera: Platygasteridae), <i>Encarsia opulenta</i> (Silvestri) y <i>E. clypealis</i> (Silvestri) (Hymenoptera: Aphelinidae).
	<i>Anastrepha ludens</i> Loew, mosca mexicana de la fruta (Diptera: Tephritidae)	Liberaciones de <i>Diachasmimorpha longicaudata</i> (Ashmead) (Hymenoptera: Braconidae).
	<i>Aonidiella auranti</i> (Maskell), escama roja de California (Hemiptera: Diaspididae)	Reintroducción de parasitoides.
	<i>Frankliniella</i> sp., trips (Thysanoptera: Thripidae)	Liberaciones de <i>Chrysoperla</i> spp.
	<i>Phyllocnistis citrella</i> Stainton, minador de la hoja (Lepidoptera: Gracilariidae)	Liberaciones de <i>Chrysoperla</i> spp. y especies de parasitoides.
	<i>Phyllocoptruta oleivora</i> (Ashmead), arador o negrilla (Acari: Eryophidae)	Sin información.
	<i>Toxoptera citricida</i> Kirkaldy, pulgón café de los cítricos (Hemiptera: Aphididae)	Liberaciones de diversas especies de depredadores
	<i>Unaspis citri</i> (Comstock), escama de nieve (Hemiptera: Diaspididae)	Liberaciones de <i>Chrysoperla</i> spp.
Cocotero, <i>Cocos nucifera</i> L. (Arecaceae)	<i>Eriophyes guerreronis</i> (Keifer), roña o ácaro del cocotero (Acari: Eryophidae)	Aspersiones de entomopatógenos.
	<i>Myndus crudus</i> Van Duzee, vector del amarillamiento letal del cocotero (Hemiptera: Cixiidae)	Sin información.
	<i>Rhina barbirostris</i> (Fabricius), picudo barbón (Coleoptera: Curculionidae)	Sin información.

	<i>Rhynchophorus palmarum</i> L., mayate prieto (Coleoptera: Curculionidae)	Sin información.
Henequén, <i>Agave sisalana</i> Perrine (Agavaceae)	<i>Scyphophorus interstitialis</i> Gyllenhal, el max (Coleoptera: Curculionidae)	Sin información.
Maíz, <i>Zea mays</i> L. (Poaceae)	<i>Schistocerca piceifrons</i> (Walker), langosta (Orthoptera: Acrididae)	Aspersiones de entomopatógenos.
Mango, <i>Mangifera indica</i> L. (Anacardiaceae)	<i>Aceria</i> (=Eriophyes) <i>mangiferae</i> Sayed, ácaro de los botones (Acari: Eriophyidae)	Sin información.
	<i>Anastrepha ludens</i> Loew, mosca mexicana de la fruta (Diptera: Tephritidae)	Liberaciones de <i>D.</i> <i>longicaudata</i> .
	<i>Anastrepha obliqua</i> (Mcquart), mosca de la ciruela (Diptera: Tephritidae)	Liberaciones de <i>D.</i> <i>longicaudata</i> .
	<i>Selenothrips rubrocinctus</i> (Giard), trips de banda roja (Thysanoptera: Thripidae)	Sin información.
Papaya, <i>Carica papaya</i> L. (Caricaceae)	<i>Aphis gossypii</i> Glover, pulgón del melón (Hemiptera: Aphididae)	Liberaciones de <i>Chrysoperla</i> spp.
	<i>Aphis spiraecola</i> Patch, pulgón verde de los cítricos (Hemiptera: Aphididae)	Liberaciones de <i>Chrysoperla</i> spp.
	<i>Myzus persicae</i> (Sulzer), pulgón verde del durazno (Hemiptera: Aphididae)	Liberaciones de <i>Chrysoperla</i> spp.
	<i>Polyphagotarsonemus latus</i> (Banks), ácaro blanco (Acari: Tarsonemidae)	Liberaciones de <i>Chrysoperla</i> spp.
	<i>Toxotrypana curvicauda</i> (Gerstaecker), mosca de la papaya (Diptera: Tephritidae)	Sin información.
Piña, <i>Ananas comosus</i> (L.) Merr. (Bromeliaceae)	<i>Cosmopolites sordidus</i> (Germar), picudo negro (Coleoptera: Curculionidae)	Sin información.
	<i>Dolichotetranychus floridanus</i> (Banks), ácaro (Acari: Tenuipalpidae)	Liberaciones de <i>Chrysoperla</i> spp.
	<i>Dysmicoccus brevipes</i> (Cockerell), piojo harinoso (Hemiptera: Pseudococcidae)	Liberaciones de <i>Chrysoperla</i> spp.
	<i>Thecla basalides</i> (Geyer), barrenador del fruto (Lepidoptera: Lycaenidae)	Aspersiones de entomopatógenos.
Plátano, <i>Musa paradisiaca</i> L. (Musaceae)	<i>Cosmopolites sordidus</i> (Germar), picudo negro (Coleoptera: Curculionidae)	Depredación por <i>Plaesius</i> <i>javanus</i> Erichson en Chiapas

*Frankliniella parvula* Hood, Sin información.  
trips (Thysanoptera:  
Thripidae)

Fuentes: MacGregor y Gutiérrez 1983, Deloya y Valenzuela 1999, Barrera 2006b, Bautista 2006, J. Jasso-Argumedo 2007, INIFAP en Yucatán, com. personal.

**Cuadro 2. Líneas de respuesta actual a plagas de reciente invasión y amenazas potenciales para los cultivos del sureste de México.**

Plaga	Cultivos amenazados	Actividades de manejo
<i>Anastrepha suspensa</i> (Loew), mosca de la fruta del Caribe (Diptera: Tephritidae)	Cítricos y mango.	Control legal. Muestreos frecuentes para detección.
<i>Brevipalpus californicus</i> (Banks), <i>B. obovatus</i> Donnadieu, <i>B. phoenicis</i> (Geijskes), falsa araña roja (Acari: Tenuipalpidae)	Cítricos (vectores del virus leprosis de los cítricos).	Reconocimiento de poblaciones.
<i>Cactoblastis cactorum</i> (Berg), palomilla del nopal (Lepidoptera: Pyralidae)	Nopal verdura y tunero, cactáceas.	Programa disponible de control biológico clásico.
<i>Ceratitis capitata</i> Wiedemann, mosca del Mediterráneo (Diptera: Tephritidae)	Más de 260 especies vegetales.	Control legal. Muestreos frecuentes para detección.
<i>Diaphorina citri</i> Kuwayama, psílido asiático de los cítricos (Hemiptera: Psyllidae)	Cítricos (vector del Huanglongbing).	Muestreo de poblaciones, estudio de enemigos naturales en el país.
<i>Homalodisca coagulata</i> (Say), chicharrita de alas vitreas (Hemiptera: Cicadellidae)	Cítricos (vector de la clorosis variegada de los cítricos)	Muestreo de poblaciones.
<i>Maconellicoccus hirsutus</i> (Green), cochinilla rosada del hibisco (Hemiptera: Pseudococcidae)	Más de 200 especies vegetales.	Programa disponible de control biológico clásico aplicado en el estado de Nayarit y Jalisco, México.
<i>Thrips palmi</i> Karny, trips oriental (Thysanoptera: Thripidae)	Aguacate, algodón, berenjena, calabaza, cebolla, chicharo, chile, ciruelo, cítricos, clavel, col, crisantemo, durazno, frijol, lechuga, mango, melón, papa, okra, sandía, soya, tabaco, tomate.	Muestreo de poblaciones, manejo integrado.

Fuentes: López-Arroyo *et al.* 2003a,b, J. Jasso-Argumedo, 2007. INIFAP en Yucatán, com. personal.

La plaga invadió México en febrero de 2000 a través del sur de Quintana Roo, en una área próxima a la frontera con Belice y en una franja que cubría el noreste de Yucatán y noroeste de Quintana Roo (Michaud y Alvarez 2000, Villarreal *et al.* 2000); en el transcurso de 2001 a 2004, el insecto se desplazó a los estados vecinos de Campeche, Tabasco y sur de Veracruz (SAGARPA 2004, Villegas-Jiménez *et al.* 2004). En 2006 invadió los cítricos de Oaxaca; en 2007 la invasión alcanzó el norte de Veracruz (H. M. Sánchez-Anguiano 2007, SAGARPA-SENASICA, com. personal), la región citrícola más extensa del país (204,654 ha, Sistema Integral de Información Agropecuaria y Pesquera 2006), desde donde amenaza con invadir la citricultura del noreste de México (121,942 ha, Sistema Integral de Información Agropecuaria y Pesquera 2006), así como el sur de Texas, E.U.A. Con la presencia del vector del VTC en México, existe el riesgo de que se presenten epifitias de tristeza de los cítricos similares a las ocurridas en los países donde el complejo virus-vector ha sido la causa de la eliminación de más de 116 millones de árboles de cítricos (Hermoso *et al.* 1984, Roistacher y Bar-Joseph 1987, Cermeli 1992, Geraud 1992, Rocha-Peña *et al.* 1992, Sánchez-Anguiano 2003), ya que aproximadamente el 95% de las plantaciones citrícolas del país, están establecidas en patrón de naranjo agrio, el cual es susceptible al patógeno (Sánchez-Anguiano 2003).

### **Aspectos relevantes de la bioecología de la plaga**

*Toxoptera citricida* coloniza principalmente brotes y frutos tiernos y botones florales (Lee *et al.* 1992). Cuando el insecto ocurre en poblaciones altas, puede causar deformaciones severas en las hojas y acortamiento de las terminales de las ramas; el insecto también produce mielecilla que puede favorecer el desarrollo de fumagina, la cual según la magnitud, puede interferir en la fotosíntesis o provocar decoloración en frutos que demeritan calidad (Denmark 1978). Existen informes de que unos cuantos áfidos pueden interferir el desarrollo de botones y provocar caída, hasta causar pérdidas de más del 50% de éstos (Kranz *et al.* 1977). Los brotes nuevos son propicios para el desarrollo y reproducción del áfido solamente por un periodo de tres a cuatro semanas; cuando dichos brotes maduran, las ninfas no alcanzan a completar el desarrollo, por lo que se desplazan en búsqueda de brotaciones nuevas en otras ramas (Michaud 1998, 2001a, Hoy 2005).

### **Enemigos naturales de *Toxoptera citricida***

Existe una diversidad considerable de enemigos naturales que regulan las poblaciones de *T. citricida* en el campo de los cuales se han registrado alrededor de 113 especies que incluyen a depredadores, parasitoides y entomopatógenos, con lo cual se ha considerado un potencial muy amplio para el desarrollo de programas de control biológico del áfido (Rondón *et al.* 1981, Cermeli 1992,

Halbert y Brown 1996, Yokomi y Tang 1996, Deng y Tsai 1998, Michaud 1998, Poprawski *et al.* 1999, López-Arroyo *et al.* 2007). En esta sección se presentan las estrategias establecidas contra el pulgón café de los cítricos y las perspectivas para el control biológico del insecto en el país.

### **Control biológico de la plaga a nivel internacional**

Los intentos de control biológico de *T. citricida* en diversos países ha sido a través de introducción, aumento y conservación de enemigos naturales de la plaga (Yokomi 1994, Yokomi y Tang 1996, Michaud 1999, Liu y Tsai 2002, Michaud 2002a, Michaud y Browning 2002, Miller *et al.* 2002, Hoy 2005). En el estado de Florida, E.U.A., se evaluó el control biológico clásico mediante la introducción de los parasitoides *Lysiphlebia japonica* Ashmead (Hymenoptera: Aphidiidae) de Japón (Deng y Tsai 1998) y *Lipolexis oregmae* (= *scutellaris*) (Hymenoptera: Aphidiidae) de la Isla de Guam (Hoy y Nguyen 2000a, 2000b, Hill y Hoy 2003, Walker y Hoy 2003, Hoy 2005). El empleo de estos parasitoides durante cuatro años mostró resultados variables y el programa se consideró con poco éxito (Michaud 2002a, Michaud y Browning 2002). También se contempló el aprovechamiento de *Chrysoperla plorabunda* Fitch (Neuroptera: Chrysopidae) (Michaud 2001b) y de diversas especies de Coccinellidae (Coleoptera) (Browning y Michaud 2000, Michaud 2000, Michaud 2002b) y Syrphidae (Diptera) (Michaud y Belliure 2001, Belliure y Michaud 2001). Adicionalmente, se realizaron algunos ensayos a nivel de laboratorio y de campo con hongos entomopatógenos (Poprawski *et al.* 1999); los cuales fueron evaluados asimismo en Cuba (Peña *et al.* 2000), México (Berlanga-Padilla 2003), y Venezuela (Rondón *et al.* 1981), donde las especies *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin, *Paecilomyces fumoroseus* (Wize) Brown & Smith y *Lecanicillium lecanii* (Zimm.) Gam et Zare= *Verticillium lecanii* (Zimmermann) Viégas, mostraron tasas variables de infección sobre poblaciones del pulgón café de los cítricos. De los países donde la citricultura ha sido invadida por *T. citricida*, sólo para la región citrícola de Florida, E.U.A., se ha documentado el desarrollo exitoso del control biológico de la plaga, el cual fue atribuido a la conservación de enemigos naturales (Michaud 2002a, Michaud y Browning 2002).

### **Control biológico de la plaga en México**

De los países invadidos por *T. citricida*, sólo en las regiones citrícolas de Florida, E.U.A., y en las de México, se ha impulsado notoriamente el uso del control biológico para confrontar la invasión de dicha plaga; sin embargo, en el país, a diferencia de Florida, E.U.A., donde para el programa de control biológico se introdujeron parasitoides (Deng y Tsai 1998, Hoy y Nguyen 2000a,b), el programa inició con el uso del depredador exótico *Harmonia axyridis* Pallas (Coleoptera: Coccinellidae), insecto cuya importancia ha sido cuestionada debido



a diversos efectos adversos asociados a su presencia en lugares fuera del área de origen en Asia (Michaud 2002b, Huelsman y Kovach 2004, Kovach 2004, Nalepa *et al.* 2004, Koch *et al.* 2006). De esta forma, el control biológico clásico de *T. citricida* en México prácticamente se inició en 1998 con el establecimiento de la cría del depredador introducido, *H. axyridis*. Las liberaciones de este insecto se iniciaron en 1999 en Quintana Roo; desde éste año hasta el verano de 2002 se liberaron alrededor de 18.4 millones de especímenes en los cítricos de Campeche, Quintana Roo y Yucatán (Munguía 2002, López-Arroyo *et al.* 2003a,b). Hasta la fecha no se ha confirmado su establecimiento en la región.

En forma paralela a la liberación de *H. axyridis*, también se contempló en el país el manejo de crisópidos (Neuroptera: Chrysopidae) para el control biológico del pulgón café de los cítricos, lo cual se inició en la Península de Yucatán, donde prácticamente se siguió el modelo de producción empleado en la cría comercial de *Chrysoperla*, para producir al depredador *Ceraeochrysa claveri* (Navás) (Neuroptera: Chrysopidae), una especie presente en forma natural en la región. La utilización de este depredador inició en 1998, con el establecimiento de las colonias. En 1999 se realizaron las primeras liberaciones del insecto en Quintana Roo; desde esta fecha hasta el verano de 2002 se liberaron más de tres millones de individuos (Munguía 2002). En la Península de Yucatán, además se produjeron las catarinas *Cycloneda sanguinea* (L.) y *Olla v-nigrum* (Mulsant) (Coleoptera: Coccinellidae) con el objetivo de utilizar enemigos naturales del pulgón presentes en forma natural en la región y que además sustituyeran el uso del coccinélido exótico *H. axyridis*. Durante 2002, en la zona citrícola de Yucatán, se liberaron 358 mil individuos de *C. sanguinea* y 452 mil de *O. v-nigrum* (Munguía 2002). Para atender la problemática de la plaga en la citricultura del estado de Tabasco, se estableció un laboratorio exclusivo para la producción de organismos benéficos para ser liberados contra *T. citricida*; en 2003 se liberaron en conjunto tres millones de especímenes de *H. axyridis* y *Chrysoperla carnea* (Stephens) *s. lat.* (Neuroptera: Chrysopidae) (H. Sánchez 2004. SAGARPA-Dirección General de Sanidad Vegetal. Conferencia: Situación del pulgón café de los cítricos en México). Al igual que en el caso de *H. axyridis*, se carece de una evaluación del efecto de las liberaciones de las cuatro especies de depredadores.

En el país durante cinco años se desplegaron varios programas y proyectos de investigación tendientes a reducir poblaciones de *T. citricida* en los lugares donde éste se ha establecido, así como intentar reducir la velocidad de desplazamiento de la invasión a los lugares libres de ésta. Después de cuatro años del establecimiento de *T. citricida* en el noroeste de la Península de Yucatán y sur del estado de Quintana Roo y a pesar de las liberaciones de depredadores y medidas legales establecidas, el insecto se desplazó a los estados vecinos de Campeche, Tabasco y sur de Veracruz (SAGARPA 2004). El desplazamiento de

*T. citricida* ha sido asociado principalmente al transporte accidental a través de personas o vehículos de transporte, más que a movimiento natural del insecto (López-Arroyo *et al.* 2003a,b, Rocha-Peña *et al.* 2004).

### **Perspectivas del control biológico de *Toxoptera citricida* en México**

El hecho de que la citricultura de Florida, E.U.A., fue invadida por la plaga cinco años antes que la de México, propició la oportunidad para conocer y analizar las experiencias obtenidas tanto en los programas de control biológico desarrollados como en el uso de los diferentes agentes contemplados. Ésto contribuyó a una mejor planeación de las posibles opciones viables de aplicación en México. Hoy en día, con la invasión por la plaga de los cítricos del norte del estado de Veracruz en 2007, *T. citricida* alcanzó finalmente la principal área cítrica del país, con lo que podría establecerse la necesidad de disponer de agentes efectivos de control biológico y una estrategia definida para integrar un programa para el manejo de la plaga con posibilidades de éxito. A diferencia del año 2000, cuando durante la invasión de la citricultura nacional por el pulgón café de los cítricos, los laboratorios comerciales de insectos benéficos en el país carecían de agentes con capacidad para el control de esta plaga, actualmente existe la oportunidad para que los laboratorios produzcan especies con potencial para ser utilizadas para contribuir al control de *T. citricida* en el país.

Mediante el proyecto CONACYT/SAGARPA 2002-1249 se generaron alternativas para el ataque de la plaga a través del control biológico por incremento de enemigos naturales mediante la liberación de depredadores [*Ceraeochrysa* sp. nr. *cincta* (Schneider) y *Chrysoperla rufilabris* (Burmeister) (Neuroptera: Chrysopidae)] (López-Arroyo *et al.* 2004, 2007) y aplicación de hongos entomopatógenos nativos de México (aislamientos de *Paecilomyces fumosoroseus* (Fig. 1) (Berlanga-Padilla y López-Arroyo 2006, Berlanga-Padilla y Núñez 2006, Hernández-Torres *et al.* 2007), así como con técnicas de control biológico por conservación de enemigos naturales que incluyeron principalmente al manejo de la maleza (López-Arroyo *et al.* 2005b, 2007) y la aspersión de alimentos suplementarios para atraer y retener insectos benéficos (López-Arroyo *et al.* 2005a, 2007).

Las alternativas de control biológico por incremento constituyen la forma más rápida para responder ante el ataque de la plaga; con su aplicación se busca obtener una reducción expedita en los niveles poblacionales del pulgón café de los cítricos. A través del control biológico por conservación se pretende aprovechar la presencia natural de enemigos naturales potenciales del pulgón café de los cítricos, o de mejorar la actividad de los organismos liberados para controlar a la plaga. Busca también reducir la dependencia en el uso de agroquímicos o la liberación frecuente de agentes de control biológico de la plaga

producidos masivamente en laboratorio. Lo anterior ha sido conjuntado en posibles estrategias que podrían aplicarse bajo diferentes escenarios de presencia o ausencia de la plaga en las diversas regiones citrícolas del país (López-Arroyo *et al.* 2007).

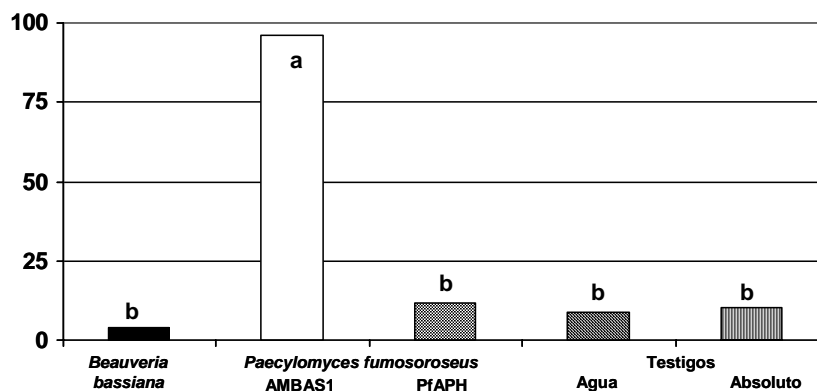


Figura 1. Mortalidad de *Toxoptera citricida* por aislamientos de hongos entomopatógenos bajo condiciones de campo, en Huimanguillo, Tab. Promedios seguidos por letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $\alpha=0.05$ ).

### Estrategias de uso del control biológico contra el pulgón café de los cítricos

**En áreas libres de la plaga.** Por la dispersión de la plaga hasta el momento en el país, las áreas libres del ataque del pulgón café de los cítricos eventualmente serán invadidas por éste. Las áreas citrícolas bajo riesgo de una invasión cercana o extensiva de la plaga, son el norte del estado de Veracruz, así como el noreste del país. Para estas áreas se recomienda de inmediato, estimular el establecimiento del control biológico por conservación de enemigos naturales de la plaga mediante la regulación en la presencia de la maleza, así como con la aspersión de alimentos suplementarios. También es importante liberar los depredadores *Ceraeochrysa* sp. nr. *cincta* o *Chrysoperla rufilabris* durante las brotaciones de los cítricos, como una forma de buscar el incremento o establecimiento de estas especies en el huerto para contar de forma anticipada con enemigos naturales capaces de atacar a la plaga. Ante la ausencia del pulgón café de los cítricos, el incremento de agentes de control biológico en el huerto impactará en otras plagas que anualmente inciden en los árboles de cítricos en el país (López-Arroyo *et al.* 2007).

**En áreas de reciente invasión de la plaga (primer año de ataque).** En el primer año del ataque de la plaga es común observar incrementos considerables de la población del insecto; para controlar este tipo de infestaciones por *T. citricida* se sugiere asperjar el hongo entomopatógeno *Paecilomyces fumosoroseus* AMBAS1, el cual es capaz de producir mortalidad en las colonias de la plaga mayor al 90% en tan sólo tres días después de la aplicación (Fig. 1). A diferencia de los insecticidas químicos utilizados en el control de pulgón café de los cítricos, este entomopatógeno es inocuo a insectos depredadores de la plaga, por lo que éstos no serán afectados por dicha práctica. Aunado al uso de *P. fumosoroseus* es necesario establecer el control biológico por conservación de enemigos naturales mediante el manejo de la maleza, de tal forma de favorecer la presencia y actividad de los enemigos naturales de *T. citricida* en la región. La liberación de los depredadores es recomendable sólo hasta que el efecto del hongo disminuya considerablemente la presencia de la plaga, ya que el potencial máximo de *C. sp. nr. cincta* y *C. rufilabris* para el control de la plaga, sólo es expresado bajo condiciones de ausencia temporal del complejo de enemigos naturales que inciden a densidades altas de *T. citricida*, razón por la que la utilización de estos depredadores se sugiere realizarse solamente al inicio de la colonización de la plaga, cuando las densidades son reducidas (López-Arroyo *et al.* 2007).

**En áreas de reciente invasión de la plaga (segundo y tercer año de ataque).** En los años posteriores a la invasión de la plaga, el insecto presenta en menor medida o carece de las explosiones poblacionales observadas en el inicio del ataque, lo anterior por un establecimiento mayor de enemigos naturales en el área. Para favorecer aún más esta situación, es necesario continuar con el impulso del control biológico por conservación de enemigos naturales mediante el manejo de la maleza y aspersión de alimentos suplementarios. También, es recomendable liberar los depredadores durante la brotación de los cítricos, antes del establecimiento de la plaga. Si es necesario, es posible utilizar el hongo entomopatógeno *P. fumosoroseus* AMBAS1 en árboles con colonias que escapen al ataque de los depredadores (López-Arroyo *et al.* 2007).

**En áreas con más de tres años de invasión de la plaga.** Después de tres años de la invasión de la plaga, es posible que las poblaciones de *T. citricida* se estabilicen, por lo que cada vez será menos común observar árboles con fuertes infestaciones del insecto y con mayor frecuencia se podrán encontrar colonias de *T. citricida* atacadas por diversos enemigos naturales. En esta etapa de la presencia del pulgón café de los cítricos en el área, se considera mantener el control biológico por conservación de enemigos naturales mediante el manejo de la maleza y la aspersión de alimentos suplementarios. Opcionalmente, es posible liberar depredadores durante la brotación de los cítricos, antes del establecimiento de la plaga, y uso del hongo entomopatógeno *Paecilomyces fumosoroseus*

AMBAS1 contra las colonias que escapen al ataque de los depredadores (López-Arroyo *et al.* 2007).

La información ahora disponible para el control biológico del pulgón café de los cítricos en México, podría servir al menos para evitar repetir errores en la selección de agentes de control biológico, así como para ahorrar recursos económicos invertidos en la producción masiva de organismos benéficos aparentemente inadecuados para ser utilizados bajo las condiciones de la citricultura, en las diversas áreas agroecológicas del país. Sin embargo, existe también la expectativa de que en el futuro se obtengan mejores resultados en el manejo de la plaga mediante la aplicación de la tecnología generada.

## LA BROCA DEL CAFÉ

### Importancia

La broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) es el insecto plaga más importante del café (*Coffea* spp.) en el mundo (Barrera *et al.* 2007). Reduce el rendimiento y merma la calidad del grano. Es una plaga directa pues daña el producto que se desea cosechar, es decir, el grano. El rendimiento puede verse reducido porque los granos en formación se pudren por efecto de microorganismos saprófitos que entran por la perforación que les hace la broca al atacarlos; también porque parte de los frutos jóvenes perforados por la plaga se pueden caer; el peso de los frutos de café que no se caen ni pudren puede disminuir por efecto de la alimentación del insecto: 100% de frutos perforados al momento de la cosecha reducen el rendimiento de 30 a 35%. Si la cosecha se efectúa tarde, las pérdidas pueden ser aún mayores. La calidad puede afectarse con el incremento de granos perforados, pues repercute en el porcentaje de defectos o mancha. Todas las variedades y especies comerciales de café son atacadas por este insecto; aparentemente, presenta cierta preferencia por el café robusta y su multiplicación también es más importante en los granos de esta especie de café (Barrera 1994). Reportes más recientes señalan también su importancia como vector potencial al grano de hongos que producen ocratoxinas (Vega y Mercadier 1998, Gama *et al.* 2006).

Casi todos los países cafetaleros se encuentran infestados por *H. hampei*, desde México hasta Brasil y varios países caribeños como Cuba, Jamaica y República Dominicana. El último país invadido en América tropical fue Puerto

Rico en 2007<sup>3</sup>. En el caso de México, la invasión ocurrió en 1978 desde Guatemala a través del Soconusco, Chiapas. De acuerdo con Villaseñor Luque (1987), el insecto fue detectado en agosto de ese año en el ejido Mixcum, municipio de Cacahoatán, Chiapas, muy cerca de la frontera con Guatemala. Un estudio reciente de huellas dactilares genéticas a través de la técnica AFLP (Polimorfismo de Longitud de Fragmentos Amplificados), encontró que la broca de México (Chiapas) estuvo cercanamente relacionada a la broca de Brasil y ésta a su vez estuvo relacionada con la broca de Camerún (África del Oeste) (Benavides *et al.* 2005); esos estudios han cuestionado que la broca que invadió México haya provenido realmente de Guatemala (Benavides 2007), lo cual aún resta por confirmar en base a un tamaño mayor de muestras y mayor número de localidades chiapanecas.

Según el Instituto Mexicano del Café (INMECAFÉ), en 1983 la infestación de broca fue de 10 a 15% con pérdidas de 5.87 kg por cada quintal de café pergamino (57.5 kg), estimando una reducción de 10.2% en el rendimiento por efecto de esta plaga (Barrera y Enkerlin 1983). Ortiz-Persichino (1991) estimó que las pérdidas causadas directamente por la broca al café en el Soconusco, representaron aproximadamente US \$1.5 millones en la cosecha 1990-1991. En 1992, con la desaparición del INMECAFÉ y la mayoría de sus programas operativos, la broca se expandió rápidamente a otros estados cafetaleros del país. El Consejo Mexicano del Café, organismo que vino a reemplazar al INMECAFÉ, informó en 1998 que la broca se encontraba presente en Chiapas, Oaxaca, Veracruz, Puebla, Guerrero, Hidalgo y Nayarit, en una superficie de 172,246 ha equivalente al 22.6% de la superficie cafetalera total del país (Castillo 1998). De acuerdo con información proveniente de la Tercera Reunión de la Campaña Nacional de Sanidad Vegetal celebrada en 2000 (Ramírez y Reyes 2000), a nivel nacional la plaga afectaba 367,779 ha (48.3%) y 114,170 productores (40.6%). El reporte más reciente de la Campaña Nacional contra la broca del café, en relación a la situación de la plaga para 2006, indica que ésta ha invadido prácticamente a todos los estados cafetaleros: Chiapas, Colima, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tabasco y Veracruz, infestando 384,501.92 ha, equivalente a 56.2% del total nacional (Ramírez *et al.* 2007). Si bien es posible que la superficie afectada por *H. hampei* esté subestimada, se considera que las pérdidas son cuantiosas, pues Ramírez *et al.* (2007) han estimado pérdidas por \$157'568,886.80 por ciclo de cultivo en el país, al asumir que 13.66% de infestación causarían una pérdida de 68.3 kg/ha con valor de \$409.80/ha.

---

3

[http://www.elnuevodia.com/diario/noticia/negocios/negocios/tardanza\\_del\\_gobierno\\_ante\\_la\\_broca/279845](http://www.elnuevodia.com/diario/noticia/negocios/negocios/tardanza_del_gobierno_ante_la_broca/279845)

### **Aspectos relevantes de la bioecología de la plaga**

Generalmente un fruto de café es infestado por una sola hembra de *H. hampei*. Si el grano es acuoso o lechoso, el insecto tiende a abandonarlo y éste tiende a podrirse, mientras que cuando la consistencia es suficientemente dura, la hembra fundadora construye una galería donde oviposita. Los huevos son depositados de uno en uno para formar pequeños grupos. La hembra oviposita de uno a tres huevos por día durante los primeros 15 o 20 días, después la oviposición disminuye gradualmente. Tanto la hembra fundadora como las larvas construyen túneles en el grano al alimentarse. La pupación ocurre dentro del grano donde nació la larva. La duración del ciclo biológico, de huevo a adulto varía de acuerdo con la temperatura: 21 días a 27°C, 32 días a 22°C y 63 días a 19.2°C. Hacia la aparición de los primeros adultos de la descendencia, la población está constituida por 25-30 individuos en todos los estados de desarrollo, de los cuales hay aproximadamente 10 hembras por cada macho. El apareamiento se efectúa entre hermanos y hermanas en el interior del fruto. Las hembras apareadas abandonan el fruto donde se desarrollaron para buscar otro donde establecerán una nueva familia. Varias generaciones se presentan mientras haya disponibilidad de frutos. Después de la cosecha, la broca continúa reproduciéndose en los frutos que no fueron cosechados y que se encuentran en la planta como en el suelo. En los lugares donde se presenta un periodo intercosecha bien definido con baja precipitación, los adultos de la plaga se refugian en los frutos negros y secos. En estas condiciones, las hembras adultas emergen masivamente de los frutos viejos con las primeras lluvias, dando inicio la infestación con el ataque de los frutos de las floraciones más tempranas de la nueva cosecha (Baker y Barrera 1993, Baker *et al.* 1989, 1992a,b, 1999, Barrera 1994).

### **Enemigos naturales de *Hypothenemus hampei***

Se ha indicado que la broca es atacada por una veintena de especies de enemigos naturales. Cuatro especies de parasitoides africanos son los mejor conocidos: *Prorops nasuta* Waterston (Camerún, Costa de Marfil, Zaire, Kenia, Tanzania, Togo, Uganda) y *Cephalonomia stephanoderis* Betrem (Costa de Marfil, Togo) (ambos Hymenoptera: Bethyridae), los cuales son ectoparasitoides solitarios de larvas, pre-pupas y pupas; *Heterospillus coffeicola* Schimideknecht (Hymenoptera: Braconidae) (Camerún, Zaire, Kenia, Tanzania, Uganda), un parasitoide de vida libre que deposita huevecillos individuales junto a grupos de huevos en galerías recién hechas por la broca; y *Phymastichus coffea* LaSalle (Hymenoptera: Eulophidae) (Togo, Kenia), un endoparasitoide gregario que ataca adultos durante la perforación de los frutos. Otros parasitoides señalados por atacar la broca son *Aphanogmus dictyna* (Waterston) (Hymenoptera:

Ceraphronidae) (Uganda), *Sclerodermus cadavericus* Benoit (Hymenoptera: Benthylidae) (Uganda, Zaire, Kenya), *Cephalonomia hyalinipennis* Ashmead (México) y *Cryptoxilos* sp. (Hymenoptera: Braconidae) (Colombia). En Brasil y Colombia también hay reportes de especies no descritas de *Cephalonomia* que parasitan a *H. hampei* (Murphy y Moore 1990, Benassi 1995, Pérez-Lachaud 1998, Waterhouse 1998, Vega *et al.* 1999, Bustillo *et al.* 2002, Jaramillo *et al.* 2006).

Algunos de los depredadores que atacan la broca del café son *Dindymus rubiginosus* (F.) (Hemiptera: Pyrrhocoridae) (Indonesia), *Calliodes*, *Scoloposcelis* (Hemiptera: Anthocoridae) (Colombia) y *Leptophloeus* sp. nr. *punctatus* Lefkovich (Coleoptera: Laemophloeidae) (Togo, Costa de Marfil). Sin embargo, la mayoría de los depredadores indicados a nivel mundial (reportes anecdóticos) han sido hormigas (Hymenoptera: Formicidae), entre ellas *Azteca instabilis* (F. Smith), *Crematogaster curvispinosa* Mayr, *C. torosa* Mayr, *Dolichoderus bituberculatus* Mayr, *Pheidole radoszkowskii* Mayr, y *Solenopsis geminata* (F.). Varias especies desconocidas de *Azteca*, *Brachymyrmex*, *Paratrechina*, *Pheidole*, *Prenolepis* y *Wasmannia* han sido también enlistadas (Barrera *et al.* 1990a,b,c, Murphy y Moore 1990, Vega *et al.* 1999, Bustillo *et al.* 2002, Perfecto y Vandermeer 2006, Armbrrecht y Gallego 2007).

Varias especies de hongos entomopatógenos atacan a *H. hampei*, no obstante, *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin es el más común que infecta a este insecto en condiciones naturales. Otros hongos encontrados son *Fusarium oxysporum* Schlechtend., *F. avenaceum* (Fr.) Sacc., *Hirsutella eleutheratorum* (Nex ex Gray) Petch., *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin, *Nomuraea rileyi* (Farlow) Samson, *Paecilomyces amoenoroseus* (Hennings) Samson, *P. farinosus* (Holm. ex S.F. Gray), *P. fumosoroseus* (Wize) Brown & Smith, *P. javanicus* (Friederichs & Bally) Brown & Smith, *P. lilacinus* (Thom.) Samson y *Verticillium lecanii* (Zimmerman). Algunos de estos patógenos, como *M. anisopliae* y *P. lilacinus*, han sido aislados de frutos de café colectados del suelo (Vega *et al.* 1999, de la Rosa *et al.* 2000, Bustillo *et al.* 2002).

*Metaparasitylenchus hypothenemi* Poinar (Tylenchida: Allantonematidae), un nematodo entomopatógeno que ataca adultos de *H. hampei* (Poinar *et al.* 2004), ha sido encontrado en Chiapas, México, aunque parece tener una distribución más amplia en las plantaciones de café de México y América Central. Este nematodo causa esterilidad en las hembras de la broca. El parasitismo natural de una especie no descrita de *Panagrolaimus* (Rhabditida: Panagrolaimidae) sobre *H. hampei* ha sido registrada en India y México. *M. hypothenemi* y *Panagrolaimus* sp. son indicadas por infectar los mismos individuos hospederos de la broca en México. Especies de Heterorhabditidae y Steinernematidae (Rhabditida) son capaces de infectar a *H. hampei* en laboratorio,



sin embargo dicho parasitismo no ha sido observado en condiciones naturales de campo (Castillo *et al.* 2002, Chávez y Vega 2004, Castillo 2007).

En Colombia, se han observado infestaciones de la broca del café causadas por bacterias como *Bacillus* sp. y *Serratia* sp. También se ha informado de infecciones de la proteobacteria *Wolbachia* en muestras de adultos de diversas partes del mundo. El microsporidio *Mattesia* sp. fue observado en poblaciones de brocas procedentes de insectarios (Bustillo *et al.* 2002). Experimentos de laboratorio mostraron que ciertas cepas de *B. thuringiensis* Berliner fueron virulentas a larvas de *H. hampei* (de la Rosa *et al.* 2005), especialmente el serovar *israelensis* (Méndez-López *et al.* 2003).

### **Control biológico de la plaga a nivel internacional**

Los esfuerzos más notables para el control biológico de la broca del café han ocurrido en América tropical. Con la introducción del parasitoide *P. nasuta* a Brasil en 1929 arrancó el primer programa de control biológico clásico de esta plaga en el Nuevo Mundo. Sin embargo, el descubrimiento de los primeros insecticidas de síntesis en los 1940's disminuyó drásticamente los esfuerzos sobre control biológico a nivel mundial (Barrera 1994). Puede decirse que la época moderna del control biológico de *H. hampei* comenzó en 1987-1988 con la introducción de los parasitoides *C. stephanoderis* y *P. nasuta* a Ecuador y México con la cooperación del Instituto Internacional de Control Biológico (IICB) del Reino Unido y el patrocinio del Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID) de Canadá (Barrera *et al.* 1990 a,b). En 1990, las acciones del programa en México se llevarían hacia Centroamérica por medio de un proyecto mesoamericano de cooperación donde participaron Guatemala, Honduras, El Salvador y México bajo la coordinación de PROMECAFE, un programa regional del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) (Barrera *et al.* 1990c). Casi al mismo tiempo inició otro polo de desarrollo de control biológico de la broca en Sudamérica basado el uso del entomopatógeno *B. bassiana* liderado por Colombia (Bustillo *et al.* 1998). Años después el CABI Bioscience (antes IICB) se unió al esfuerzo colombiano (Baker 1999).

Los esfuerzos de control biológico en Mesoamérica, con un importante programa de investigación financiado por la Comunidad Económica Europea con el apoyo del Instituto de Investigaciones del Café y Cacao (IRCC) de Francia, continuaron durante la primera mitad de los 1990's (Dufour *et al.* 1999, Barrera *et al.* 2000). En 1996 inició otro proyecto internacional de control biológico de *H. hampei* coordinado por el CABI Bioscience y financiado por el Fondo de Productos Básicos (FPB) a través de la Organización Internacional del Café (OIC). Dicho proyecto fue un importante y único esfuerzo donde participaron varios países: Colombia, Ecuador, Estados Unidos, Guatemala, Honduras, India,

Jamaica, México e Inglaterra (Baker *et al.* 2002) Uno de los principales logros del proyecto fue la introducción de *P. coffea*, el parasitoide de adultos de *H. hampei*, a cada uno de los países productores de café participantes.

A la par de estos proyectos internacionales han existido esfuerzos sobre control biológico de la broca del café en otros países. Información reciente sobre algunos de estos casos se pueden encontrar en Barrera (2005a) y Barrera *et al.* (2007).

### **Control biológico de la plaga en México**

Las acciones sobre control biológico de *H. hampei* en México pueden clasificarse en tres grandes grupos de acciones: Investigación, control, asistencia técnica y capacitación. Las acciones de investigación son realizadas casi exclusivamente por las universidades y centros de investigación; las acciones de control son ejecutadas por lo general por los productores como parte de la Campaña Nacional contra la Broca del Café a cargo del gobierno mexicano; y las acciones de asistencia técnica y capacitación son llevadas a cabo bajo diversas formas, tanto por los centros académicos como por la Campaña Nacional a través de sus Organismos Auxiliares y en colaboración con las dependencias encargadas del desarrollo y fomento del café en los Estados de la República y los académicos de las instituciones.

**Acciones de investigación.** Varias universidades y centros de investigación han realizado estudios sobre control biológico de *H. hampei* en México. Destacan El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), la Universidad Autónoma Chapingo y el Instituto Tecnológico de Oaxaca. Otras instituciones que eventualmente realizan investigaciones sobre control biológico de esta plaga son el Colegio de Posgraduados y el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV).

ECOSUR, con sede en Tapachula (Chiapas), ha sido la institución que ha mantenido por más tiempo un proyecto de investigación sobre control biológico de la broca del café. Dicho proyecto inició formalmente en 1985 y aún sigue activo (Barrera 2005b). Entre los logros más significativos de los estudios conducidos por este centro de investigación y sus instituciones colaboradoras, se incluyen: Introducción a Chiapas de tres parasitoides africanos (*C. stephanoderis*, *P. nasuta* y *P. coffea*); descubrimiento de enemigos naturales nativos (el parasitoide *Cephalonomia hyalinipennis* Ashmead y el nematodo *M. hypothenemi*) y selección de cepas de *B. bassiana*, *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin y *B. thuringiensis*; contribuciones al estudio de la bioecología y metodología de cría de estos enemigos naturales; y evaluación de

estos parasitoides y entomopatógenos bajo diferentes ambientes en las plantaciones de café, principalmente en el Soconusco; desarrollo de una estrategia de manejo integrado de la broca basada en la participación de los productores (Barrera 2005b).

Varios de los procesos y productos tecnológicos desarrollados han encontrado acomodo en los programas de control. Para facilitar su uso, se han generado materiales didácticos para la capacitación que dan cuenta de las características de los enemigos naturales de la broca y los procesos para su uso como agentes de control biológico.

**Acciones de control.** Desde el primer informe sobre la presencia de *H. hampei* en territorio chiapaneco en 1978, el INMECAFÉ emprendió diversas acciones de control. Sin embargo, desde entonces y hasta 1992, cuando el INMECAFÉ dejó de existir, en ningún momento esta institución se involucró o promovió el uso del control biológico contra esta importante plaga. En esa época (1985-1992), solamente el Centro de Investigaciones Ecológicas del Sureste (CIES, hoy ECOSUR), con la colaboración de la Dirección General de Sanidad Vegetal a través del Programa Mosca del Mediterráneo, la Unión de Productores de Café Tacaná y los productores de café orgánico Indígenas de la Sierra Madre de Chiapas San Isidro Labrador (ISMAM), impulsaron e implementaron en Chiapas el control biológico de la broca con el parasitoide *C. stephanoderis*.

La estrategia empleada para establecer el parasitoide y usarlo para el control de *H. hampei* fue la “cría rural”, concepto desarrollado por el CIES que involucra la cría y liberación inoculativa del agente de control biológico en las comunidades cafetaleras con la participación de los productores (Barrera *et al.* 1991). Las primeras 35 crías rurales fueron evaluadas por este centro de investigaciones con pequeños propietarios y ejidatarios del Soconusco de 1990 a 1992 (Barrera *et al.* 1992). Posteriormente, la Junta Local de Sanidad Vegetal de Chiapas, como parte de la Campaña Nacional contra la Broca iniciada en 1993, impulsó el establecimiento de crías rurales entre 1993 y 1994. A partir de entonces, otros Organismos Auxiliares de Sanidad Vegetal y algunas dependencias estatales de estados productores de café como Oaxaca, Puebla, Guerrero y Veracruz, realizaron esfuerzos similares. En varios de estos casos el CIES apoyó con la capacitación y pies de cría del parasitoide.

A pesar de los esfuerzos, la gran mayoría de las crías rurales fracasaron, ya que los productores involucrados carecieron de apoyo suficiente y adecuado en organización, asesoría técnica y recursos económicos, pero sobre todo, porque en muchos casos las condiciones para la comercialización de la producción fueron inconvenientes. En efecto, todas estas acciones se llevaron a cabo durante la gran crisis del precio del café motivada por la desaparición del Acuerdo Internacional

del Café en 1989 y que sumió al sector en una crisis económica sin precedentes durante cinco años (1989-1994). No obstante, en la segunda mitad de los 1990's, y ya en el nuevo milenio, algunas crías rurales continuaron y otras nuevas fueron establecidas, principalmente bajo la tutela del Programa Moscamed, como una forma de retribuir a los productores de café su apoyo a las actividades de monitoreo y erradicación de la mosca del mediterráneo (*Ceratitis capitata* Wied.) en sus cafetales.

Desafortunadamente, los esfuerzos de control biológico de la broca con *C. stephanoderis* fueron otra vez limitados por una segunda crisis internacional del precio del café que se presentó en el periodo 1998-2003, y en la cual el precio cayó a niveles tan bajos como nunca en su historia. Ante la complejidad que representaba la cría y liberación de *C. stephanoderis* por los productores y la carencia de laboratorios públicos o privados de producción y venta de parasitoides para atender las necesidades a nivel nacional, desde la segunda mitad de los 1990's, gobierno, productores y empresas privadas dirigieron la atención hacia el hongo *B. bassiana*. Al contrario que el parasitoide, el hongo representaba ciertas ventajas comparativas, como su relativa facilidad de producción, distribución, aplicación y evaluación. Estas características, bastante similares a la de un insecticida químico convencional, fueron acogidas con entusiasmo en el seno de un sector acostumbrado a este tipo de insumos. A tal grado han gustado estas propiedades de *B. bassiana*, que la Campaña Nacional contra la Broca para el sexenio actual (2006-2012) no contempla apoyar el uso de *C. stephanoderis* (Ramírez *et al.* 2007).

Sorprende que la Campaña Nacional deseche el uso del parasitoide, un factor de mortalidad cuyo efecto no tiene reemplazo en la ecología de la plaga y que se le puede considerar complementario al uso del hongo. Aún más, es inaudito que no se aproveche un enemigo natural ya establecido en varias regiones cafetaleras del país y que ha sido usado con bastante éxito en otros países cafetaleros, donde se ha dado un decidido apoyo a su uso por los productores. También sorprende la apuesta que se hace sobre *B. bassiana*, un agente de control biológico que requiere un manejo especializado como: Cepas idóneas para diferentes condiciones ambientales; control de calidad que asegure dosis adecuadas y virulentas; formulación del producto que alargue su vida útil; muestreo de la plaga y umbrales de acción y evaluación; adquisición, uso y mantenimiento de equipo de aspersión; aplicación en el momento oportuno, el cual suele ser un periodo corto; y realización de al menos dos aplicaciones para conseguir resultados más satisfactorios.

En resumen, las crisis recurrentes del precio por un lado y la desarticulación del sector cafetalero por el otro, particularmente el abandono de cafetales por muchos productores (gran número han emprendido un éxodo hacia

el norte en busca de fuentes de trabajo) y la falta de políticas y compromisos para desarrollar y fomentar la cafecultura nacional, han impedido controlar efectivamente a la broca en México. A pesar de los desarrollos tecnológicos, muchos de ellos logrados en el propio país, el control biológico ha sido desaprovechado en toda su magnitud. Valga también mencionar que preocupa saber que, entre los planes de la Campaña Nacional, no figura apoyar la integración del parasitoide *C. stephanoderis* en el manejo integrado de *H. hampei*. Se considera patente la necesidad de estrechar lazos de cooperación entre los diversos eslabones del sistema producto café a fin de contribuir realmente a disminuir el problema que representa la broca y más importante, es necesario replantear la estrategia de manejo, lo que representa un cambio de mentalidad y acción, que se podría conseguir en gran medida por medio de la capacitación.

**Acciones de asistencia técnica y capacitación.** Llevar los conocimientos y la tecnología generada por las instituciones académicas a los agricultores ha sido uno de los puntos más delicados en el proceso de transferencia de tecnología de control biológico de la broca del café. El proceso tiene sus complicaciones por varios factores, entre ellos la carencia de suficientes técnicos extensionistas con la sensibilidad, el conocimiento y las habilidades para servir de enlace entre investigadores y productores. Tampoco existen mecanismos suficientemente sólidos para garantizar la asistencia técnica y la capacitación en procesos de mediano y largo plazo como los requeridos en los cultivos perennes como el café. Por otro lado, los procesos de capacitación están muchas veces desarticulados del proceso de implementación, lo que limita llevar a la práctica lo aprendido. Esto último está ligado con la falta de recursos económicos suficientes y oportunos para implementar las acciones de control. Posiblemente el escollo más limitante provenga del modelo mismo, el cual se basa en flujos de información unidireccionales, “de arriba hacia abajo”, donde se omiten como principio de trabajo las percepciones y el conocimiento local de los agricultores.

Ante esta problemática, sobresale que los productores hayan sido capaces, después de todo, de implementar algunas de las tecnologías del control biológico de la broca del café. A fin de superar los problemas antes mencionados, ECOSUR en colaboración con otras instituciones como la Universidad Autónoma de Chiapas y organizaciones no gubernamentales como Conservación Internacional y Aires de Cambio S.C., impulsan procesos tendientes a crear y mejorar las capacidades locales de asistencia técnica y capacitación a través el modelo de Escuelas de Campo y Experimentación Agrícola (ECEAs) (Jarquín-Gálvez 2005). A través de las ECEAs se han formado promotores campesinos bajo el principio de “aprender haciendo” y “aprender a enseñar”. Los promotores, procedentes de las mismas comunidades donde prestarán sus servicios de asistencia técnica y capacitación, suelen ser productores de café. Y las organizaciones de productores donde se asocian, están involucradas en la producción de café orgánico con un

mercado establecido. La formación considera diversos aspectos organizativos y de la producción de café, entre ellos, el control biológico de la broca con parasitoides y entomopatógenos. El proceso dura un ciclo de cultivo (alrededor de un año) y finaliza con la certificación de los promotores a través de sus competencias laborales. El modelo se ha aplicado hasta ahora sólo en Chiapas (Centro, Norte y Soconusco).

### **Perspectivas del control biológico de *Hypothenemus hampei* en México**

Todo hace suponer que en el largo plazo la tendencia del precio del café continuará a la baja y que las crisis del precio serán recurrentes en los próximos años. Por otro lado, no puede pasar desapercibida la crisis económica, social y ambiental como consecuencia de los bajos precios ni el interés que ha despertado el cultivo del café como elemento clave en la conservación de los recursos naturales. Sin duda, este contexto abre nuevas oportunidades para los diversos eslabones del sistema producto café (ver Barrera *et al.* 2004 para una propuesta). Se presenta como una oportunidad ejemplar para que los productores de café escojan y construyan una nueva cafecultura, más empresarial y competitiva, pero igualmente con mayor responsabilidad social y ambiental. Es asimismo, una oportunidad para el sector industrial y los compradores de café, quienes deben procurar pagar precios justos y premiar no sólo la calidad del grano sino también las buenas prácticas para producir conservando. También representa una oportunidad para que las instituciones modifiquen sus esquemas de trabajo en pro de una cafecultura sustentable y que los legisladores apoyen estos procesos desde sus curules.

¿Cómo eficientar el control biológico de la broca en este panorama tan adverso? A continuación se presentan algunas ideas para lograrlo, las cuales surgen de una propuesta para el manejo holístico de plagas (Barrera 2006a, Barrera *et al.* 2007).

**El control biológico de la broca debe ser parte de una estrategia para mejorar los ingresos de los productores.** Mientras los productores sigan sumidos en la pobreza, la broca seguirá siendo una plaga incontrolable. Lo anterior tiene un significado importante en el sentido que la mayoría de los productores de café en México son pequeños agricultores, ejidatarios, indígenas, que viven en regiones serranas de alta marginación. Por lo tanto, es fundamental plantear una estrategia con el objetivo primordial de mejorar los ingresos de los productores como camino para lograr un mejor bienestar. En la medida que ellos desarrollen la capacidad de satisfacer sus necesidades más apremiantes (alimento, salud, casa, educación), podrán dirigir su atención y recursos a solventar los problemas de la producción del café como es el caso que representa la broca. Esto conlleva no sólo a mejorar el rendimiento y calidad del café, sino también a

diversificar las fuentes de ingresos para reducir su vulnerabilidad a las crisis del precio del café. Sin este objetivo de por medio, será imposible implementar cualquier forma de control de la broca, incluido el control biológico.

**Desarrollar la autogestión y la organización de los productores como mecanismos de acceso al control biológico.** La participación de los productores en la solución de sus propios problemas es un derecho que muchos de ellos han perdido por causa de la ignorancia, la desconfianza y la apatía. Tal circunstancia les ha impedido apropiarse de su futuro y de usar la fuerza de la unión como medio de mejorar la productividad, acceder a recursos gubernamentales y no gubernamentales o aprovechar las oportunidades del mercado, entre otros. Esfuerzos importantes se deben hacer para revertir la inercia de la apatía y desorganización en los productores. En contraposición al paternalismo, las instituciones deben facilitar los procesos y los productos, es decir, “enseñarles a pescar”; para conseguirlo, deben fomentar la autogestión y apoyar la organización de los grupos de trabajo o la consolidación de las organizaciones. Los grupos organizados y autogestores tendrán no sólo mayor capacidad de acceder a los productos del control biológico (el parasitoide y el hongo) sino también de apropiarse de la tecnología (laboratorios de cría rural y de producción de entomopatógenos).

**Generar mecanismos de acceso al conocimiento sobre control biológico a nivel local.** “La sociedad del conocimiento” se ha dado en llamar a la sociedad de este siglo. La ciencia y la tecnología han alcanzado niveles tan altos de desarrollo que forman parte indisoluble las naciones más avanzadas. Es imposible pensar en competir exitosamente en el mercado, sin estar bien informado. La información-conocimiento conduce a tomar decisiones acertadas en camino al bienestar. Por ejemplo, las interacciones tri-tróficas (cultivo-plaga-enemigos naturales) requieren amplios conocimientos para entenderlas y usarlas en forma de control biológico. Por lo tanto, los productores deben generar mecanismos propios para ampliar sus conocimientos y mantenerse informados. Ello significa crear capacidades locales de asistencia técnica y capacitación para que la información-conocimiento deje de ser un insumo externo para su desarrollo. En este sentido, es importante establecer ECEAs como medio para acceder al control biológico de *H. hampei*.

**Inculcar una cultura agroecológica que fortalezca al control biológico.** “Producir conservando, conservar para producir”, es un principio de vida. Luchar contra la naturaleza en vez de cuidarla, conlleva a la destrucción del entorno y finalmente del hombre mismo. Por fortuna, el cultivo del café bajo sombra, característico en México, contiene elementos estructurales y funcionales que favorecen los ciclos naturales del agua, el carbono y el nitrógeno, entre otros, donde prospera una rica biodiversidad. No obstante, el hambre y la ignorancia

suelen hacer que los productores destruyan sus recursos naturales. Por ello, es importante inculcarles su conservación a través de técnicas agroecológicas de producción. El conocimiento agroecológico conlleva a estructurar sistemas productivos diversificados menos propensos al ataque de plagas y a desarrollar una cultura de prevención más que de control. En este contexto, los agentes de control biológico de la broca encontrarán condiciones más apropiadas para su funcionamiento.

**Unir los eslabones de la cadena.** Todas estas acciones serían vanas si los productores no están conectados a los mejores mercados para sus productos. En la búsqueda de mejores precios, los productores requieren pensar como empresarios y entre las actividades que tienen que emprender están: evitar los intermediarios hasta donde sea posible, lo cual significa que deben desarrollar mecanismos para acceder más directamente a los consumidores; promocionar y certificar la calidad e identidad de sus productos para colocarlos en nichos especiales; transformar sus materias primas para darles valor agregado; desarrollar productos “verdes” y los servicios ambientales, incluido el ecoturismo. El control biológico de la broca posee gran potencial para generar tanto la imagen como los procesos y productos de una cafecultura amigable con el ambiente. También los consumidores tienen una importante co-responsabilidad en la sustentabilidad de la cadena productiva. Por ejemplo, deben pagar precios justos a los productores o incidir para que los compradores de café creen mercados justos. Igualmente, ellos y los compradores deben reconocer, a través de pagar un mejor precio, cuando el café es producido en sistemas que conservan la naturaleza y donde las plagas son controladas con agentes de control biológico.

**Avanzar hacia la responsabilidad social de las empresas cafetaleras.** Por último, los productores de café deben pagar salarios justos a sus empleados permanentes y temporales, quienes suelen ser pobres entre los pobres. Salarios que incluyan prestaciones sociales y que mejoren significativamente el bienestar de sus trabajadores. Una mejor atención hacia los trabajadores podría garantizar suficiente mano de obra para la cosecha del grano, o para realizar las actividades postcosecha, entre ellas el control de la broca por medios culturales (cosecha sanitaria) o biológicos (cría de parasitoides y aspersion de entomopatógenos).

## LITERATURA CITADA

- Armbrecht, I. and M. C. Gallego 2007. Testing ant predation on the coffee berry borer in shaded and sun coffee plantations in Colombia. *Entomol. Exp. App.* 124: 261-267.
- Baker, P.S. 1999. La broca del café en Colombia. DFID, Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, CABI Bioscience. 146 p.
- Baker, P.S. and J.F. Barrera. 1993. A field study of a population of coffee berry borer,



- Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae), in Chiapas, Mexico. Trop. Agric. 70: 351-355.
- Baker, P.S., J.F. Barrera and A. Rivas. 1992a. Life history studies of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*, Scolytidae) on coffee trees in southern Mexico. J. App. Ecol. 29: 656-662.
- Baker, P.S., J.F. Barrera and J.E. Valenzuela. 1989. The distribution of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) in southern Mexico: A survey for a biocontrol project. Tropical Pest Management 35: 163-168.
- Baker, P.S., C. Ley, R. Balbuena and J.F. Barrera. 1992b. Factors affecting the emergence of *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) from coffee berries. Bull. Ent. Res. 82: 145-150.
- Baker, P.S., J.A.F. Jackson and S.T. Murphy. 2002. Natural enemies, natural allies. Project completion report of the integrated management of coffee berry borer project, CFC/ICO/02 (1998-2002). The commodities press. CABI commodities, Egham UK and Cenicafe, Chinchiná, Colombia.
- Barrera, J.F. 1994. Dynamique des populations du scolyte des fruits du caféier, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae), et lutte biologique avec le parasitoïde *Cephalonomia stephanoderis* (Hymenoptera: Bethyridae), au Chiapas, Mexique. Tesis de doctorado. Université Paul-Sabatier, Francia, 301 p.
- Barrera, J.F. 2005a. Simposio sobre Situación Actual y Perspectivas de la Investigación y Manejo de la Broca del Café en Costa Rica, Cuba, Guatemala y México. Sociedad Mexicana de Entomología y El Colegio de la Frontera Sur. Tapachula, Chiapas, México. 66 p.
- Barrera, J.F. 2005b. Investigación sobre la broca del café en México: logros, retos y perspectivas, pp. 1-13. In: J.F. Barrera (ed.), Simposio sobre Situación Actual y Perspectivas de la Investigación y Manejo de la Broca del Café en Costa Rica, Cuba, Guatemala y México. Sociedad Mexicana de Entomología y El Colegio de la Frontera Sur. Tapachula, Chiapas, México.
- Barrera, J.F. 2006a. Manejo holístico de plagas: Hacia un nuevo paradigma de la protección fitosanitaria, pp. 63-82. In: J. Pohlen, L. Soto & J. Barrera (eds.), El cafetal del futuro: Realidades y Visiones. Aachen, Shaker Verlag, Alemania.
- Barrera, J.F. 2006b. Atlas de insectos de interés agrícola en cafetales del Soconusco y Sierra de Chiapas. El Colegio de la Frontera Sur y Fundación Produce Chiapas A.C. 26 p.
- Barrera, J.F., P.S. Baker, A. Schwarz y J.E. Valenzuela. 1990 a. Introducción de dos especies de parasitoides africanos a México para el control biológico de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae). Folia Entomol. Mex. 79: 245-247.
- Barrera, J.F. y D. Enkerlin. 1983. Un insecto que tiene en jaque a la cafecultura: la broca del grano del café. Econoticias 3: 3-6.
- Barrera, J.F., A. García, V. Domínguez y C. Luna (eds.). 2007. La Broca del Café en América Tropical: Hallazgos y Enfoques. Sociedad Mexicana de Entomología y El Colegio de la Frontera Sur. México. 141 p.
- Barrera, J.F., F. Infante, A. Castillo, J. Gómez y W. de la Rosa. 1992. Descripción de la cría rural de parasitoides para el control biológico de la Broca del Café y análisis de su adopción y transferencia, pp. 531-543. In: Memorias del XV Simposio Latinoamericano de Cafecultura. SARH-INMECAFE-PROMECAFE/IICA. 21-24 julio de 1992. Xalapa, Veracruz, México.
- Barrera, J.F., F. Infante, W. de la Rosa, A. Castillo y J. Gómez. 2000. Control biológico de la broca del café, pp. 211-229. In: M.H. Badii, A.E. Flores & L.J. Galán Wong (eds.), Fundamentos y Perspectivas de Control Biológico. UANL, México. 462 p.

- Barrera, J.F., F. Infante, J. Gómez, A. Castillo y W. de la Rosa. 1991. Guía Práctica: Cría y manejo de parasitoides para el control biológico de la broca del café en comunidades rurales. Centro de Investigaciones Ecológicas del Sureste, Unidad Tapachula. México. 31 p.
- Barrera, J.F., F. Infante, M. Vega, O. González, E. Carrillo, O. Campos, R. Muñóz, A. Serrano, J.J. Osorto, B. Decazy y D. Moore. 1990 c. Introducción de *Cephalonomia stephanoderis* (Hymenoptera: Bethyridae) a Centroamérica para el control biológico de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). Turrialba 40: 570-574.
- Barrera, J.F., D. Moore, Y.J. Abraham, S.T. Murphy and C. Prior. 1990 b. Biological control of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei*, in Mexico and possibilities for further action. Brighton Crop Protection Conference-Pests and Diseases- 1990, 14: 391-396.
- Barrera, J.F., M. Parra V., O.B. Herrera H., R. Jarquín G. y J. Pohlan. 2004. Plan Estatal de Manejo Agroecológico del café en Chiapas: Una guía para una cafecultura sustentable. El Colegio de la Frontera Sur y la Comisión para el Desarrollo y Fomento del Café de Chiapas. Tapachula, Chiapas, México. 164 p.
- Bautista, N. 2006. Insectos plaga. Una guía para su identificación. Colegio de Postgraduados. Texcoco, Estado de México. México. 113 p.
- Belliure, B. and J.P. Michaud. 2001. Biology and behavior of *Pseudodorus clavatus* (Diptera: Syrphidae), an important predator of citrus aphids. Ann. Entomol. Soc. Ame. 94: 91-96.
- Benassi, V.L.R.M. 1995. Levantamento dos inimigos naturais da broca do café *Hypothenemus hampei* (Ferr.) (Coleoptera: Scolytidae) no norte do Espírito Santo. An. Soc. Entomol. Brasil 24: 635-638.
- Benavides M., P. 2007. Aspectos genéticos de la broca del café, pp. 101-110. In: J.F. Barrera, A. García, V. Domínguez & C. Luna (eds.), La Broca del Café en América Tropical: Hallazgos y Enfoques. Sociedad Mexicana de Entomología y El Colegio de la Frontera Sur. México.
- Benavides, P., F.E. Vega, J. Romero-Severson, A.E. Bustillo and J.J. Stuart. 2005. Biodiversity and biogeography of an important inbred pest of coffee, coffee berry borer (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). Ann. Entomol. Soc. Am. 98: 359-366.
- Berlanga-Padilla, A. 2003. Avances en el control microbiano del pulgón café de los cítricos en México, pp. 215-225. In: Memorias Simposio Internacional de Limas Acidas. Noviembre de 2003. Colima, Colima. México.
- Berlanga-Padilla, A. y J.I. López-Arroyo. 2006. Efecto de hongos entomopatógenos en depredadores del pulgón café de los cítricos (Homoptera: Aphididae), pp. 384-388. In: Memorias del XXIX Congreso Nacional de Control Biológico. Sociedad Mexicana de Control Biológico. Noviembre de 2006. Manzanillo, Colima, México.
- Berlanga-Padilla, A.M. y M.C. Núñez. 2006. Susceptibilidad de *Toxoptera citricida* (Homoptera: Aphididae) a hongos entomopatógenos, pp. 349-352. In: Memorias del XXIX Congreso Nacional de Control Biológico. Sociedad Mexicana de Control Biológico. Noviembre de 2006. Manzanillo, Colima, México.
- Browning, H.W. and J.P. Michaud. 2000. Field Evaluation of natural enemies of brown citrus aphid. Project No. 971-16. IFAS, UF, CREC. Lake Alfred, Florida.
- Bustillo, A.E., R. Cardenas and F.J. Posada. 2002. Natural Enemies and Competitors of *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae) in Colombia. Neotrop. Entomol. 31: 635-639.
- Bustillo, A.E., R. Cárdenas, D. Villalba, P. Benavides, J. Orozco y F.J. Posada. 1998. Manejo integrado de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) en Colombia. Chinchiná, Cenicafé, 134 p.
- Cairns, C.E., R. Villanueva-Gutiérrez, S. Koptur and D.B. Bray. 2005. Bee populations, forest disturbance, and africanization in Mexico. Biotropica 37: 686-692.

- Cancino, J., P. Villalobos and S. de la Torre. 2002. Changes in the rearing process to improve the quality of mass production of the fruit parasitoid *Diachasmimorpha longicaudata* (Ashmead) (Hymenoptera: Braconidae), pp. 74-82. *In*: N.C. Leppla, K.A. Bloem, R.F. Luck (eds.), Quality control for mass-reared arthropods. Proceedings of the 8th and 9th workshops of the International Organization for Biological Control Working Group on Quality Control of Mass-Reared Arthropods.
- Castillo F., R. 1998. Situación actual y acciones para el combate de la broca del café en México, pp. 23. *In*: J.F. Barrera, A.A. Guerra, J.J. Menn & P.S. Baker (eds.), II Reunión Intercontinental sobre broca del café. Tapachula, Chiapas, México.
- Castillo V., A. 2007. Nematodos parásitos de la broca del café, pp. 111-120. *In*: J.F. Barrera, A. García, V. Domínguez & C. Luna (eds.), La Broca del Café en América Tropical: Hallazgos y Enfoques. Sociedad Mexicana de Entomología y El Colegio de la Frontera Sur. México.
- Castillo, A., F. Infante, J.F. Barrera, L. Carta and F. Vega. 2002. First field record of a nematode (Tylenchida: Sphaerularioidea) attacking the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae) in the Americas. *J. Invert. Pathol.* 79: 120-122.
- Cermeli, M. 1992. Afidos que afectan las cítricas en Venezuela y sus controladores naturales, pp. 204-207. *In*: R. Lastra, R. Lee, M. Rocha-Peña, C.L. Niblett, F. Ochoa, S.M. Garnsey & R.K. Yokomi (eds.), Proceedings of the workshop Citrus tristeza virus and *Toxoptera citricida* in Central America: Development of management strategies and use of biotechnology for control. CATIE-University of Florida-INIFAP/SARH-Universidad Central de Venezuela-USDA. Septiembre de 1992. Maracay, Venezuela.
- Chávez, I.E. y F. Vega. 2004. Epidemiología de *Metaparasitylenchus hypothenemi* (Tylenchida: Allantonematidae) en la broca del café *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae). *En*: XXXIII Congreso Nacional de Entomología. Mazatlán, Sinaloa, México.
- de la Rosa, W., W., R. Alatorre, J.F. Barrera and C. Toriello. 2000. Effect of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* (Deuteromycetes) upon the coffee berry borer (Coleoptera: Scolytidae) under field conditions. *J. Econ. Entomol.* 93: 1409-1414.
- de la Rosa, W., M. Figueroa and J. Ibarra. 2005. Selection of *Bacillus thuringiensis* strains native to Mexico active against the coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). *Vedalia* 12: 3-9.
- Deloya, A.C. y J.E. Valenzuela. 1999. Catálogo de insectos y ácaros plaga de los cultivos agrícolas de México. Sociedad Mexicana de Entomología, A.C. Xalapa, Ver., México. Publicación especial no. 1. 174 p.
- Deng, Y.X. and J.H. Tsai. 1998. Development of *Lysiphlebia japonica* (Hymenoptera: Aphidiidae), a parasitoid of *Toxoptera citricida* (Homoptera: Aphididae) at five temperatures. *Fla. Entomol.* 81: 415-423.
- Denmark, H.A. 1978. The brown citrus aphid *Toxoptera citricida* (Kirkaldy). Florida Department of Agriculture & Consumer Services. Division of Plant Industry. Entomology Circular No. 194.
- Domínguez, E., J.I. López, R. Castillo y P. Ruíz. 1999. El cocotero *Cocos nucifera* L. Manual para la producción en México. INIFAP-CIRGOC. Campo Experimental Huimanguillo. Libro técnico no. 6. Tabasco, México. 132 p.
- Dufour, B., J.F. Barrera y B. Decazy. 1999. La broca de los frutos del café: ¿La lucha biológica como solución?, pp. 293-325. *In*: Desafíos de la caficultura en Centroamérica. B. Bertrand & B. Rapidel (eds.). San José, Costa Rica. CIRAD, IICA.
- Gama, F. de C., C.A.D. Teixeira, A. Garcia, J. N.M. Costa e D.K.S. Lima. 2006. Diversidade de Fungos Filamentosos Associados a *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae) e suas Galerias em Frutos de *Coffea canephora* (Pierre). *Neotropical Entomology* 35: 573-578.

- Geraud, F. 1992. *Toxoptera citricida* (Kirkaldy) en Venezuela, su relación con la epifitía del virus tristeza, pp. 202-203. In: R. Lastra, R. Lee, M. Rocha-Peña, C.L. Niblett, F. Ochoa, S.M. Garnsey & R.K. Yokomi (eds.), Proceedings of the workshop citrus tristeza virus and *Toxoptera citricidus* in Central America: Development of management strategies and use of biotechnology for control. CATIE-University of Florida-INIFAP/SARH-Universidad Central de Venezuela-USDA. Septiembre de 1992. Maracay, Venezuela.
- Halbert, S. and L.W. Brown. 1996. The brown citrus aphid, *Toxoptera citricida* (Kirkaldy). Florida Department of Agriculture and Consumer Services, Division of Plant Industry, University of Florida. Publication Number: EENY-007.
- Hermoso, A., J.F. Ballester-Olmos and J.A. Pina-Lorca. 1984. Transmission of citrus tristeza virus by aphids (Homoptera, Aphididae) in Spain, pp. 23-27. In: Garnsey, S.M., L.W. Timmer & A.J. Dodds (eds.), Proc. 9th Conf. Intern. Organ. Citrus Virol. Riverside, California.
- Hernández-Torres, I., A. Berlanga, J.I. López, J. Loera y E. Acosta. 2007. Evaluación de hongos entomopatógenos para el control del pulgón café de los cítricos, *Toxoptera citricida* (Kirkaldy), en México. INIFAP. CIRNE. Campo Experimental General Terán. General Terán, Nuevo León, México. Folleto Científico No. 01. 20 p.
- Hill, S. and M.A. Hoy. 2003. Interactions between the red imported fire ant *Solenopsis invicta* and the parasitoid *Lipolexis scutellaris* potentially affect classical biological control of the aphid *Toxoptera citricida*. Biological Control 27: 11-19.
- Hoy, M.A. 2005. Classical biological control of citrus pests in Florida and the Caribbean: Interconnections and sustainability, pp. 237-253. In: Proceedings of the 2nd International Symposium in Biological Control of Arthropods. September, 2004. Davos, Switzerland.
- Hoy, M.A. and R. Nguyen. 2000a. Classical biological control of brown citrus aphid. Release of *Lipolexis scutellaris*. Citrus Industry 81: 24-26.
- Hoy, M.A. and R. Nguyen. 2000b. *Lipolexis scutellaris* Mackauer (Insecta: Hymenoptera: Aphididae). Florida Department of Agriculture and Consumer Services, Division of Plant Industry, University of Florida. Publication Number: EENY-181.
- Huelsman, M. and J. Kovach. 2004. Behavior and treatment of the multicolored Asian lady beetle (*Harmonia axyridis*) in the urban environment. American Entomol. 50: 163-164.
- Jaramillo, J., C. Borgemeister and P. Baker. 2006. Coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae): searching for sustainable control strategies. Bull. Entomol. Res. 96: 1- 12.
- Jarquín-Gálvez, R. 2005. Escuelas de campo y experimentación para agricultores en la formación de promotores comunitarios sobre broca del café, pp. 62-66. In: J.F. Barrera (ed.), Simposio sobre Situación Actual y Perspectivas de la Investigación y Manejo de la Broca del Café en Costa Rica, Cuba, Guatemala y México. Sociedad Mexicana de Entomología y El Colegio de la Frontera Sur. Tapachula, Chiapas, México.
- Koch, R.L., R.C. Venette and W.D. Hutchinson. 2006. Invasions by *Harmonia axyridis* (Pallas) (Coleoptera: Coccinellidae) in the Western Hemisphere: Implications for South America. Neotropical Entomology 35: 421-434.
- Kovach, J. 2004. Impact of multicolored Asian lady beetle as a pest of fruit and people. American Entomol. 50: 159-161.
- Kranz, J., H. Schmutterer and W. Koch. 1977. Diseases, pests and weeds in tropical crops, pp. 342-343. Paul Parey, Berlin, Germany.
- Lee, R.F., C.N. Roistacher, C.L. Niblett, R. Lastra, M. Rocha-Peña, S.M. Garnsey, R.K. Yokomi, D.J. Gumpf and J.A. Dodds. 1992. Presence of *Toxoptera citricidus* in Central America: A threat to citrus in Florida and the United States. Citrus Industry 73.

- Liu, Y.H. and J.H. Tsai. 2002. Effect of temperature on development, survivorship, and fecundity of *Lysiphlebia mirzai* (Hymenoptera: Aphidiidae), a parasitoid of *Toxoptera citricida* (Homoptera: Aphididae). *Environ. Entomol.* 31(2): 418-424.
- López-Arroyo, J.I., A.M. Berlanga, R. Canales, J. Loera-Gallardo, I. Hernández, M.A. Miranda y M.A. Reyes. 2007. Proyecto CONACYT/SAGARPA 1249. Control biológico del pulgón café de los cítricos en México: Uso de depredadores y entomopatógenos nativos. Informe técnico final. CONACYT. INIFAP. Campo Experimental Gral. Terán, N.L., México. 139 p.
- López-Arroyo, J.I., R. Canales, J. Loera-Gallardo y M.A. Miranda. 2005a. Evaluación de alimentos suplementarios para la atracción y retención de depredadores afidófagos en cítricos. *In: Memorias del XXVIII Congreso Nacional de Control Biológico*, Sociedad Mexicana de Control Biológico. Noviembre de 2005. San Miguel de Allende, Gto., Méx.
- López-Arroyo, J.I., R. Canales, M.A. Miranda y J. Loera-Gallardo. 2004. Evaluación de depredadores para el control del pulgón café de los cítricos (Homoptera: Aphididae). *In: Memorias del XXVII Congreso Nacional de Control Biológico*. Sociedad Mexicana de Control Biológico. Noviembre de 2004. Los Mochis, Sin., México.
- López-Arroyo, J.I., R. Canales, M.A. Miranda y J. Loera-Gallardo. 2005b. Efecto de la maleza en depredadores de afidófagos asociados a los cítricos. *In: Memorias del XXVIII Congreso Nacional de Control Biológico*, Sociedad Mexicana de Control Biológico. Noviembre de 2005. San Miguel de Allende, Gto., Méx.
- López-Arroyo, J.I., J. Loera-Gallardo, M.A. Reyes-Rosas y M.A. Rocha-Peña. 2003a. Manejo integrado de plagas de los cítricos mediante enemigos naturales en México. p. 12-26. *En: 1er Simposio Internacional de Citricultura de Oaxaca*. Septiembre de 2003. Puerto Escondido, Oaxaca. México.
- López-Arroyo, J.I., J. Loera Gallardo, M.A. Reyes Rosas y M.A. Rocha Peña. 2003b. Estado actual de las plagas potenciales de los cítricos en México ¿Es la oportunidad para el uso de depredadores?, pp. 249-263. *In: R. Alatorre y V. Sandoval (ed.) Memorias del XIV Curso Nacional de Control Biológico*. Sociedad Mexicana de Control Biológico. Noviembre de 2003. Guadalajara, Jal., México.
- López-Arroyo, J.I., M.A. Peña, M.A. Rocha Peña y J. Loera. 2005. Ocurrencia en México del psílido asiático, *Diaphorina citri* (Homoptera: Psyllidae), pp. C68. *En: Memorias del VII Congreso Internacional de Fitopatología*. Chihuahua, Chih., Méx.
- MacGregor, R. y O. Gutiérrez. 1983. Guía de insectos nocivos para la agricultura en México. Alhambra Mexicana, S.A. México, D.F. 166 p.
- Méndez-López, I., R. Basurto-Ríos and J. E. Ibarra. 2003. *Bacillus thuringiensis* serovar *israelensis* is highly toxic to the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* Ferr. (Coleoptera: Scolytidae). *FEMS Microbiology Letters* 226: 73-77.
- Michaud, J.P. 1998. A review of the literature on *Toxoptera citricida* (Kirkaldy) (Homoptera: Aphididae). *Fla. Entomol.* 81: 37-61.
- Michaud, J.P. 1999. Sources of mortality of brown citrus aphid, *Toxoptera citricida*. *BioControl* 44: 347-367.
- Michaud, J.P. 2000. Development and reproduction of ladybeetles (Coleoptera: Coccinellidae) on the citrus aphids *Aphis spiraecola* Patch and *Toxoptera citricida* (Kirkaldy) (Homoptera: Aphididae). *Biol. Control* 18: 287-297.
- Michaud, J.P. 2001a. Colony density and wing development in *Toxoptera citricida* (Homoptera: Aphididae). *Environ. Entomol.* 30: 1047-1051.

- Michaud, J.P. 2001b. Evaluation of green lacewings, *Chrysoperla plorabunda* (Fitch) (Neurop., Chrysopidae), for augmentative release against *Toxoptera citricida* (Hom., Aphididae) in citrus. *J. Applied Entomol.* 125: 383-388.
- Michaud, J.P. 2002a. Classical biological control: A critical review of recent programs against citrus pests in Florida. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 95: 531-540.
- Michaud, J.P. 2002b. Invasion of the Florida citrus ecosystem by *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) and asymmetric competition with a native species, *Cycloneda sanguinea*. *Environ. Entomol* 31: 827-835.
- Michaud, J.P. and R. Alvarez. 2000. First collection of brown citrus aphid (Homoptera: Aphidiidae) in Quintana Roo. *Fla. Entomol.* 83: 357-358.
- Michaud, J.P. and B. Belliure. 2001. Impact of syrphid predation on production of migrants colonies of the brown citrus aphid, *Toxoptera citricida* (Homoptera: Aphididae). *Biol. Control* 21: 91-95.
- Michaud, J.P. and H.P. Browning. 2002. Three targets of classical biological control in the Caribbean: Success, contribution, and failure. *In: Proceedings of the 1<sup>st</sup>. International Symposium in Biological Control of Arthropods.* February, 2002. Honolulu, Hawaii.
- Miller, R., K.S. Pike and P. Stary. 2002. Aphid parasitoids (Hymenoptera: Aphidiidae) on Guam. *Micronesica* 34: 87-103.
- Montoya, P., P. Liedo, B. Benrey, J. Cancino, J. Barrera, J. Sivinski and M. Aluja. 2000. Biological control of *Anastrepha* spp. (Diptera: Tephritidae) in mango orchards through augmentative releases of *Diachasmimorpha longicaudata* (Ashmead) (Hymenoptera: Braconidae). *Biological Control* 18: 216-224.
- Munguía, R.A. 2002. Programa de manejo del pulgón café en el sureste de México. *In: Memorias del Curso de Acreditación en Virus Tristeza de los Cítricos.* SAGARPA, Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Yucatán. Agosto de 2002. Mérida, Yuc., México.
- Murphy, S.T. and D. Moore. 1990. Biological control of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae): previous programmes and possibilities for the future. *Biocontrol News Inf.* 11: 107-117.
- Nalepa, C.A., G.G. Kennedy and C. Brownie. 2004. Orientation of multicolored Asian lady beetle to buildings. *American Entomol.* 50: 165-166.
- Ortiz-Persichino, C. 1991. Pérdidas por la broca del café en el Soconusco, Chiapas. Informe Técnico. Centro de Investigaciones Ecológicas del Sureste. San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México, 126 p.
- Peña, E., L. Villazón, S. Jiménez, L. Vázquez y L. Licor. 2000. Alternativas para el control biológico del pulgón pardo de los cítricos (*Toxoptera citricidus* Kirkaldy) (Homoptera: Aphididae). *Fitosanidad* 4: 75-78.
- Pérez-Lachaud, G. 1998. A new bethylid attacking the coffee berry borer in Chiapas (Mexico) and some notes on its biology. *Southern Entomol.* 23: 287-288.
- Perfecto, I. and J. Vandermeer. 2006. The effect of an ant-hemipteran mutualism on the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) in southern Mexico. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 117: 218-221.
- Poinar, G. Jr., F.E. Vega, A. Castillo, I. E. Chavez and F. Infante. 2004. *Metaparasitylenchus hypothenemi* n. sp. (Nematoda: Allantonematidae), a parasite of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Curculionidae: Scolytinae). *J. Parasitol.* 90: 1106-1110.
- Poprawski, T.J., P.E. Parker and J.H. Tsai. 1999. Laboratory and field evaluation of hyphomycete insect pathogenic fungi for control of brown citrus aphid (Homoptera: Aphididae). *Environ. Entomol.* 28: 315-321.

- Ramírez, M. y B. Reyes. 2000. 3ª Reunión Nacional de la Campaña contra la Broca del Café. Tepic, Nayarit, México, 110 p.
- Ramírez del Ángel, M., M. González C., A. Bello R. y S. Romero B. 2007. Campaña Nacional contra la broca del café en México: operación y perspectivas, pp. 73-81. *In*: J.F. Barrera, A. García, V. Domínguez & C. Luna (eds.), La Broca del Café en América Tropical: Hallazgos y Enfoques. Sociedad Mexicana de Entomología y El Colegio de la Frontera Sur. México.
- Rocha-Peña, M.A., R.F. Lee, J.I. López-Arroyo, M.A. Peña del Río y J.E. Padrón-Chávez. 2004. Perspectivas de manejo del virus de la tristeza y otros problemas fitosanitarios potenciales de los cítricos. Simposio Nacional de Manejo Fitosanitario de Cultivos Tropicales. Mayo de 2004. Villahermosa, Tab., México.
- Rocha-Peña, M., M.A. Peña y R.F. Lee. 1992. El virus de la tristeza y sus insectos vectores: Amenaza potencial para la citricultura en México. Campo Experimental Gral. Terán, INIFAP-SARH. Publicación especial no. 1. 48 p.
- Roistacher, C.N. and M. Bar-Joseph. 1987. Aphid transmission of citrus tristeza virus: a review. *Phytophylactica* 19:163-167.
- Rondón, A.G., E. Arnal y F. Godoy. 1981. Comportamiento del *Verticillium lecanii* (Zimm) Viegas, patógeno del áfido *Toxoptera citricidus* (Kirk.) en fincas citrícolas de Venezuela. *Agro. Trop.* 30:201-212.
- SAGARPA. 2004. Norma Oficial Mexicana NOM-031-FITO-2000, por la que se establece la campaña contra el virus tristeza de los cítricos. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México. Diario Oficial de la Federación. 15p.
- Sánchez-Anguiano, H.M. 2003. Avances del programa nacional de reconversión productiva de la cadena citrícola en México, pp. 150-151. *In*: M.A. Rocha-Peña & M.E. Ovando-Cruz (eds.), Memorias del primer Simposio Internacional de Citricultura Oaxaca 2003. COECIO A.C., SAGARPA, INIFAP, SEDAF, FPOaxaca. Septiembre de 2003. Puerto Escondido, Oax., México.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2007. Estadística básica agrícola. Obtenido de la red mundial durante septiembre de 2007. <http://www.siap.gob.mx>.
- Sistema Integral de Información Agropecuaria y Pesquera. 2006. Sistema de Información Agropecuaria de Consulta (SIACON). Obtenido de la red mundial durante junio de 2007. [http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar\\_comdeanuadin.html](http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar_comdeanuadin.html)
- Vega, F.E. and G. Mercadier. 1998. Insects, coffee and ochratoxin A. *Fla. Entomol.* 81: 543-544.
- Vega, F.E., G. Mercadier, A. Damon and A. Kirk. 1999. Natural enemies of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae) in Togo and Cote d'Ivoire, and other insects associated with coffee beans. *Afr. Entomol.* 7: 243-248.
- Villarreal, L.A., A.M. Ramírez y P.L. Robles. 2000. Campaña contra el virus tristeza de los cítricos en México. *In*: Memorias de la Séptima Reunión Anual del Consejo Nacional Consultivo Fitosanitario. Secretaría de Agricultura Ganadería y Desarrollo Rural. Comisión Nacional Agropecuaria. Octubre, 2000. Puebla, Pue., México.
- Villaseñor Luque, A. 1987. Caficultura moderna en México. Ed. Futura, S.A. México. 469 p.
- Villegas-Jiménez, N., J.P. Delgado-Castillo y J. Méndez-Herrera. 2004. Monitoreo del avance de *Toxoptera citricida* (Kirkaldy) (Hemiptera: Aphididae) en la vertiente del Golfo de México. *Entomol. Mex.* 3: 501-504.
- Walker, A.M. and M.A. Hoy. 2003. Responses of *Lipolexis oregmae* (Hymenoptera: Aphidiidae) to different instars of *Toxoptera citricida* (Homoptera: Aphididae). *J. Econ. Entomol.* 96: 1685-1692.

- Waterhouse, D.F. 1998. Biological control of insect pests: Southeast Asian prospects. Australian Centre for International Agricultural Research. Canberra, Australia. ACIAR Monograph No. 51, 548 p.
- Yokomi, R.K. 1994. Potential for biological control of *Toxoptera citricida* (Kirkaldy). USDA, ARS. Horticultural Research Laboratory. Orlando, FL. pp. 1-11.
- Yokomi, R.K. and Y.Q. Tang. 1996. A survey of parasitoids of brown citrus aphid (Homoptera: Aphididae) in Puerto Rico. Biol. Control 6: 222-225.



**Control Biológico de Langostas y Saltamontes**

*L. Barrientos-Lozano*

Instituto Tecnológico de Cd. Victoria  
Emilio Portes Gil No.1301, Cd. Victoria, Tam., México 87010  
ludibarrientos@prodigy.net.mx

---

---

**CONTENIDO**

<i>Introducción</i> .....	235
<i>Enemigos Naturales</i> .....	235
<i>Ensayos de Campo con M. anisopliae acridum Vs. Langosta Centroamericana en México...</i>	241
<i>Consideraciones Finales</i> .....	246
<i>Literatura Citada</i> .....	247

Barrientos-Lozano, L. 2007. Control biológico de langostas y saltamontes, pp. 234-249.  
*En:* L. A. Rodríguez-del-Bosque y H. C. Arredondo-Bernal (eds.), Teoría y Aplicación del Control Biológico. Sociedad Mexicana de Control Biológico, México. 303 p.

## INTRODUCCIÓN

Las langostas y saltamontes son componentes esenciales de ecosistemas y agroecosistemas (pastizales, malezas, cultivos básicos, frutales) y sus poblaciones se mantienen en equilibrio por factores abióticos (temperatura, precipitación, humedad relativa) y bióticos (enemigos naturales). No obstante, estos mecanismos de regulación ocasionalmente fallan y las poblaciones se disparan y se produce lo que conocemos como **explosión poblacional**.

La manera más rápida y efectiva de combatir langostas y saltamontes cuando ocurre una explosión poblacional, continúa siendo el control químico. Sin embargo, los costos ambientales y daño a los ecosistemas pueden ser altos, particularmente cuando se asperjan productos químicos en áreas grandes. Por lo que es recomendable dar prioridad al manejo integrado de langostas y saltamontes, considerando como un componente importante (al menos 30%) el control biológico. Hay numerosos reportes sobre enemigos naturales de acridoideos, pero pocos estudios sobre la mortalidad causada por éstos en plagas de langosta y saltamontes en países tropicales (Lomer *et al.* 2001, Greathead 1992).

## ENEMIGOS NATURALES

Entre los enemigos naturales de langosta y saltamontes podemos citar depredadores vertebrados e invertebrados, insectos parasitoides, nemátodos y patógenos. En el Cuadro 1 se enlistan algunos de las especies que contribuyen a regular las poblaciones de acridoideos. Los depredadores de huevos son en su mayoría generalistas y atacan las ootecas; generalmente encuentran a la presa al azar y de manera oportunista y representan una amenaza para las poblaciones de huevos pero de manera indirecta. Los huevos de langosta y saltamontes son atacados por avispidas de la familia Scelionidae; el género *Scelio* spp., se reporta como el más importante, con hasta el 30% de parasitismo (Baker *et al.* 1996).

El impacto de los depredadores en las poblaciones de saltamontes se ha estimado en 18-20% anual (oeste de E.U.A.). Sin embargo, en países como México, el impacto de los enemigos naturales (parasitoides, depredadores, patógenos) sobre las poblaciones de langosta y saltamontes prácticamente no se ha estudiado. De todos los enemigos naturales de langosta y saltamontes, diversos autores (Lomer *et al.* 2001, Prior y Street 1997, Greathead 1992) han concluido que los patógenos tienen mayor potencial para el control biológico, ya que son fáciles de manipular y producirse en forma masiva. Entre los patógenos con mayor potencial se encuentran:

**Cuadro 1. Enemigos naturales que ayudan a regular las poblaciones de acridoideos (Greathead 1991, Cuningham and Sampson 2000, Lomer *et al.* 2001).**

<b>Acridoideo (estado)</b>	<b>Enemigo natural</b>	<b>Mortalidad</b>
<i>Schistocerca gregaria</i> (huevo)	Calliphoridae	≤ 90%
	<i>Stomorhina lunata</i>	
	Bombyliidae	≤ 30%
	<i>Systoechus</i> spp.	
	Trogidae	≤ 10% (75% en la costa de Arabia Saudita)
	<i>Trox procerus</i>	
<i>Schistocerca gregaria</i> (ninfa, adultos)	Hongos	≤ 30%
	Nemestrinidae	≤ 30%
	<i>Trichopsidea costata</i>	
	Sacrophagidae	≤ 5%
	<i>Blaesoxipha</i> spp.	≤ 40%
	Aves	Pérdidas por día
	Ciconiidae	
	<i>Leptoptilos crumeniferus</i> (Marabou)	650,000 (mangas) 200,000 (mangas)
	<i>Ciconia ciconia</i> (White stork)	
	Accipitridae	25,000 (mangas)
	<i>Aquila chrysaetos</i>	
	<i>Aquila nipalensis</i>	
	Corvidae	168,000 (bandos)
	<i>Corvus</i> spp.	
Bucerotidae	140,000 (bandos)	
<i>Langosta (S. piceifrons piceifrons)</i> y saltamontes en Norte América (huevo)	<i>Toxus nasutus</i>	
	Coleoptera: Meloidae (26 especies atacan huevos de saltamontes en Norte América).	≤ 9% anual Las larvas son importantes depredadores de huevos (adultos son fitófagos importantes)
	Diptera: Bombyliidae. (13 géneros consumen las ootecas de saltamontes)	≤ 6% anual Una larva puede dañar 3 ootecas o más.
	Coleptera: Carabidae. Larvas y adultos se alimentan de ootecas	Larvas y adultos son depredadores de otros insectos, son generalistas.
	Coleoptera: Cleridae,	≤ 3% anual
	Tenebrionidae y Trogidae.	Larvas depredadoras de ootecas
	Diptera: Asilidae, Calliphoridae y Chloropidae	Larvas depredadoras de ootecas
	Hymenoptera: Scelionidae.	<i>Scelio opacus</i> se ha encontrado en 9 especies de saltamontes en Estados Unidos.
	Únicos parasitoides de huevos de saltamontes. Dos géneros: <i>Scelio</i> con 19 especies y <i>Synoditella</i> con 2 especies; distribución mundial.	
	<i>Langosta (S. piceifrons piceifrons)</i> y saltamontes en Norte América (ninfas y adultos)	Diptera: Anthomyiidae.
Distribución mundial, mas de 550 especies en Norte América		Parasita al menos 16 especies (Melanoplinae, Oedipodinae y Gomphocerinae). <i>Hylemya angustifrons</i> Meigen y <i>H. platura</i> Meigen son depredadores de huevos de saltamontes.

Asilidae. 856 especies en Norte América, 26 especies reportadas como depredadoras de saltamontes.	11-15% <i>Stenopogon coyote</i> Bromely, <i>S. neglectus</i> Bromley y <i>S. picticornis</i> Loew, se alimentan principalmente de saltamontes
Sarcophagidae. 21-22 especies parasitoides de saltamontes en Norte América.	1-50% <i>Acridophaga aculeata</i> Aldrich, <i>Kellymyia kellyi</i> Aldrich (= <i>Blaesoxipha kellyi</i> Aldrich), <i>Opsophyto opifera</i> (Coquillett) (= <i>Blaesoxipha opifera</i> Coquillett), <i>Protodexia hunteri</i> Hough (= <i>Blaesoxipha hunteri</i> ), <i>Protodexia reversa</i> Aldrich (= <i>Blaesoxipha reversa</i> Aldrich)
Tachinidae. 6 especies atacan saltamontes	<i>Acemyia tibialis</i> (16-65% de parasitismo en <i>Melanoplus bivittatus</i> y <i>M. sanguinipes</i> ) <i>Ceracia dentata</i> Coquillett y <i>Hemithrixion oestriforme</i> (1-5% de parasitismo en Estados Unidos y Canadá) <i>Anisia serotina</i> (Reinhard) (82% de parasitismo en <i>Romalea guttata</i> Houttuyn, SW Florida) (Otto <i>et al.</i> 1998).
Nemestrinidae. 6 especies en Norte América	<i>Neorhynchocephalus sackenii</i> Hill. <i>Trichopsidea clausa</i> (30-95 % de parasitismo en <i>Ageneotettix deorum</i> Scudder, <i>Cannulla pellucida</i> Scudder, <i>Metator pardalinus</i> Saussure)
Formicidae. Depredadores generalistas localizados. Excelentes depredadores de las ninfas de primer estadio.	<i>Formica rufa obscuripes</i> Forel, <i>F. obtusopilosa</i> Emery, <i>Myrmica sabuletti americana</i> Weber y <i>Solenopsis molesta validiuscula</i> Emery
Sphecidae. Avispas solitarias, 29 especies reportadas atacando saltamontes.	<i>Pryonyx parkeri</i> Bohart y Menke y <i>Tachysphex</i> spp. redujeron en 84% una población de <i>Oedaleonotus enigma</i> Scudder en Idaho
Aracnida: Araneidae (Depredadores de saltamontes menos estudiados). Nueve especies reportadas como depredadoras de saltamontes	<i>Schizocosa minnesotensis</i> Gertsch y <i>Pellenes</i> sp., no forman telarañas; son importantes depredadores de saltamontes. La viuda negra <i>Latrodectus mactans</i> (F.) es depredador importante de saltamontes en Wyoming y Idaho (Lavigne y Pfadt 1966)

Trombidiidae. La más importante de tres familias de ácaros que parasitan saltamontes.	<i>Eutrombidium locustarum</i> (= <i>trigonum</i> ) Walsh. <i>Gonothrombium</i> spp. Parasitan ootecas alimentándose de los huevos en forma individual. No tienen impacto en las poblaciones de saltamontes.
Nematodos: Mermithidae	<i>Agamermis decaudata</i> Cobb, Stiener, & Christie, <i>Agamospirura melanopli</i> Christie, <i>Mermis subnigrescens</i> Cobb <i>A. hexamermis</i> sp. Se ha encontrado en <i>Chortophaga viridifasciata</i> . Cuando las condiciones climáticas son adecuadas la infestación puede exceder 60% en áreas localizadas.
Aves. Más de 200 especies de aves se alimentan de saltamontes.	<i>Falco sparverius</i> , cernicalo americano <i>Colaptes auratus</i> , carpintero migratorio <i>Troglodytes aedon</i> , saltapared norteño <i>Sialia</i> spp., azulejo o pájaro azul <i>Tachycineta bicolor</i> , golondrina bicolor  Las aves de mayor tamaño pueden consumir hasta 100 saltamontes por día y pueden reducir las poblaciones de 30-50%. Las poblaciones de aves son un factor de control biológico importante para suprimir las poblaciones naturales de saltamontes.

---

**Protozoarios.** *Nosema locustae* Canning, especie seleccionada en 1960 para desarrollarse como agente de control microbial para la supresión a largo plazo de poblaciones de saltamontes (Henry 1978, Onsager 1988). Primer agente de control microbial registrado en E.U.A. para el control biológico de saltamontes en pastizales. Este microsporidio se formula como cebo envenenado y se ha introducido exitosamente en campo en varias ocasiones en poblaciones de saltamontes. Patógeno potencialmente útil para el manejo de saltamontes, sin embargo, hay cuestionamientos sobre su efectividad en campo (Onsager 1988). Este patógeno requiere mayor tiempo que los productos químicos para matar los saltamontes, los cuales tienen tiempo para dispersarse y no permiten ver diferencias notables entre áreas tratadas y no tratadas. La dosis estándar de

*Nosema* es de  $1 \times 10^9$  esporas/ha, dosis mas altas ( $1 \times 10^{11}$  esporas/ha) han producido mortalidad significativa de *Melanoplus sanguinipes* siete semanas después de la aplicación. La transmisión transovárica de *N. locustae* se ha demostrado en *Locusta migratoria migratorioides*, la infección varió de 72 a 92% entre la progenie hasta la generación F7 (Raina *et al.* 1995). Se recomienda para suprimir poblaciones de patógenos en áreas ambientalmente sensibles (Cunningham & Sampson 2000).

**Bacterias.** En 1911 d'Herelle utilizó *Coccobacillus acridorum* para el control de la langosta centroamericana en México, tal vez uno de los primeros intentos para usar bacterias como agentes de control biológico. *C. acridorum* d'Herelle fue aislada de langostas enfermas que emigraron de Guatemala a México; aparentemente la bacteria causó epidemias de langosta en México, Colombia, Argentina, Marruecos y Tunesia. Posteriormente la bacteria se determinó como *Aerobacter aerogenes* (Kruse), del grupo de las coliformes capaz de atacar animales de sangre caliente.

*Serratia marcescens* Bozio, se aisló de la langosta del desierto *Schistocerca gregaria* (Forskäl) en laboratorio. *S. marcescens* se formuló como cebo envenenado y se probó en ensayos de campo contra la langosta del desierto en Kenya. Los resultados fueron inciertos (Cunningham y Sampson 2000). *Bacillus thuringiensis* Berliner (Bt) es la bacteria más prometedora que se usa actualmente en el control biológico de insectos; esta bacteria produce una toxina cristalina en forma de diamante, ingrediente activo que mata las larvas de insectos; la toxina se activa al disolverse en el intestino de los insectos mediante los jugos alcalinos. El intestino es incapaz de procesar el alimento, la larva deja de alimentarse y el intestino se desbarata causando la muerte del insecto. Los saltamontes no son susceptibles a esta bacteria ya que su intestino tiene pH ácido lo cual evita que la toxina se disuelva y se active (Prior y Greathead 1989). De acuerdo con Streett y Woods (citado por Cunningham y Sampson 2000) veintiocho aislamientos de *Bt* obtenidos de saltamontes no fueron activos contra *M. sanguinipes*.

**Hongos.** Más de 750 especies de hongos se han documentado infectando insectos (National Academy of Sciences 1979). Los hongos son tal vez los patógenos más conocidos y frecuentemente reportados atacando langostas y saltamontes; entre los más comunes se incluye a: *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin, *Metarhizium anisopliae* (Metchnikoff) Sorokin y *Entomophaga grylli* (Fresenius) Batko.

*Beauveria bassiana* se ha desarrollado exitosamente como agente de control biológico de diversos insectos en la ex Unión Soviética y en China (Goettel 1992). El interés de este patógeno como agente de control biológico de saltamontes en pastizales se ha renovado debido al descubrimiento de un aislado

de *B. bassiana* patogénica a varias especies de saltamontes. Estudios de laboratorio y campo han conducido a la primera aplicación aérea de este patógeno contra saltamontes en pastizales en E.U.A.. La tecnología para la producción masiva fue desarrollada por Mycotech Corporation (Butte, MT), y la Agencia de Protección Ambiental (EPA) registró un producto comercial en 1995 para su uso contra saltamontes en pastizales. Se espera que *B. bassiana* sea competitivo con insecticidas químicos y de gran utilidad en programas de manejo Integrado de Saltamontes.

*Entomophaga grylli*, considerado previamente como un complejo de hongos compuesto de varios patotipos, se sabe ahora que consiste de al menos cuatro especies: *E. calopteni* (Bessey) Humber, *E. macleodii*, *E. praxibuli* y *E. asiatica*. *E. calopteni* es la única especie formalmente descrita (Humber 1989). *E. asiatica* se aisló de un saltamonte en Japón y se colocó en la colección de hongos patógenos de insectos (U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service Laboratory de Ithaca, NY). Todas las especies de *Entomophaga* aisladas de saltamontes y langostas son infectivas solamente a los miembros de estos grupos. Este hongo es de distribución mundial; lamentablemente *Entomophaga* spp., a diferencia de *B. bassiana* y *M. anisopliae*, no puede producirse en grandes cantidades o en hospederos artificiales, por lo que no puede usarse como insecticida microbial a gran escala por el momento. *Entomophaga macleodii* (patotipo I), infecta varios géneros de saltamontes en Norte América; produce conidias infecciosas y esporas latentes y el hospedero principal es el saltamonte de alas claras *Camnula pellucida* Scudder (Oedipodinae). *E. calopteni* (patotipo II), otra especie que ocurre en Norte América, infecta especies del género *Melanoplus*. *E. praxibuli* se aisló en Australia en 1985 de un saltamonte del género *Praxibulus* sp. e infecta al menos 14 especies de saltamontes de las subfamilias Melanoplinae, Oedipodinae y Gomphocerinae

*Metarhizium anisopliae*, el primer insecticida biológico exitoso para el control de langostas y saltamontes fue desarrollado a través del proyecto LUBILOSA (Lomer *et al.* 2001). A la fecha diferentes aislamientos de *Metarhizium anisopliae acridum* Driver y Milner (= *Metarhizium flavoviride* Gams y Rozsypal) han sido desarrollados como insecticidas biológicos para el control de langostas y acridoideos plaga. En África del Sur y África Occidental se comercializa el aislamiento IMI 330189 de *M. anisopliae acridum* para el control de la langosta del desierto (*Schistocerca gregaria* Forskål) y otros saltamontes plaga (Lomer *et al.* 2001, Lomer y Langewald 2001); en Australia se usa con mucho éxito el aislamiento FI-985, que se comercializa con el nombre de Green Guard™ para el control de la langosta Australiana (*Chortoicetes terminifera* Walker (Milner 2002a,b, Milner *et al.* 2003, Milner y Hunter 2001, Hunter *et al.* 2001). En México y Brasil, donde también se tienen problemas con langosta y saltamontes, se han buscado los aislamientos nativos de *M. anisopliae acridum*, y

se han seleccionado los más virulentos y patogénicos contra langosta y acridoideos plaga. En México, los aislamientos MaPI32 y MaPI40 han proporcionado buenos resultados. En Brasil se ha probado con resultados satisfactorios el aislamiento CG423 (Barrientos 2004, Barrientos *et. al.* 2002, Hernández 2002, Hernández *et. al.* 2003, 2000, Magalhães y Boucias 2004, Magalhães *et. al.* 2001).

El desarrollo de un patógeno como bioinsecticida implica numerosas pruebas de laboratorio y campo, entre ellas confirmar su presencia natural en el medio ambiente, su virulencia, forma de producción masiva más eficiente, formulación más adecuada, estabilidad en almacén, toxicidad a mamíferos e invertebrados no blanco, estabilidad genética, tolerancia a rayos UV y otros factores ambientales como calor, frío humedad relativa, eficacia en campo, impacto ambiental y reciclaje, entre otros. El Centro Nacional de Referencia de Control Biológico (CNRCB) de la Dirección General de Sanidad Vegetal en Tecomán, Colima, cuenta con más de 40 aislamientos de *M. anisopliae*, de los cuales los aislamientos MaPI32 y MaPI40 han dado los mejores resultados en campo y laboratorio para el control de la langosta centroamericana *Schistocerca piceifrons piceifrons* Walker (Barrientos *et al.* 2002, 2005, 2006; Hernández 2002, Hernández *et al.* 2003).

#### **ENSAYOS DE CAMPO CON *M. anisopliae acridum* vs. LANGOSTA CENTROAMERICANA EN MÉXICO**

El primer ensayo de campo con *Metarhizium anisopliae acridum* para el control de la langosta en México, se realizó en Tizimín, Yucatán en Septiembre de 2000. Se probaron los aislamientos MaPI40 (5 ha) y MaPI32 (12 ha), cuyas esporas fueron producidas en el CNRCB, sobre bandos de 3° a 5° estadio. La dosis utilizada fue de 50 g de esporas ( $3 \times 10^{12}$ )/ha/litro de citrolina); la mezcla se realizó justo antes de la aplicación con aspersora de mochila UBV (Barrientos *et. al.* 2002, Hernández *et. al.* 2003). La mortalidad se estimó siguiendo los bandos en campo. En cada sitio experimental se marcaron 10-12 bandos y se midió el largo y ancho de cada bando para estimar su tamaño. En cada visita posterior a la aplicación se estimó el tamaño del bando y la distancia que se habían desplazado.

Otro ensayo se realizó del 22 de Octubre al 12 de Noviembre de 2002 en Estación Cuauhtémoc Tam., sobre cultivo de soya, en lotes experimentales de 4 ha., se utilizó el aislamiento MaPI32 y se probaron tres dosis: 25, 50 y 75 g de esporas ( $4 \times 10^{10}$  esporas/g)/ha sobre ninfas de 3° a 5° instar. La densidad de población media fue de 12-15 ninfas/m<sup>2</sup>. La aplicación fue en forma terrestre.



Dos experimentos adicionales se realizaron en Estación Cuauhtémoc Tam., en Octubre-Noviembre de 2003 sobre cultivo de soya, en lotes experimentales de 4 ha. La primera aplicación, fue en forma aérea-terrestre (Octubre 1-22); la segunda aplicación fue en forma terrestre del 22 de Octubre al 8 de Noviembre. En ambos experimentos se probaron los aislamientos MaPl32 y FI985, dosis de 25 g esporas ( $4 \times 10^{10}$  esporas/g/ha) sobre ninfas de 4° a 6° estadio.

Del 5 al 20 de Noviembre de 2003 se realizó un último experimento en el NCP Aurelio Manríquez, Ejido Alfredo B. Bonfil (N 22° 17.932', W 98° 37.666', altitud 80 m.s.n.m.), Municipio de Ébano, SLP. Dos lotes de 25 y 15 ha., respectivamente tratados con el aislamiento MaPl32, cuyas esporas fueron producidas en el CNRCB; un lote de 25 ha fue tratado con el aislamiento FI-985, esporas producidas en Bio-Care Technology de Australia. Para ambos aislamientos se utilizó una dosis de 25 g de esporas por ha, formuladas en aceite de soya crudo. Los cultivos en el sitio 1 (25 ha) estaban distribuidos en franjas de maíz maduro, de aproximadamente 2 m de altura, soca de sorgo y sorgo maduro de 0.80 a 1.0 m de altura, aproximadamente. El sitio 2 (15 ha) fue similar al primero, con una franja de maíz maduro y otra de sorgo prácticamente maduro. En el sitio 3 (25 ha.), tratado con el aislamiento FI-985, los cultivos fueron sorgo maduro de aproximadamente 1.0 m de altura, soca de sorgo y maleza de 1.0 m de altura aproximadamente. Un lote adyacente de sorgo maduro y maleza fue dejado sin tratar (sitio 4). Las infestaciones eran ninfas de 5°-6° instar y volador joven. Las esporas de ambos aislamientos de *M. anisopliae* var. *acridum* se formularon en aceite de soya crudo, en proporción de 2 L aceite + 25g esporas/ha, previo a la aplicación aérea de las mismas. La concentración de ambos aislamientos (MaPl32 y FI985) fue de  $4 \times 10^{10}$  esporas por gramo. La densidad de población de la plaga se estimó en seis transectos por sitio experimental, con intervalos de 100 m entre ellos. El número de ninfas y adultos por m<sup>2</sup> se estimó en cada transecto a intervalos de 15 pasos.

Los resultados del experimento realizado en Tizimin, Yucatán (Septiembre de 2000), se muestran en la Fig. 1, el efecto del bioinsecticida se empezó a observar al 6° día después de la aplicación (dda), al notar un desplazamiento menor de los bandos ( $10 \pm 1$  m/día vs.  $14 \pm 2$  m/día los cuatro primeros dda) y una disminución en la densidad de población. Los bandos tratados con el aislamiento MaPl40 que permanecieron en el área tratada declinaron 86% en tamaño a los 13 dda; mientras los tratados con el aislamiento MaPl32 que permanecieron en el área tratada declinaron  $\geq 95\%$  a los 11 dda. Algunos bandos que abandonaron el área tratada dos a tres días después de la aplicación, tuvieron menor oportunidad de ingerir las esporas del hongo al no alimentarse de la vegetación tratada; en ambos casos los bandos declinaron  $\geq 80\%$  para el 13 dda.

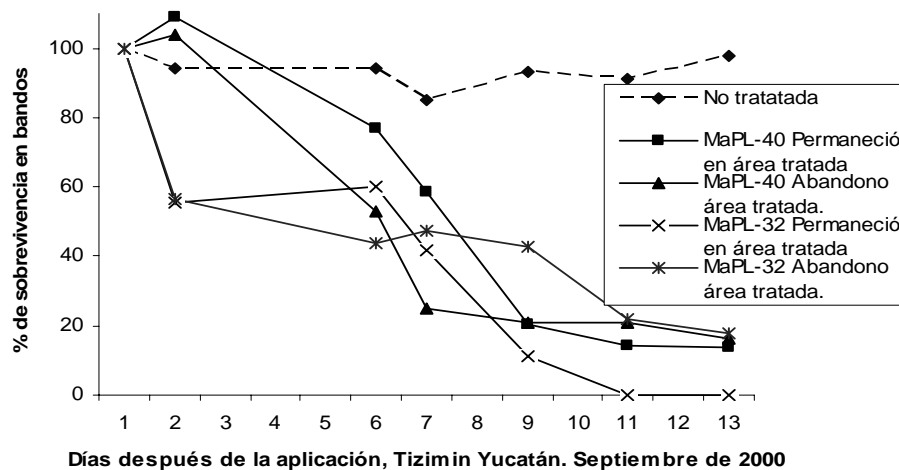


Figura 1. Porcentaje de supervivencia de bandos de *S. piciefrons* tratados y no tratados con *M. anisopliae* var *acridum* MaP1-40 y MaP1-32.

**Experimento realizado del 22 de Octubre al 12 de Noviembre de 2002.** Las esporas del aislamiento MaP132 que habían sido formuladas en Australia por Bio-Care Technology en Octubre de 2001 y mantenidas a temperatura de 5-6°C, previo a la aplicación mostraron una viabilidad de 90% en pruebas de laboratorio. El porcentaje de mortalidad para cada una de las tres dosis probadas fue  $\leq 90\%$ , por lo que en los ensayos realizados en el 2003, se utilizaron solamente 25 g de esporas de *M. anisopliae* var. *acridum*/ha. En este experimento los síntomas empezaron a observarse a partir del cuarto día después de la aplicación, al notar las ninfas más lentas, con menor desplazamiento y consumo de alimento. La mortalidad pico ocurrió el día 12 después de la aplicación, cuando se observó esporulación de ninfas en campo, principalmente a través de tarsos y palpos. Estos resultados coinciden con los reportados por Barrientos-Lozano *et. al.* (2002) y Hernández Velázquez *et. al.* (2003). Sin embargo, en estos ensayos el efecto del producto se prolongó hasta 22 días dda, probablemente como consecuencia de la alta humedad relativa, fecha en la que aún se contaron 10-12 ninfas muertas/m<sup>2</sup>, algunas esporuladas. Desafortunadamente las lluvias frecuentes durante este periodo impidieron hacer las evaluaciones de manera consistente; no obstante la alta humedad relativa favoreció la efectividad y longevidad del producto.

**Experimentos realizados en Estación Cuauhtémoc Tam. en Octubre- Noviembre de 2003.** En Octubre 1-22 se realizó aplicación aérea convencional y en Octubre 22 a Noviembre 8 aplicación terrestre convencional. Los resultados

obtenidos en estos experimentos fueron inconsistentes, aunque el más efectivo fue el aislamiento australiano FI985 con  $\geq 90\%$  de mortalidad entre el 14° y 17° dda; la mortalidad del aislamiento MaPI32 fue  $\leq 50\%$ . Las esporas del aislamiento MaPI32 habían sido producidas en Octubre de 2001 por Bio-Care Technology, Australia, para octubre de 2003 mostraron 74% de viabilidad, lo cual podría explicar el bajo porcentaje de efectividad.

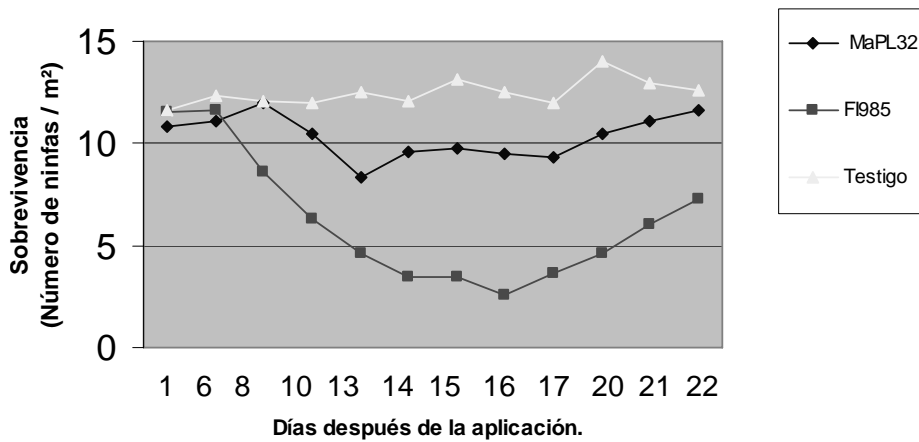


Figura 2. Supervivencia de ninfas de *S. p. piceifrons* tratadas con *M. a. var acridum*. Estación Cuauhtémoc, Tamaulipas. Aplicación aérea, Octubre 1 a 22 de 2003.

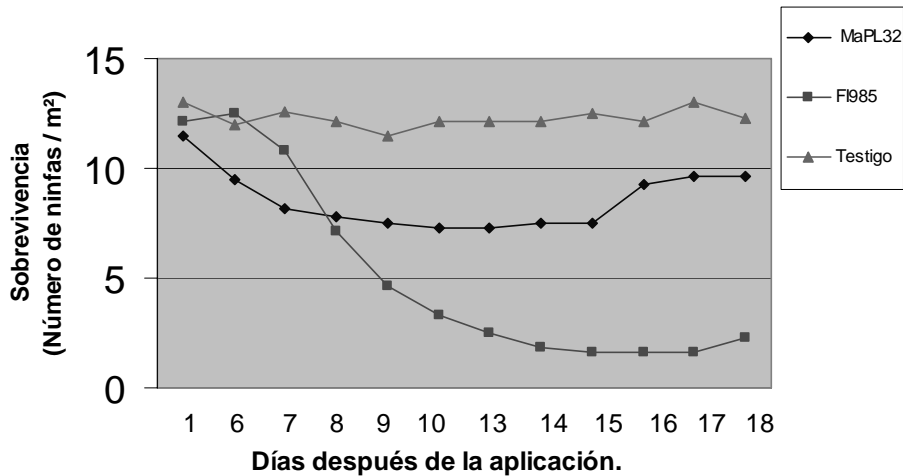
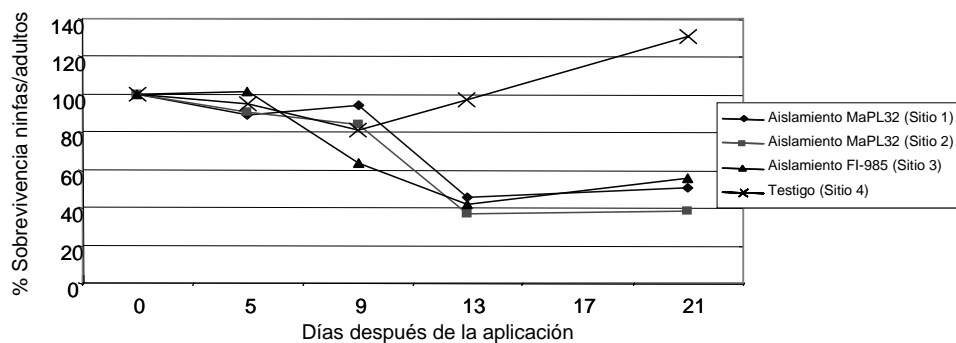


Figura 3. Supervivencia de ninfas de *S. p. piceifrons* tratadas con *M. a. var acridum*. Estación Cuauhtémoc, Tamaulipas. Aplicación terrestre, Octubre 22 a Noviembre 8, 2003.

**Experimentos realizados del 5 al 20 de Noviembre de 2003, Ébano, SLP.** La mayoría de las ninfas y adultos se encontraban sobre el suelo o reposando en el tallo de las plantas de maíz y sorgo, comportamiento asociado con su estado de desarrollo. Sobre la soca del sorgo la densidad media de langostas fue de 3-5 ninfas/adultos/m<sup>2</sup>, mientras que en sorgo y maíz maduro la densidad media fue de 10-12 ninfas/m<sup>2</sup>, con sub-bandos de 30-50/m<sup>2</sup> en algunas áreas. Los sub-bandos que se desplazaban entre la densa vegetación posiblemente no fueron expuestos lo suficiente al producto. Aproximadamente cinco días después de la aplicación, el 50% de las ninfas habían pasado al estado adulto, los adultos jóvenes se observaban reposando en el tallo de plantas de maíz o sorgo en densidades altas, similar a la de una manga. Nueve días después de la aplicación se observó disminución en la densidad de población, al contar de 3-5 insectos muertos/m<sup>2</sup> en los sitios 1 y 3 y hasta 10-12/m<sup>2</sup> en el sitio 2, donde inicialmente se encontraban sub-bandos de 30-50 ninfas/adultos/m<sup>2</sup>; para el día 13 después de la aplicación se contaron hasta 20-25 insectos muertos/m<sup>2</sup> en el sitio 2, una disminución promedio de 60-70% en los tres sitios tratados (Fig. 4); después del día 20 no hubo incremento en la mortalidad, en referencia a la observada para el día 13. La mortalidad pico ocurrió entre nueve y 13 días después de la aplicación, con una temperatura promedio de 30°C, periodo similar en que ocurre la mortalidad pico en Australia durante el verano, con días más largos y temperatura media de 30-35°C (Hunter *et al.* 2001).



**Figura 4. Porcentaje de sobrevivencia de *Schistocerca piceifrons piceifrons* W. después de aplicaciones con *Metarhizium anisopliae* var. *acridum* (MaPL32, México) y (FI-985, Australia). N = 36-137 muestras por sitio.**

Para los ensayos realizados en el 2000 y 2002 las tres dosis proporcionaron un alto porcentaje de mortalidad ( $\leq 90\%$ ), lo cual puede atribuirse a que la aplicación se hizo sobre pastizal y cultivo de soya, respectivamente, ambos de poca altura y densidad, lo que ocasionó una buena distribución y

cobertura del producto, el cual fácilmente pudo caer sobre las ninfas y ocasionar su infección. Por el contrario, en el segundo experimento de 2003 (Noviembre 5-20) la aplicación se realizó sobre sorgo y maíz, ambos cultivos con una altitud de >0.80 m, lo cual pudo haber dificultado la penetración del producto y su distribución no fue homogénea, por lo que la efectividad fue menor ( $\leq 70\%$ ). Scanlan *et al.* (2001) indican que cuando la vegetación es alta y densa, gran parte del producto cae en la parte alta de las plantas y poco de éste alcanza las ninfas o adultos blanco que se encuentran en el suelo o reposan sobre tallo y debajo de las hojas, en cuyo caso se requiere aplicar dosis más altas. Dosis de 50-75 g de esporas/ha en vegetación alta y densa han dado excelentes resultados en Australia y México (Hunter *et al.* 1999, Barrientos *et al.* 2002, Hernández *et al.* 2003).

### CONSIDERACIONES FINALES

La investigación de laboratorio y campo que se ha realizado en México para el control biológico de la langosta voladora con *M. a. acridum* ha sido fructífera, sin embargo, no ha conducido al uso operacional del patógeno; al menos 25-30% de la superficie afectada anualmente por la plaga de langosta debiera manejarse con este u otro producto biológico, para tener en la práctica un manejo integrado de la misma. Algunos de los factores que consideramos limitan el uso operacional de *Metarhizium anisopliae acridum* en México son los siguientes:

Los aislamientos MaPI32 y Ma PL40 han demostrado buena efectividad para el control de la langosta voladora (*S.p.piceifrons*). Sin embargo, el aislamiento MaPI32 ha proporcionado consistentemente mejores resultados en campo (Barrientos *et al.* 2002, Hernández *et al.* 2003, Barrientos *et al.* 2005, 2006), además de tener actividad en un rango más amplio de temperatura (15-35°C) (Milner *et al.* 2003).

Dosis de 25-50g de esporas/ha de *M. anisopliae acridum* MaPI32 proporcionan resultados excelentes contra la langosta voladora. Sin embargo, se requieren ensayos de campo adicionales, con ambos aislamientos bajo diferentes condiciones (temperatura, precipitación, vegetación, tipos de cultivo, etc.), para poder dar una recomendación de acuerdo al cultivo, condiciones ambientales y características de la infestación.

La baja producción de esporas de *M. anisopliae acridum*/kg de arroz (10-12 g), hace que el costo del producto sea caro y no compita con los productos químicos. Este problema ya fue abordado y la producción logró incrementarse hasta 60 g esporas/kg de substrato (Barrientos *et al.* 2007). El aumento en la producción de esporas/kg de substrato permitirá poner al alcance de productores y

personal de campo, el producto biológico y la tecnología de manejo, lo cual podría conducir a largo plazo, al uso operacional de *M. anisopliae acridum* en México.

Resueltos los problemas técnicos de producción, calidad en la producción, formulación y almacenaje, podrá darse la atención adecuada a la tecnología de aplicación y evaluación en campo. Por último, el efecto del producto sobre otros organismos (aves, peces, invertebrados) y el medio ambiente, deberá ser también debidamente documentado.

### LITERATURA CITADA

- Barrientos-Lozano L. 2004. Uso actual, futuro y comercialización de hongos entomopatógenos en el control de plagas. *TecnoIntelecto* 1: 1-10.
- Barrientos-Lozano L., V.M. Hernández-Velásquez, R.J. Milner and D.M. Hunter. 2002. Advances in Biological control of locusts and grasshoppers in México. *Journal of Orthoptera Research* 11: 77-82.
- Barrientos-Lozano L., D. M. Hunter, J. Ávila-Valdéz, P. García-Salazar y J. V. Horta Vega. 2006. Control biológico de la langosta centroamericana (*Schistocerca piceifrons piceifrons*, Walker) (Orthoptera: Acrididae) en México. *Vedalia*, en imprenta.
- Barrientos-Lozano L., D. M. Hunter, J. Ávila-Valdéz y P. García-Salazar. 2005. Experiencias en el Control Microbiano de langosta voladora (*Schistocerca piceifrons piceifrons* Walker) en México”, 84-91. In Alatorre-Rosas R., F. Tamayo-Mejía y F. Hernández-Rosas (eds), Memoria Taller Manejo y Aplicación de Microorganismos Entomopatógenos”. XXVIII Congreso Nacional de Control Biológico. San Miguel de Allende, Guanajuato. Noviembre 14-16 de 2005.
- Barrientos-Lozano L., M. G. Cepeda-Puente, E. Salazar-Solis y J. V. Horta-Vega. 2007. Óptima producción de *Metarhizium anisopliae* var. *acridum* para el control de la langosta centroamericana (*Schistocerca piceifrons piceifrons*, Walker) en México. *Agrociencia*, en imprenta.
- Baker G. L., R.J. Dysart and R.G. Pigott. 1996. Parasitism of grasshoppers and locusts eggs (Orthoptera: Acrididae) by Scelio species (Hymenoptera: Scelionidae) in Southern Australia. *Aust. J. Zool.* 44: 427-43.
- Cunningham G.L. and M. W. Sampson. 2000. Grasshopper Integrated Pest Management, User handbook. United States Department of Agriculture-Agriculture and Plant Health Inspection Service. Technical Bulletin No. 1809. Washington, D.C.
- d’Herelle, F. 1911. Sur une épizootie de nature bactérienne sévissant sur les sauterelles au Mexique. *Compt. rend. acad. sci. Paris*: 152: 1413-1415.
- Greathead, D. J. 1992. Natural enemies of tropical locusts and grasshoppers: their impact and potential as biological control agents. In: Lomer, C. J.; Prior, C., eds. *Biological control of locusts and grasshoppers*. Wallingford, UK: C.A.B. International: 105-121.
- Goettel, M. S. 1992. Fungal agents for biocontrol. In: Lomer, C. J. & Prior, C. (Eds.). *Biological Control of Locusts and Grasshoppers*. Wallingford, UK: C.A.B. International: 122-132.

- Henry, J. E. 1978. Microbial control of grasshoppers with *Nosema locustae* Canning. In Selected Topics of the genus *Nosema*. Miscellaneous Publications of the Entomological Society of America 11: 85–95.
- Henry, J. E. 1981. Natural and applied control of insects by protozoa. Annual Review of Entomology 26: 49–73.
- Hernández-Velázquez, V. M. 2002. Desarrollo de un insecticida biológico en México: producción, formulación y aplicación., 159-168 En Ecología, Manejo y Control de la Langosta Voladora (*Schistocerca piceifrons piceifrons*, Walker). In: L. Barrientos-Lozano (Ed.) Memoria Curso I Internacional. Noviembre 5-7 de 2001, Altamira, Tamaulipas, México.
- Hernández-Velázquez, V. M., D. M. Hunter, L. Barrientos-Lozano y R. Lezama-Gutiérrez. 2003. Susceptibility of *Schistocerca piceifrons* (Orthoptera: Acrididae) to *Metarhizium anisopliae* var. *acidum* (Deuteromycotina: Hyphomycetes): Laboratory and field trials.
- Hernández-Velázquez, V. M, A. M. Berlanga-Padilla and L. Barrientos-Lozano. 2000. Vegetable and mineral oil formulations of *Metarhizium anisopliae* var. *acidum* to control the Central American locust (*Schistocerca piceifrons piceifrons*, Walker) (Orthoptera:Acrididae). Journal of Orthoptera Research 9: 223-227.
- Hunter D. M., R. J. Milner, and P. A. Spurgin.2001. Aerial treatment of the Australian plague locust *Chortoicetes terminifera* Walker (Orthoptera: Acrididae) with *M. anisopliae* (Deuteromycotina: Hyphomycetes). Bulletin of Entomological Research 91: 93-99.
- Hunter D. M., R. J. Milner., J. C. Scanlan, and P. A. Spurgin.1999. Aerial Treatment of the Migratory locust, *Locusta migratoria* (L.) (Orthoptera: Acrididae) with *Metarhizium anisopliae* (Deuteromycotina: Hyphomycetes) in Australia. Crop Protection 18: 699-704.
- Lomer C. J., R. P. Bateman, D. L. Johnson, J. Langewald, and M. Thomas. 2001. Biological Control of Locusts and Grasshoppers. Annual Review of Entomology 46: 667-702.
- Lomer C. J. and J. Langewald. 2001. What is the place of biological control in acridid integrated pest management?. Journal of Orthoptera Research 10: 335-341.
- Magalhães B. P. and D. G. Boucias. 2004. The effects of drying on the survival *Metarhizium anisopliae* var. *acidum* Driver & Milner Conidiospores. Journal of Orthoptera Research 13: 155-159.
- Magalhães B. P, M. R. de Faria., M. Lecoq., F. G. V. Schmidt., J. B. T. Silva, H. S. Frazão, G. Balança, and A. Foucart. 2001. The use of *Metarhizium anisopliae* var. *acidum* against the grasshopper *Rhammatocerus schistocercoides* in Brazil. Journal of Orthoptera Research 10: 199-202.
- Milner R. J., L. Barrientos-Lozano, F. Driver and D. M. Hunter. 2003. A comparative study of two Mexican isolates with an Australian isolate of *Metarhizium anisopliae* var. *acidum*-strain characterization, temperature profile and virulence for wingless grasshopper, *Phaulacridum vittatum*. BioControl 48: 335-348.
- Milner R. J. y D. M. Hunter. 2001. Recent developments in the use of fungi as biopesticides against locust and grasshoppers in Australia. Journal de Orthoptera Research 10: 271-276.
- Milner R. J. 2002a. The history of green guard-a fungal biopesticide for Australian locusts and grasshoppers, 142-153. En Ecología, Manejo y Control de la Langosta Voladora (*Schistocerca piceifrons piceifrons*, Walker). En L. Barrientos-Lozano (Ed.). Memoria Curso I Internacional. Noviembre 5-7 de 2001, Altamira, Tamaulipas, México. 232pp.
- Milner R. J. 2002b. Green Guard®. Pesticide Outlook, 20-24.
- National Academy of Sciences. 1979. Microbial processes: promising technologies for developing countries. Washington, DC: National Academy of Sciences.

- Onsager, J. A. 1988. Assessing the effectiveness of *Nosema locustae* for grasshopper control: traditional insecticide-based sampling criteria cannot accurately evaluate efficacy of *Nosema*. *Montana AgResearch* 5: 12–16.
- Otto D., M. Lamb, and D. Whitman. 1998. Massive Tachinid Parasitization in *Romalea guttata* grasshoppers. *Metaleptea*, The Orthopterists Society Newsletter, 18 (1) p5.
- Prior, C. and D. J. Greathead. 1989. Biological control of locusts: the potential for the exploitation of pathogens. *Plant Protec. Bull.* 37. Rome: United Nations Food and Agriculture Organization: 37–48.
- Prior C. y D. A. Street. 1997. Strategies for the use of entomophatogens in the control of the desert locust and other acridoid pests. *Memoirs of the Entomological Society of Canada* 171:5-25.
- Raina, S. K., S. Dos, M. M. Raí, A. M. Khurad. 1995. Transovarial transmission of *Nosema locustae* (Microsporida: Nosematidae) in the migratory locust *Locusta migratoria migratorioides*. *Parasitology Research* 81: 38–44.
- Scanlan, J. C., W. E. Grant, D. M. Hunter, and R. J. Milner. 2001. Habitat and environmental factors influencing the control of migratory locusts (*Locusta migratoria*) with an Entomopathogenic fungus (*Metarhizium anisopliae*). *Ecological Modelling*: 136: 223-236.



**Control Biológico de la Cochinilla Rosada del Hibiscus  
*Maconellicoccus hirsutus* (Hemiptera: Pseudococcidae)**

**L. A. Valencia-Luna<sup>1</sup>, T. Santiago-Islas<sup>1</sup>, A. Zamora<sup>1</sup> y H. C. Arredondo-Bernal<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Programa de Control Biológico de Cochinilla Rosada, Dirección General de Sanidad Vegetal,  
Bahía de Banderas, Nay., México

<sup>2</sup>Centro Nacional de Referencia de Control Biológico, Km 1.5 Carretera Tecomán-Estación FFCC,  
Apartado Postal 133, Tecomán, Col., México 28120. hcesar@prodigy.net.mx

---

---

**CONTENIDO**

<i>Introducción</i> .....	251
<i>Plantas Hospederas</i> .....	251
<i>Origen y Distribución</i> .....	252
<i>Biología</i> .....	253
<i>Enemigos Naturales</i> .....	253
<i>Control Biológico</i> .....	254
<i>Biología de Enemigos Naturales</i> .....	262
<i>Literatura Citada</i> .....	264

Valencia-Luna, L., T. Santiago-Islas, A. Zamora y H. C. Arredondo-Bernal. 2007. Control biológico de la cochinilla rosada del hibiscus *Maconellicoccus hirsutus* (Hemiptera: Pseudococcidae), pp. 250-266. En: L. A. Rodríguez-del-Bosque y H. C. Arredondo-Bernal (eds.), Teoría y Aplicación del Control Biológico. Sociedad Mexicana de Control Biológico, México. 303 p.

## INTRODUCCIÓN

La cochinilla rosada del hibiscus (CRH) *Maconellicoccus hirsutus* (Green), es una plaga de importancia económica por el daño directo que causa a los cultivos vegetales y por su estatus cuarentenario (Francis-Ellis 1995). El daño por cochinilla rosada se origina debido a que ninfas y hembras adultas extraen la savia e inyectan saliva tóxica en las plantas, lo que ocasiona síntomas que van desde severas malformaciones en flores, frutos, hojas y tallos, hasta la muerte, incluso de árboles adultos (Cermeli *et al.* 2002, Meyerdirk *et al.* 2000).

Cuando el daño se produce en frutos recién formados, éstos se degeneran y tienen un desarrollo significativamente menor en comparación con frutos sanos; incluso cuando las infestaciones de CRH son altas, les impide alcanzar su madurez fisiológica. En frutos más desarrollados, la merma es ocasionada por la excreción de mielecilla por parte del insecto y crea un medio propicio para el crecimiento de fumagina, que además de obstaculizar la fotosíntesis, le confiere a los frutos características indeseables para su comercialización. En las hojas nuevas de las plantas atacadas, el crecimiento se detiene y genera una apariencia de arrosamiento; en hojas desarrolladas, la CRH provoca arrugamiento y finalmente se secan y caen, caso similar ocurre con la inflorescencia. En los tallos, la CRH produce deformaciones en las yemas terminales y axilares, mismas que provocan acortamiento entre los nudos (Cermeli *et al.* 2002). En altas densidades de la CRH, las partes vegetativas de plantas y árboles atacados, excepto raíces, frecuentemente se observan cubiertas por masas algodonosas blanquecinas que contienen en su interior cientos de huevecillos que darán inicio a nuevas generaciones (Meyerdirk *et al.* 2000).

La CRH puede dispersarse desde la parte sur de los E.U.A. hasta México, Centroamérica y Sudamérica. Se calculan daños por esta plaga de hasta 750 millones de dólares (Meyerdirk 2000). En México, la CRH está presente desde 1999 (Arredondo 2006).

## PLANTAS HOSPEDERAS

La CRH es una amenaza seria para la agricultura, así como para la industria forestal y de invernaderos, es altamente polífaga y está reportada en más de 200 géneros de plantas en 70 familias (Meyerdirk *et al.* 2003). Entre los hospederos reportados a nivel mundial se encuentran la chirimoya (Hall 1921), guanábana (Williams 1986), anóna (Mani 1989), espárrago (Chang y Miller 1996), nim (Williams 1986), frijol (Mani 1989), bugambilia, pimiento dulce, cítricos, café (Mani 1989), calabaza (Chang y Miller 1996), zanahoria, higuera (Hall 1921), laurel de la india (Mani 1989), soya (Williams 1985), hibiscus (Mani

1989), mora (Williams 1986), nopal (Ezzat 1958), guayaba (Mani 1989), papa (Hall 1921) y vid (Mani 1989). Es importante señalar que muchas de las especies botánicas reportadas como hospederas pueden no serlo o bien puede haber identificaciones erróneas del insecto (Meyerdirk *et al.* 2003)

En México, la CRH infesta teca, parotas, huanacaztles donde provoca defoliación prematura, retraso en el desarrollo y por ende pérdidas en la producción y calidad de la madera; ataca también guanábano, mango, yaca, carambolo, guayaba china, ciruela, cítricos en general. El chile, jitomate, pepino y frijol, pueden ser afectados por la cochinilla cuando las unidades de producción se encuentran cercanas a hospederas altamente infestados, en estos provoca malformaciones en el en desarrollo y da como resultado bajo rendimiento y merma en la calidad. Plantas ornamentales como el obelisco, carisa, majahuas, pata de venado y crótos también son infestados (SENASICA 2007). Otros hospederas altamente preferidos y catalogados como silvestres, son los arbustos espinosos del género *Acacia* como conchas o huinoles, jarretaderas y rabos de iguana; estas plantas hospedan entre el 80 y 90% de las poblaciones de cochinilla en la región de Bahía de Banderas, Nay., y Puerto Vallarta, Jal., principalmente por la abundancia de éstas y por la preferencia de este insecto hacia ellas.

## ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN

Con base en la distribución de las especies del género *Maconellicoccus*, la CRH parece ser originaria del Sur de Asia (Williams 1996). Fue descrita por primera vez en la India y Tasmania. En Egipto, se introdujo en 1908 presumiblemente de la India y en pocos años llegó a ser la plaga más dañina de muchas especies vegetales (Ben-Dov 1994). Al principio hubo confusión acerca de su taxonomía, ya que se nombró como *Pseudococcus hibisci* Hall y *Phenacoccus hirsutus* Green; sin embargo, fue redescrita como nuevo género por Ezzat en 1958 (Pollard y Cross 1996).

Actualmente, *M. hirsutus* tiene una distribución en las áreas tropicales del mundo, desde Australia, Asia sur-oriental, Oriente Medio hasta África central; en 1994, invadió a la isla de Granada en el Caribe y se ha dispersado a más de 16 islas caribeñas, a la Guyana en el Sur de América, a Belice en Centroamérica, y en 1999 se presentó en el sur de California, E.U.A. y Mexicali, B.C., México (Meyerdirk *et al.* 2003); en 2002 se detectó en Florida, E.U.A. (Hoy *et al.* 2005). Para febrero de 2004, se reportó oficialmente en Bahía de Banderas, Nayarit, México, sobre plantaciones forestales de teca y en arbustos del género *Acacia*; los niveles de infestación resultaron elevados, por lo que en ese mismo mes el gobierno federal implementó el Plan Emergente para el Control de la Cochinilla Rosada, con una inversión de 28 mdp para actividades de monitoreo, regulación

fitosanitaria, control químico, cultural, físico y biológico. La plaga también está presente en los estados de Oaxaca y Quintana Roo.

## BIOLOGÍA

Los estados de desarrollo por los que pasa *M. hirsutus* son huevecillo, ninfa y adulto. La hembra adulta es de cuerpo blando y ovalado, mide de 2-3 mm de longitud y además carece de alas. Ésta coloca de 84 hasta 654 huevecillos en el interior de un ovisaco de apariencia algodonosa, en un periodo de tres a nueve días. Posterior a la oviposición, la hembra se deseca y muere. Los huevecillos recién puestos son anaranjados, lisos, ovales y más delgados en uno de sus extremos. Todos los estadios ninfales están cubiertos con una capa cerosa blanquecina y tanto ninfas como adultos son rosados. El macho adulto tiene alas y dos filamentos caudales largos (Hall 1921). Además, carece de aparato bucal.

El tiempo de desarrollo para ambos sexos varía de acuerdo a la temperatura y el hospedero sobre el cual se desarrollan; en condiciones de laboratorio y sobre calabaza japonesa, la hembra tarda  $29.6 \pm 1.5$  días en desarrollarse desde caminante hasta adulto, mientras que el macho tarda  $16.2 \pm 1.2$  días de caminante hasta pupa. En brotes de papa, el macho tarda de caminante a pupa  $17.4 \pm 1.5$  días y la hembra, de caminante a adulta,  $30.1 \pm 1.0$  días (Serrano y Lapointe 2002). El macho tiene cuatro estadios ninfales y su desarrollo es de  $6.6 \pm 0.5$ ,  $6.5 \pm 0.5$ ,  $1.0$  y  $5.5 \pm 0.7$  días cada uno, mientras que las hembras tienen tres estadios de  $6.7 \pm 0.5$ ,  $6.5 \pm 0.5$  y  $7.9 \pm 0.8$  días. Al final del segundo estadio, los machos producen puparios (Mani 1989).

*Maconellicoccus hirsutus* puede dispersarse con la ayuda de corrientes de aire, mediante foresis y a través de material vegetativo; las hormigas también son un medio de dispersión. Las hembras y ninfas son móviles, y se dispersan de un hospedero a otro en las áreas de infestación (Meyerdirk *et al.* 2000). En áreas subtropicales, la CRH puede alcanzar hasta 10 generaciones por año; si las condiciones climatológicas son extremas y se presenta invierno, la CRH puede permanecer entre las grietas, corteza de los árboles o el suelo (Meyerdirk *et al.* 2003).

## ENEMIGOS NATURALES

En el Cuadro 1, se enlistan los enemigos naturales de CRH. Estos corresponden a 23 especies de parasitoides agrupados en cinco familias del Orden Hymenoptera, de los cuales 17 especies pertenecen a la familia Encyrtidae. En relación a los depredadores, 41 especies son ubicadas en nueve familias; la

familia Coccinellidae (Coleoptera) agrupa 20 especies, seguida por la familia Chrysopidae (Neuroptera) con seis especies. Los parasitoides atacan principalmente al segundo y tercer instar, así como a las hembras adultas, mientras que los depredadores consumen todos los estados de desarrollo. El depredador *C. montrouzieri* (Coleoptera: Coccinellidae) aparte de consumir todos los estados de desarrollo, tiene preferencia por los huevos de cochinilla y oviposita entre los ovisacos; es efectivo a altas densidades de población de CRH. Otros coccinélidos como *Scymnus coccivora* y *Nephus regularis* son de menor tamaño comparados con *C. montrouzieri* y tienen menos potencial para controlar CRH.

El mayor número de especies de enemigos naturales de CRH se reportan para la India y Egipto, lo cual corresponde con el sitio de origen de la plaga. Especies de parasitoides importantes en Egipto son *Leptomastix phenacocci* Compere, *Anagyrus aegyptiancus* Moursi y *A. kamali* Moursi (Kamal 1951); en la India son importantes *Anagyrus dactyloppi* Howard y *Anagyrus* sp. (Mani 1989, Ghose 1970), mientras que en Hawai están *Anagyrus kamali* y *Anagyrus* sp. Las especies *C. montrouzieri*, *A. kamali* (Hymenoptera: Encyrtidae) y *Gyranusoidea indica* (Hymenoptera: Encyrtidae) se han utilizado con éxito en programas de control biológico en Estado Unidos de América e Islas del Caribe (Meyerdirk *et al.* 2000) y México (Arredondo 2006, García-Valente *et al.* 2007).

En agosto de 1996, *Anagyrus kamali* (parasitoide exótico) se liberó en St. Kitts y en un periodo de dos años la densidad de población se redujo en un 94% en toda la isla. En 1997, la misma tecnología se transfirió a las Islas Vírgenes de los E.U.A., donde la densidad poblacional de la plaga se redujo en un 90% en St. Thomas y 94% en St. Croix (Meyerdirk *et al.* 2000). El promedio costo beneficio que se estimó para los casos anteriormente citados fue de 1: 1500. También fue liberado el parasitoide *Gyranusoidea indica* proveniente de Egipto, no obstante, predominó *A. kamali* (Meyerdirk *et al.* 2000).

## CONTROL BIOLÓGICO

Derivado de la invasión de CRH en Baja California, México en 1999, se ejecutaron medidas sanitarias de protección, donde se establecieron estrategias de aplicación de insecticidas, corte y quema de árboles infestados, así como control biológico clásico; en Septiembre de 1999, se liberaron 1,600 especímenes de *A. kamali* y 600 de *G. indica* en nueve sitios de la Cd. de Mexicali, B.C., sobre plantas de mora, obelisco, toronja y algarrobo. Dichos parasitoides fueron importados desde Puerto Rico y recuperados después de su liberación.

**Cuadro 1. Enemigos naturales de *Maconellicoccus hirsitus*.**

Especie	País	Referencia
Coleoptera		
Coccinellidae		
<i>Brumus suturalis</i>	India	Mani 1989
<i>Cryptolaemus affinis</i>	Nueva Guinea	Greve e Ismay 1983 (citado por Meyerdirk 2003)
<i>Cryptolaemus montrouzieri</i>	Francia	Mani 1989
<i>Hippodamia convergens</i>	EUA	Acosta 1996
<i>Hyperaspis maindronii</i>	India	Mani 1989
<i>Menochilus sexmaculata</i>	India	Mani 1989
<i>Nephus regularis</i>	India	RAPCM 1995
<i>Oxynychus erythrocephalus</i>	Egipto	Mani 1989
<i>Pullas ? salomonis</i>	India	Greve e Ismay 1983 (citado por Meyerdirk 2003)
<i>Rodalia cardinalis</i>	Egipto	Mani 1989
<i>Scymnus sp.</i>	Nueva Guinea	Greve e Ismay 1983 (citado por Meyerdirk 2003)
<i>Scymnus biverrucata</i>	Egipto	Mani 1989
<i>Scymnus coccivora</i>	India	Mani 1989
<i>Scymnus gratiousus</i>	India	Mani 1989
<i>Scymnus nubilus</i>	India	Mani 1989
<i>Scymnus sp. Nr. Nubilus</i>	India	Mani 1989
<i>Scymnus pallidicollis</i>	India	Mani 1989
<i>Scymnus pyrocheilus</i>	India	Mani 1989
<i>Scymnus seriacus</i>	Egipto	Mani 1989
<i>Sericoderus percikanus corylophidae</i>	Egipto	Mani 1989
Diptera		
Drosophilidae		
<i>Cadoxenus perpicaux</i> Knab	India	Mani 1989
Cecidomyiidae		
<i>Coccodiplosis smithi</i>	Nueva Guinea	Greve e Ismay 1983 (citado por Meyerdirk 2003)
<i>Diadiplosia sp.</i>	Egipto	Mani 1989
<i>Diadiplosia indica</i>	India	Mani 1989
<i>Triommata coccidivora</i>	India	Mani 1989
Hemiptera		
Coreidae		
<i>Geocoris tricolor</i>	India	Mani 1989
Lepidoptera		
Noctuidae		
<i>Autoba silicula</i>	India	Mani 1989
<i>Eublemma sp.</i>	Egipto	Mani 1989
<i>Eublemma geyri</i>	Egipto	Mani 1989
<i>Eublemma sp. nr. Trifaciata</i>	India	Mani 1989
Lycaenidae		
<i>Spalgis epius</i>	India	Pushpaveni <i>et al.</i> 1974
Hymenoptera		
Aphelinidae		
<i>Aphelinus sp.</i>	India	Mani 1989

**Cuadro 1. Continuación**

<i>Erioporus aphelinoides</i>	India	Mani 1989
Braconidae		
<i>Phanerotoma dentata</i>	Egipto	Mani 1989
Encyrtidae		
<i>Alamella flava</i>	India	Mani 1989
<i>Anagyrus</i> sp.	India	Mani 1989
<i>Anagyrus agragensis</i>	Región Oriental	Cross y Noyes 1995
<i>Anagyrus dactylopii</i>	Hong Kong	Mani 1989
<i>Anagyrus fusciventris</i>	Australia y N. Zelanda	Noyes y Hayat 1994
<i>Anagyrus Green</i>	India	Mani 1989
<i>Anagyrus kamali Moursi</i>	Java	Mani 1989
<i>Anagyrus mirzai</i>	India	Noyes y Hayat 1994
<i>Anagyrus pseudococci</i>	Egipto y Saudi Arabia	Noyes y Hayat 1994
<i>Cheiloneurus</i> sp.	India	Mani 1989
<i>Gyranusoidea mirzai</i>	India	Mani 1989
<i>Gyranusoidea indica</i> Shafee		
<i>Leptomastix phenacocci</i>	Java	Mani 1989
<i>Prochiloneurus</i> sp.	India	Mani 1989
<i>Prochiloneurus annulatus</i>	Indonesia	Noyes y Hayat 1994
<i>Prochiloneurus javanicus</i>	Indonesia	Noyes y Hayat 1994
<i>Rhopus longiclavatus</i>	India	Noyes y Hayat 1994
Eucoilidae		
<i>Leptopilina</i> sp.	India	Mani 1989
Platygasteridae		
<i>Allotropa citri</i>	India	Mani 1989
<i>Allotropa</i> sp. nr. japonica	India	Mani 1989
Neuroptera		
Chrysopidae		
<i>Brinckochrysa scelestes</i>	India	Mani 1989
<i>Chrysopa</i> sp.	India	Mani 1989
<i>Chrysopa scelestes</i>	India	Rao <i>et al.</i> 1984
<i>Chrysoperla carnea</i>	Egipto	Mani 1989
<i>Chrysoperla</i> sp.	EUA	Acosta 1996 (citado por Meyerdirk 2003)
<i>Mallada boninensis</i>	India	Mani 1989
Contopterygidae		
<i>Conwentzia psociformis</i>	Egipto	Mani 1989
Hemerobiidae		
<i>Symphorobius pygmaeus</i>	Egipto	Mani 1989

A pesar del plan de protección establecido, en enero de 2004 se registró la presencia de cochinilla rosada en Bahía de Banderas, Nayarit, por lo que se implementó un plan emergente fitosanitario contra esta plaga, que incluyó al control biológico como parte de la estrategia de combate. Para ello, en Abril de

2004, se iniciaron las importaciones de *A. kamali* desde el Laboratorio de la Organización Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria (OIRSA) ubicado en Belice y del laboratorio del Servicio de Inspección de Sanidad Animal y Vegetal (APHIS, USDA) ubicado en Puerto Rico; se importaron un total de 386 mil individuos de *A. kamali* y 82 mil de *Gyranusoidea indica*, ésta última fue importada sólo de Puerto Rico.

También se importó al depredador *Cryptolaemus montrouzier* de Canadá y California, además de liberar especímenes reproducidos a nivel nacional. La cantidad de individuos adquiridos sólo en 2004, fue de 806 mil depredadores (Cuadro 2). Para el mismo año, se adquirieron de laboratorios nacionales 125 mil individuos. Los insectos se liberaron en las áreas agrícolas, forestales, marginales y urbanas de Bahía de Banderas, Nay. Las dosis de liberación en plantaciones forestales y frutales oscilaron entre 1,500 y 2,000 individuos adultos por hectárea, con niveles de infestación altos (>20 CRH/brote). Las liberaciones se realizaron en recorridos de “zig-zag” dentro de las parcelas, dejando que los insectos salieran libremente para buscar a su presa. En plantas silvestres, tales como arbustos espinosos de género *Acacia* y árboles de parota, que son altamente preferidos y abundantes en Nayarit y Jalisco, se liberaron 500 adultos por árbol y de 20 a 50 depredadores por arbusto. En superficies mayores a una hectárea y con hospederos silvestres abundantes, la dosis fue similar a la liberación realizada en frutales. La colonización de este agente de control fue exitosa; aproximadamente 12 días después de liberar estos depredadores sobre colonias con abundantes ovisacos de CRH, se observó un elevado número de larvas y adultos en todas las partes vegetativas de las plantas de teca, guanábana, guayaba china, carambolo, yaca y conchas.

**Cuadro 2. Agentes de control biológico liberados contra la cochinilla rosada del hibiscus, en México. 2004-2007.**

Especie	Cantidad			
	2004	2005	2006	2007*
<i>Cryptolaemus montrouzieri</i>	931,500	2,558,900	1,600,400	1,340,000
<i>Anagyrus kamali</i>	237,900	216,752	2,079,707	4,076,353
<i>Gyranusoidea indica</i>	8,200	73,400	0	0

\*Enero-Julio.

Los parasitoides *A. kamali* y *G. indica* se liberaron en niveles de infestación bajos, es decir, en sitios donde se presentaron entre 1 y 10 individuos de CRH por brote. Las dosis de liberación fueron según los hospederos. En



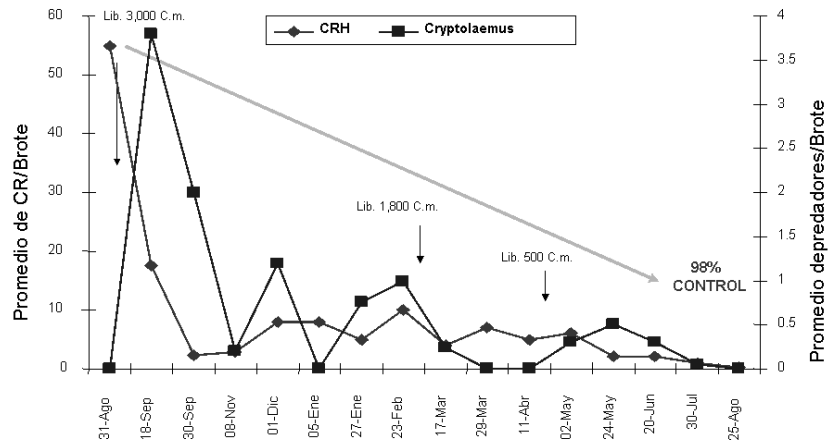
plantaciones de frutales como guanábana, litchi, carambolo, yaca, guayaba china y naranja, se liberaron de 1,500 a 2,000 individuos por hectárea. La dosis en plantaciones de teca, fue similar a frutales. En hospederos silvestres tipo arbusto y con superficies homogéneas en presencia y distribución, se liberaron en dosis similar a frutales y forestales. En arbustos como conchas, obeliscos y árboles de entre 1 y 2 m de altura aislados, se liberaron en promedio 100 parasitoides por planta. En parotas de porte alto (6-10 m) se liberaron 500 individuos por árbol.

Durante 2005-2006 se liberaron más de cuatro millones de individuos de *C. montrouzieri*, arriba de dos millones *A. kamali* y 73 mil de *G. indica* (Cuadro 2); las liberaciones se realizaron en los municipios de Bahía de Banderas y Compostela, Nay., y Puerto Vallarta y Cihuatlán, Jal. Hasta julio de 2007, se han liberado un total de 13 millones de individuos; tanto *C. montrouzieri* como *A. kamali* son especies ya establecidas en el occidente de México.

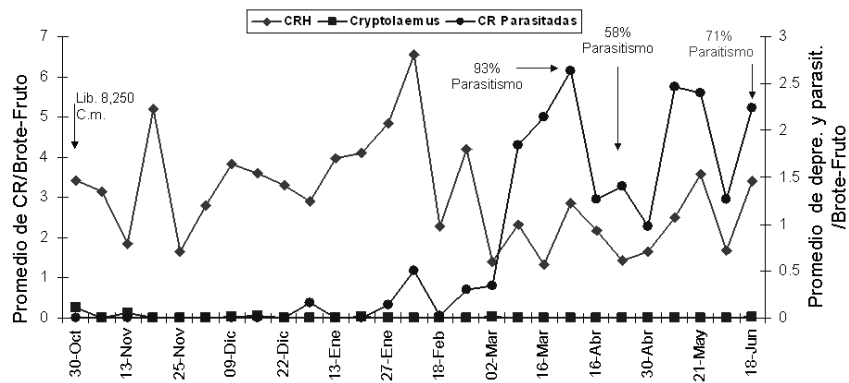
El impacto de los enemigos naturales se estimó mediante la comparación de la densidad poblacional de CRH antes y después de las liberaciones de los diferentes controladores biológicos. Para esto, se eligieron sitios con presencia de la plaga donde se cuantificaron ninfas de segundo y tercer ínstar, así como hembras adultas. Referente a *C. montrouzieri*, se registró a través del tiempo la cantidad de adultos y larvas en sus diferentes instares; para evaluar la efectividad del parasitoide, se cuantificó el número de ninfas de CRH parasitadas, tanto con orificio como sin orificio de emergencia; en ambos casos, el conteo de individuos se realizó en brotes vegetales de 5-10 cm de largo, longitud que dependió del tipo de hospedero. El tamaño de la muestra también varió en función de la especie vegetal; por ejemplo, para el caso de plantaciones frutales y forestales, se muestrearon 50 árboles por plantación (un brote/árbol); en hospederos silvestres como acacias, el muestreo se efectuó contabilizando las CRH en 10 arbustos por km lineal y tomando 4 brotes de cinco cm de largo por planta. En parotas, se contemplaron ocho brotes de 10 cm por árbol; en este caso, el tamaño de muestra varió incluso para el mismo hospedero, en aquellos que se encontraron ubicados a orilla de carretera, terracería o camino, fueron muestreados cinco árboles por km lineal; no obstante, las parotas en donde el tamaño de muestra se estimó por superficie, consistió de 20 individuos por km<sup>2</sup>.

La densidad poblacional del insecto plaga y el porcentaje de parasitismo también se determinó en laboratorio, al contabilizar las CRH por muestra, mismas que se seleccionaron al azar durante las evaluaciones en campo; posteriormente, se confinaron 100 individuos de segundo y tercer estadio y hembras adultas por muestra, a temperatura de 27±1°C por un periodo de 25 a 30 días, al término del cual, se evaluó la cantidad de cochinillas parasitadas y no parasitadas, datos con los que se calculó el porcentaje de parasitismo.

En las Figs. 1 y 2 se observa el efecto de *C. montrouzieri* y *A. kamali* sobre las poblaciones de cochinilla rosada. En éstas, se señalan las cantidades y fechas de liberación de los enemigos naturales, así como las reducciones de los niveles de población de la plaga. Es importante mencionar que cuando los niveles de población de cochinilla son bajos, el depredador tiende a emigrar y el parasitoide es cuando se desempeña mejor (muestra mayor efectividad a bajas poblaciones de cochinilla) (Fig. 3).

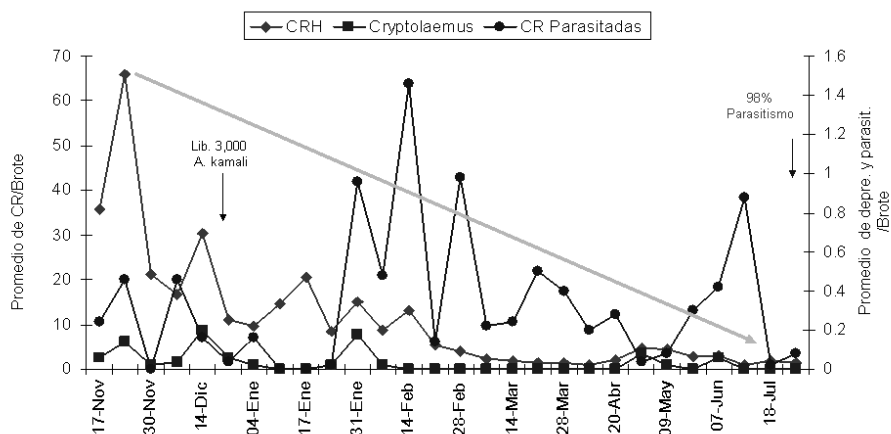


**Figura 1.** Densidad de cochinilla rosada y *C. montrouzieri* en concha (*Acacia* sp.). El Porvenir, Bahía de Banderas, Nayarit. 2004-2005.



**Figura 2.** Densidad de cochinilla rosada, *C. montrouzieri* y *A. kamali* en carambolo. El Porvenir, Bahía de Banderas, Nayarit. 2004-2005.

En la Fig. 2 se observa que *C. montrouzieri* no permanece en sitios donde la densidad de cochinilla rosada es menor a siete individuos por brote a pesar de haber realizado una liberación de 8,250 depredadores el 30 de Octubre de 2004; situación similar se observa en la Fig. 3, donde niveles menores de 10 CRH/brote son insuficientes para retener al depredador, por lo que emigra a buscar otros lugares donde haya abundancia de presas, no obstante pueden presentarse cantidades bajas de larvas del depredador. Debido a su buena capacidad depredadora, es efectivo cuando las poblaciones de cochinilla son altas. Es imprescindible mencionar que en sitios donde no se realizó liberación de depredadores y había presencia de cochinilla, se encontraron larvas y adultos, lo que implica colonización de nuevos sitios; situación similar se presenta con *A. kamali*.



**Figura 3.** Densidad de cochinilla rosada, *C. montrouzieri* y *A. kamali* teca. San Vicente, Bahía de Banderas, Nayarit. 2004-2005.

En el Cuadro 3, se muestran los niveles de población antes y después de las liberaciones de los enemigos naturales; en la mayoría de los casos hay una reducción notable de la densidad de cochinilla rosada por brote. Los resultados obtenidos de las evaluaciones realizadas desde 2004 hasta Julio de 2007, indican, en la mayoría de los casos, reducción de las poblaciones de CRH de hasta 98% en áreas agrícolas, forestales, urbanas, sierra y marginal. Los hospederos sobre los cuales se realizaron las evaluaciones fueron guanábano, guayaba china, carambolo, yaca, teca, conchas, parotas, majahuas y obeliscos, entre otros.

### Laboratorio de Cría Masiva de *Anagyryus kamali*

Debido al éxito del programa de control biológico de CRH establecido por el Gobierno Federal, se construyó un Laboratorio Regional de Reproducción de Agentes de Control Biológico con el propósito de reproducir masivamente *Anagyryus kamali* y depender menos de las importaciones realizadas desde Puerto Rico y Belice; el laboratorio inició sus operaciones en Octubre de 2005 y actualmente tiene capacidad para producir cuatro millones de individuos por mes, por lo que es el primero en su tipo a nivel mundial. Para la producción masiva se utiliza exclusivamente calabaza japonesa (*Cucurbita moschata* var. *chirimen*), que por su forma y rugosidad la hacen altamente preferida. Dichos frutos normalmente se infestan con caminantes de CRH recién emergidos, que son colectados en cajas de madera con 4-5 niveles cada una, mismas donde se colocan los frutos con ovisacos próximos a eclosionar; el área de extracción se mantiene completamente oscura y sólo permanece una fuente de luz al centro de cada nivel de las cajas. Dado que el caminante tiene fototactismo positivo, al emerger se concentra en la fuente de luz y se colecta diariamente.

**Cuadro 3. Niveles poblacionales de cochinilla rosada en distintos predios, cultivos y otras hospederas en Nayarit y Jalisco, 2007.**

Municipio/Estado	Cultivo o planta hospedera*	Superficie (ha)	CR/BROTE	
			Antes	Actual
Compostela, Nay.	Rabo Iguana (zm)	2.0	42	6
Compostela, Nay.	Rabo Iguana (zm)	4.0	24	4
Compostela, Nay.	Conchas (zm)	2.0	20	1
Compostela, Nay.	Conchas y parotilla (zm)	2.0	25	11
Compostela, Nay.	Concha y R. Iguana (zm)	3.0	116	2
Compostela, Nay.	Conchas (zm)	1.0	31	0.5
Compostela, Nay.	Concha y R. Iguana (zm)	1.0	69	7
Compostela, Nay.	Concha y R. Iguana (zm)	2.0	13	0.5
Compostela, Nay.	Rabos de Iguana (zm)	3.0	15	4
Compostela, Nay.	Conchas y R. Iguana (zm)	1.0	20	1
B. Banderas, Nay.	Majahua (zm)	2.0	22	2
B. Banderas, Nay.	Conchas (zm)	0.5	10	0.5
B. Banderas, Nay.	Guanábana (za)	4.0	23	3
B. Banderas, Nay.	Guanábana (za)	4.0	18	5
B. Banderas, Nay.	Concha (zm)	0.5	25	1
Pto. Vallarta, Jal.	Guanábano (za)	2.0	50	3
Pto. Vallarta, Jal.	Cohatante (zm)	4.0	72	21
Pto. Vallarta, Jal.	Majahua (zm)	5.0	18	13
Pto. Vallarta, Jal.	Concha (zm)	5.0	14	0.1
Pto. Vallarta, Jal.	R. Iguana y Concha (zm)	5.0	32	9
Pto. Vallarta, Jal.	Concha (zu)	1.0	17	3
Pto. Vallarta, Jal.	Cohatante y Concha (zu)	2.0	25	2

\*zm= zona marginal; za= zona agrícola; zu= zona urbana.

Las ninfas de tercer ínstar se obtienen a partir de los 19-21 días después de la infestación del fruto con el caminante; este estado de desarrollo es el más adecuado para someterlos a parasitación, ya que se obtiene una mayor proporción de hembras que de machos. La temperatura óptima para la reproducción de CRH es de  $27^{\circ}\text{C}\pm 1$  y entre 40 y 60% de humedad relativa. Aproximadamente un 20% de la producción se mantiene como pie de cría y el resto se transfiere a las salas de parasitación. En el área de parasitismo, las calabazas son colocadas, en grupos de 4-6, en jaulas de parasitación, a las que se les incluyen desde 50 hasta 300 parasitoides por fruto, cantidad que depende del nivel de infestación de la calabaza.

La colecta de parasitoides inicia 16 días después que las ninfas de CRH fueron sometidas a parasitación; después de que emerge la primera generación de la caja de parasitación, se siguen realizando capturas hasta por un lapso de 10 a 15 días y posteriormente se da de baja la jaula. La colecta puede hacerse mediante bomba de vacío o a través de  $\text{CO}_2$ . Aproximadamente un 70% de la población obtenida se envía para su liberación a campo y el resto se mantiene como pie de cría (manual de procedimiento, documento interno de trabajo del programa de control biológico de CRH 2007).

## BIOLOGÍA DE ENEMIGOS NATURALES

### ***Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant (Coleoptera: Coccinellidae)**

El depredador *C. montrouzieri* se desarrolla en un periodo de 17 a 22 días, a temperatura de  $28\pm 1^{\circ}\text{C}$ . Cada hembra pone de 200 a 500 huevecillos durante la etapa reproductiva (Gautam 1996, Clausen 1978, Flint *et al.* 1998). La oviposición se realiza en las masas algodonosas de huevecillos de piojos harinosos. El periodo de incubación de los huevecillos dura entre 3 y 5 días. El periodo larvario incluye 4 estadios y tarda entre 12 y 15 días, tiempo durante el cual las larvas consumen entre 1,800 y 1,900 huevecillos, de 250 a 268 ninfas y de 25 a 30 hembras adultas de CRH. El periodo de pupa dura 5-7 días. Las larvas de cuarto estadio buscan refugios como grietas de los troncos, bajo de la corteza y en el envés de las hojas para pupar, por lo que caminan a lo largo de ramas de árboles que miden hasta 10 m de largo. La longevidad es de 60 a 110 días. Cada individuo adulto consume de 3,700 a 4,000 huevecillos, de 750 a 800 ninfas y de 180 a 190 hembras adultas de CRH. El ciclo completo dura de 20 a 27 días. Los atributos potenciales de *C. montrouzieri* son que tanto larva como adulto son depredadores, alta fecundidad, longevidad, alto consumo y tolerancia a insecticidas (Mani y Thontadarya 1987). Este depredador tiene una pobre supervivencia en el invierno y no tolera temperaturas menores a  $10^{\circ}\text{C}$ . La hibernación la realiza como pupa.

### ***Anagyrus kamali* Moursi (Hymenoptera: Encyrtidae)**

La información referente a la biología de *A. kamali* se encuentra basada principalmente en el artículo de Moursi (1948), donde presenta resultados de observaciones en campo. Este parasitoide es solitario primario que completa su desarrollo dentro de un huésped (Cross y Noyes 1995) y pasa por los estados de huevo, seis instares larvarios y pupa (Meyerdick *et al.* 2003).

El tiempo de desarrollo de *A. kamali*, depende del instar de CRH en que fue ovipositado. Los machos que emergen de huevecillos ovipositados en ninfa 1, toman alrededor de  $26.9 \pm 2.6$  días para completar su desarrollo, mientras que las hembras se desarrollan en  $29 \pm 1.0$  días. Para los huevos del parasitoide ovipositado en ninfa 2, los machos requieren de  $25.6 \pm 4.5$  días para completar su desarrollo, mientras que las hembras se desarrollan en  $30.2 \pm 0.8$  días. El periodo de desarrollo para ambos sexos de *A. kamali* emergidos de ninfa 3 y hembras adultas, no presentan diferencia significativa, y ocurre alrededor de 9.5 días antes que en ninfas 1 y 2 (Sagarra y Vincent 1999).

Persad y Khan (2007) estimaron el ciclo de vida para *A. kamali* sobre un rango de 16.7 a 17.9 días para hembras y 17.2 a 19 días, para machos. Además, determinaron que el porcentaje de parasitismo fluctuó de 61.8 a 93.9% y el porcentaje de emergencia de adultos fluctuó entre 56.1 y 82.9%. Todos estos resultados fueron obtenidos de ensayos con *M. hirsutus* reproducida en condiciones controladas de temperatura ( $27 \pm 3^\circ\text{C}$ ) y HR ( $58.0 \pm 3.0\%$ ) sobre brotes de *Solanum tuberosum*, frutos de *Cucurbita pepo*, plantas de *Hibiscus rosa-sinensis* e *H. sabdariffa*. Estadísticamente, no se encontró diferencia, por consiguiente se concluyó que los parámetros mencionados no son afectados significativamente por el complejo *M. hirsutus*-hospedero; sin embargo, la misma evaluación sustenta que la fecundidad total, la longevidad de ambos sexos y el tamaño de las hembras de *A. kamali*, están correlacionados con el hospedero donde se reproduce *M. hirsutus*.

Sagarra *et al.* (2001) argumentan que la longevidad de *A. kamali* es afectada por su tamaño, el cual depende del instar en que fue parasitada la CRH y el hospedero donde se desarrolló dicha plaga; los parasitoides de mayor dimensión viven alrededor de  $32.3 \pm 10.35$  días, mientras que los más pequeños solo alcanzan a vivir aproximadamente  $23.1 \pm 8.76$  días. Referente a la duración reproductiva de las hembras, el porcentaje de oviposición y la progenie, los mismos autores concluyen que también son parámetros que están influenciados por el tamaño del cuerpo.

*Anagyrus kamali* puede parasitar todos los estados ninfales de CRH así como la hembra adulta, aunque este último estado es el de mayor preferencia, seguido por el tercer ínstar ninfal. No obstante, la emergencia de parasitoides adultos es significativamente mayor cuando utilizan como huéspedes ninfas de primer y segundo ínstar. La proporción de sexos cuando parasitan ninfa 1 y ninfa 2 (0.97 y 0.89) es mayor para machos, mientras que la emergencia de éstos es menor cuando utilizan hembras adultas y ninfas 3 (0.39 y 0.42) (Sagarra y Vincent 1999).

Concerniente a la oviposición, la cantidad de huevecillos que coloca *A. kamali* dentro de cada huésped depende del estado en que éste se encuentre; en hembras adultas de CRH, el parasitoide puede llegar a poner hasta 3.02 huevecillos; en ninfas de tercer ínstar el número de huevecillos estimados es  $1.94 \pm 0.58$ ; en el segundo ínstar, oviposita alrededor de  $1.70 \pm 0.42$ , mientras que en huéspedes de primer ínstar oviposita  $1.15 \pm 0.33$  huevecillos por individuo (Sagarra y Vincent 1999). Lo anterior posiblemente se deba a que ninfas de tercer ínstar y hembras adultas de CRH tienen la capacidad de encapsular los huevecillos del parasitoide; evento que raramente se da en ninfas de segundo ínstar y que no se presenta en ninfas de primero (Sagarra *et al.* 2000).

## LITERATURA CITADA

- Arredondo B., H.C. 2006. Aportaciones del control biológico en México, pp. 218-232. *In*: Angel-Sahagun, C.A. (ed.), XVII Curso Nacional de Control Biológico. Centro Nacional de Referencia de Control Biológico, DGSV-SENASICA. 250 p.
- Ben-Dov, Y. 1994. A systematic Catalogue of the mealybugs of the world. (Insecta: Homoptera: Coccoidea: Pseudococcidae and Putoidae) with data on Geographical Distribution, host plants, biology and economic importance. Intercept Ltd., Andover. UK. 686 p.
- Cermeli, M., P. Morales V., F. Godoy, R. Romero & O. Cárdenas. 2002. Presencia de la cochinilla rosada de la cayana *Maconellicoccus hirsutus* (Green) (Hemiptera: Pseudococcidae) en Venezuela. *Entomotropica* 17(1): 103-105.
- Chang, L.W.H., C.E. Miller. 1996. Pathway risk assessment: pink mealybug from the Caribbean. 61 p.
- Clausen, P.C. 1978. Introduced parasites and predators of arthropods pest and weeds: A world review, pp. 137-170. United States Department Agriculture. Agriculture Research Service, Agriculture Handbook No. 480. Washington, D.C.
- Cross, A. E. & J. S. Noyes. 1995. Dossier on *Anagyrus kamali* Moursi biological control agent for the pink mealybug, *Maconellicoccus hirsutus* in Trinidad and Tobago. CABI, UK: 16 pp.
- Ezzat, Y.M. 1958. *Maconellicoccus hirsutus*, a new genus with redescription of the species. *Bull. Soc. Entomol. Egypte* 42: 377-383.
- Flint, M. L. & S.H. Dreistadt. 1998. Natural enemies handbook. The illustrated guide to biological pest control. Statewide Integrated Pest Management Project. University of California. Div. Agric. Nat. Res. Pub. 3386. 154 pp.

- Francis-Ellis, D. 1995. Paper on background and status of mealybug *Maconellicoccus hirsutus* in Grenada. Ministry of Agricultura, Grenada, 7 p.
- Gautam, R.D. 1996. Multiplication and use of exotic coccinellids. CARDI, Technical manual. Series TB9662-TO3. 34 p.
- Ghose, S. K. 1970. Predators, parasites and attending ants of the mealybug, *Maconellicoccus hirsutus* (Green) (Pseudococcidae: Hemiptera). *Plant Protection Bulletin, India* 22: 22-30.
- Hall, W.J. 1921. The hibiscus mealy bug. Ministry of Agriculture Egypt. Tech. & Sci. Ser., Entomo. Sec., Bull. 17:1-28.
- Hoy, M.A., A. Hamon & R. Nguyen, 2005. Pink hibiscus mealybug, *Maconellicoccus hirsutus* (Green). Obtenido de la Red Mundial el 30 de agosto de 2007. <http://edis.ifas.ufl.edu/IN156>
- Kamal, M. 1951. Biological control projects in Egypt, with a list of introduced parasites and predators. Bull. Societ. Fouad 1<sup>er</sup> d'Entomol. 35: 205-220.
- Mani, M. 1989. A review of the pink mealybug *Maconellicoccus hirsutus* Green. Insect Sci. Applic., 10 (2): 157-167.
- Mani, M. & T.S. Thontadarya. 1987. Development and feeding potential of the coccinellid, *Cryptolaemus montrouzieri* on the grape mealybug, *Maconellicoccus hirsutus*. J. Biol. Control 1: 19-22.
- Meyerdirk, D. E. 2000. Control biológico de la cochinilla rosada del hibisco, pp. 2-4. In: Boletín Informativo. I. Mcdonell (ed.), Organización Norteamericana de Protección a las Plantas, Ottawa, Ontario, Canadá, Marzo de 2000.
- Meyerdirk, D. E., R. Warkentin, B. Attavian, E. Gersabeck, A. Francis, M. Adams & G. Francis. 2000. Taller de transferencia de tecnología en control biológico de la cochinilla rosada del hibiscus, *Maconellicoccus hirsutus* (Green). Dirección General de Sanidad Vegetal, Organización Norteamericana de Protección a las Plantas, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Instituto Internacional de Cooperación para la Agricultura y Sociedad Mexicana de Control Biológico. 8-10 de Febrero de 2000, Colima, Col.
- Meyerdirk, D. E., R. Warkentin, B. Attavian, E. Gersabeck, A. Francis, M. Adams y G. Francis. 2003. Manual del Proyecto para el Control Biológico de la Cochinilla Rosada del Hibisco. IICA. USDA.
- Moursi, A. A. 1948. Contributions to the knowledge of the natural enemies of mealybugs. 2. *Anagyrus kamali* Moursi (Hymenoptera: Encyrtidae), a parasite of the Hibiscus Mealybug, *Phenacoccus hirsutus* Green. Bulletin de la Société Fouad 1<sup>er</sup> d'Entomologie 32:9-16.
- Noyes, J. S. and Hayat, M. 1994. Oriental mealybug parasitoids of the Anagyrini. CAB International, Oxon, UK: 554 pp.
- Persad, A. and A. Khan. 2007. Effects of four host plant on biological parameters of *Maconellicoccus hirsutus* Green (Homoptera: Pseudococcidae) and efficacy of *Anagyrus kamali* Moursi (Hymenoptera: encyrtidae). Journal of Plant Protection Reserch. Vol. 47, No. 1.
- Sagarra, L. A. and C. Vincent. 1999. Influence of host stage on oviposition, development, sex ratio, and survival of *Anagyrus kamali* Moursi (Hymenoptera: Encyrtidae), a parasitoid of the hibiscus mealybug, *Maconellicoccus hirsutus* Green (Homoptera: Pseudococcidae). Biological Control. 15: 51-56.
- Sagarra, L. A., C. Vincent, and R. K. Stewart. 2001. Body size as an indicator of parasitoid quality in male and female *Anagyrus kamali* (Hymenoptera: Encyrtidae). Bulletin of Entomological Reserch. 91: 363-367.
- Sagarra, L. A., D. D. Peterkin, and C. Vincent. 2000. Immune response of the hibiscus mealybug, *Maconellicoccus hirsutus* Green (Homoptera: Pseudococcidae), to oviposition of the parasitoid *Anagyrus kamali* Moursi (Hymenoptera: Encyrtidae). Journal of Insect Physiology. 46: 647-653.



- SENASICA. 2007. Referente al Dispositivo Nacional de Emergencia en los términos del artículo 46 de la Ley Federal de Sanidad Vegetal, con el objeto de controlar y mitigar el riesgo de dispersión de la cochinilla rosada del hibisco (*Maconellicoccus hirsutus*) en México. Circular 040, SENASICA, Dirección General de Sanidad Vegetal, 19 de abril de 2007.
- Serrano, M. S. and S. L. Lapionte. 2002. Evaluation of host plants and a meridic diet for rearing *Maconellicoccus hirsutus* (Hemiptera: Pseudococcidae) and its parasitoid *Anagyrus kamali* (Hymenoptera: Encyrtidae). *Florida Entomologist* 85(3): 417-425.
- Williams, D. J. 1985. Australian mealybugs. British Museum (Natural History), London, England, Publication No. 953: 190-201.
- Williams, D. J. 1986. The identity and distribution of the genus *Maconellicoccus* in Africa. *Bull. Ent. Res.* 76: 351-375.
- Williams, D. J. 1996. A brief account of the hibiscus mealybug *Maconellicoccus hirsutus* (Hemiptera: Pseudococcidae), a pest of agriculture and horticulture, with descriptions of two related species from southern Asia. *Bulletin of Entomological Research* 86: 617-628.

**Enfoques y Tendencias sobre Control Biológico en México**

*L. A. Rodríguez-del-Bosque<sup>1</sup> y H. C. Arredondo-Bernal<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>INIFAP, Campo Experimental Río Bravo, Apartado Postal 172, Río Bravo, Tam., México 88900  
rodriguez.luis@inifap.gob.mx

<sup>2</sup>Centro Nacional de Referencia de Control Biológico, Km 1.5 Carretera Tecomán-Estación FFCC,  
Apartado Postal 133, Tecomán, Col., México 28120. hcesar@prodigy.net.mx

---

---

**CONTENIDO**

<i>Introducción</i> .....	268
<i>Base de Datos</i> .....	268
<i>Bibliometría</i> .....	269
<i>Literatura Citada</i> .....	274

Rodríguez-del-Bosque, L. A. y H. C. Arredondo-Bernal. 2007. Enfoques y tendencias del control biológico en México, pp. 267-276. *En*: L. A. Rodríguez-del-Bosque y H. C. Arredondo-Bernal (eds.), *Teoría y Aplicación del Control Biológico*. Sociedad Mexicana de Control Biológico, México. 303 p.

## INTRODUCCIÓN

El estudio y aplicación del control biológico en México tiene una larga historia. Diversos autores han tratado de documentar y sintetizar en diversas épocas el desarrollo de las actividades del control biológico como disciplina científica y estrategia fundamental en el manejo integrado de plagas (Coronado 1975, Otero y Muñiz 1981, Carrillo 1985, Alatorre 1992, Jiménez 1999, Badii *et al.* 2000). Otero y Muñiz (1981) en su revisión bibliográfica concluyeron “que el control biológico de insectos en México está aún en sus fases iniciales y que, a pesar de la fuerte expansión durante los últimos 30 años, el esfuerzo invertido aún no tiene resultados plenamente satisfactorios”. Por su parte, Carrillo (1985) comenta que “se han realizado muchos trabajos y se han obtenido grandes logros en el control biológico, aun cuando estamos lejos de alcanzar todos sus beneficios; indudablemente que todavía queda mucho por hacer en este campo”. Alatorre (1992) concluye que “el control microbiano en México es un área activa en la investigación para la industria, el gobierno y la academia; se espera que el desarrollo de bioinsecticidas se incremente en un futuro cercano”.

Por otra parte, Rodríguez-del-Bosque y Arredondo (1999) publicaron el folleto “Quién es Quién en Control Biológico en México”, donde se incluye un directorio con 223 especialistas, 25 instituciones, 92 organismos de apoyo, 64 empresas o laboratorios, siete sociedades científicas y tres organismos normativos. Sin embargo, quedaba pendiente un estudio bibliométrico, es decir acopiar, organizar e interpretar la literatura sobre control biológico en México. En el presente capítulo se presenta un análisis sobre los enfoques y tendencias en los estudios sobre control biológico en México en más de un siglo de historia.

## BASE DE DATOS

Se creó una base de datos en Word® con las citas bibliográficas acerca del control biológico en México en revistas científicas, revistas técnicas, libros, folletos, congresos, simposia, cursos y talleres (Rodríguez-del-Bosque y Arredondo 2007). Además, se capturó la literatura encontrada en Internet y en las propias referencias bibliográficas de los artículos. No se incluyeron tesis, informes internos, mimeografiados, ni trabajos repetidos con el mismo título publicados en diferentes revistas o memorias de congresos. La captura de citas incluyó desde 1791 (Alzate y Ramírez 1791) hasta octubre de 2005. Al final de cada cita bibliográfica, se incluyó la institución y país del primer autor. Se incluyen tres ejemplos de citas capturadas de acuerdo al tipo de publicación:

Navarro-Barranco, H., A. Pérez-Mejía, G. Cavallazi-Vargas, A. Berlanga-Padilla, T. Mier y C. Toriello. 2001. Cultivos monospóricos de aislados de

*Metarhizium anisopliae* var. *anisopliae* de *Aeneolamia* sp (Homoptera: Cercopidae) en México. Memoria del XXIV Congreso Nacional de Control Biológico, Sociedad Mexicana de Control Biológico. Chihuahua, Chih., México. 9-10 Ago, pp. 201-204. UNAM, MEXICO

Noyes, J. S. 1990. A new encyrtid (Hymenoptera) parasitoid of the leucaena psyllid (Homoptera: Psyllidae) from Mexico, Central America and the Caribbean. Bulletin of Entomological Research 80(1): 37-41. NATURAL HISTORY MUSEUM, UK

Ortíz-Pérez, R. y R. García-Espinosa. 1986. Intento de control biológico de la "podricion blanca" del ajo (*Allium sativum* L.) causada por *Sclerotium cepivorum* B., por medio de *Sporidesmium sclerotivorum* Uecker, Ayers & Adams. Revista Mexicana de Fitopatología 4(1): 29-30. CP, MEXICO

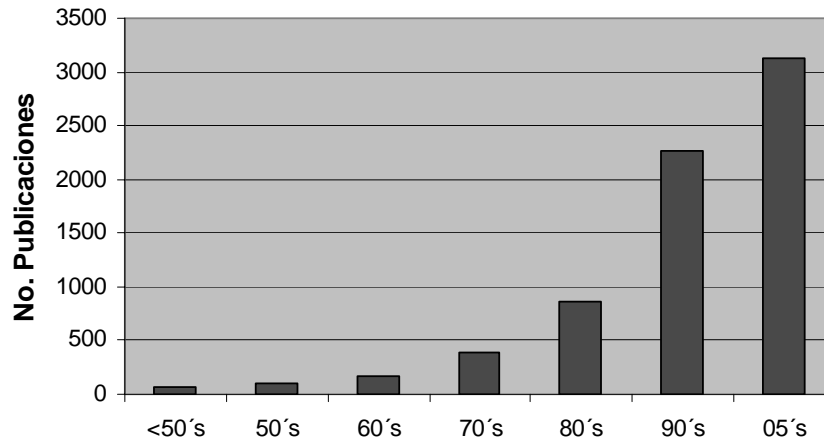
Con la base de datos de Word® se creó otra en Excell® donde se capturaron las siguientes columnas: Cita completa; número de autores; año de publicación; institución del primer autor; sector productivo; sistema producto; organismo blanco al que se dirige el control biológico; tipo de enemigo natural; familia taxonómica del enemigo natural; tema o tópico de control biológico; y tipo de publicación.

## BIBLIOMETRÍA

La base de datos en Word® cuenta con 3,150 referencias bibliográficas, la cual puede obtenerse sin costo alguno en la página web de la Sociedad Mexicana de Control Biológico: [www.controlbiologico.org.mx](http://www.controlbiologico.org.mx). La base de datos en Excell® permitió analizar las citas bibliográficas, las cuales arrojaron una serie de resultados, entre ellos los siguientes. Existen registrados 1,370 colegas como primer autor. El 86% de los autores han publicado entre uno y tres artículos, lo que representa el 49% de todas las citas; el 10% de los autores han publicado entre cuatro y nueve trabajos, lo que equivale al 24% de las citas; por último, el 4% de los autores han publicado más de 10 artículos, lo que representa el 27% de las citas en la base de datos.

En la Fig. 1 se muestra el desarrollo histórico de las publicaciones sobre control biológico en México. Se observa que el 73% de las publicaciones ha ocurrido en los últimos 15 años. Existen varios motivos que pudieran explicar lo anterior, entre ellos la fundación de la Sociedad Mexicana de Control Biológico en 1989; el apoyo gubernamental a la investigación y becas de postgrado en esta disciplina; y a la labor de numerosas instituciones y organismos como el Centro Nacional de Referencia en Control Biológico y los centros de investigación y de

enseñanza superior de nuestro país, los que han intensificado los estudios sobre control biológico durante los últimos años.

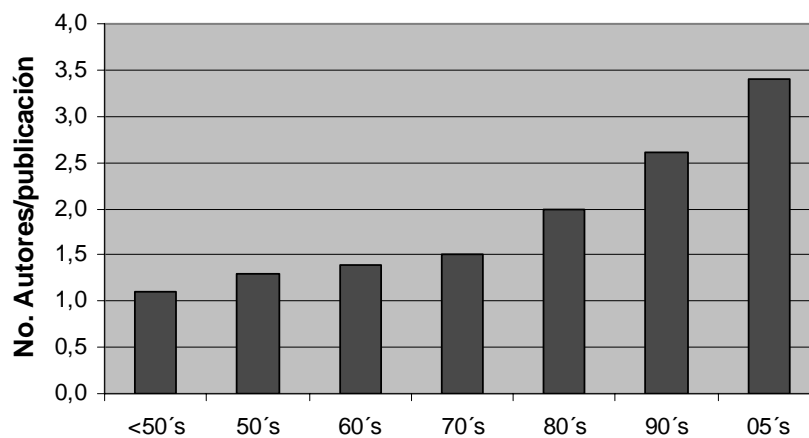


**Figura 1. Número acumulado de publicaciones sobre control biológico en México a través del tiempo.**

La coautoría (autores/artículo) en los trabajos ha aumentado gradualmente, desde un promedio de 1.1 antes de los 1950's hasta 3.4 en la actualidad (Fig. 2). Lo anterior se explica en virtud de la necesidad de mayor cooperación interinstitucional para hacer más eficientes los recursos humanos y materiales, política que fomentan organismos que financian la investigación, como el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). La mayor proporción en relación al tipo de publicación se encuentra en las memorias de congresos con un 56%, y disminuye en un 25% en revistas científicas (journals), 7% en memorias de cursos, 5% en revistas técnicas, 5% en folletos técnicos y 2 % en libros.

La nacionalidad de los autores es 91% de mexicanos y 9% extranjeros. De éstos últimos, E.U.A. es la nacionalidad más frecuente, aunque existen de numerosos países en todos los continentes. Las instituciones, organismos y empresas que representan los autores de los artículos antes de 1990 eran 40 mexicanas y 16 extranjeras. En cambio, actualmente las instituciones son 128 mexicanas y 62 extranjeras, lo que demuestra el renovado interés por el control biológico en nuestro país. De las instituciones mexicanas, destacan la Dirección General de Sanidad Vegetal (DGSV), Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), Colegio de Postgraduados (CP), Instituto Politécnico Nacional

(IPN), Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAN), Universidad de Colima (UdeC), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Entre las extranjeras, las que cuentan con el mayor número de publicaciones son el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés) y las Universidades de Texas A&M y California, todas ellas de E.U.A.



**Figura 2. Número de autores por publicación sobre control biológico en México a través del tiempo.**

En relación al sector que representan las publicaciones, el 88.7% son de agricultura, el 4.8 del sector salud, el 3.5% de recursos naturales y el 3% de ganadería (Fig. 3). En el sector agrícola, los cultivos que sobresalen en los estudios son maíz, cítricos, café, algodón, caña de azúcar, frijol, tomate y nogal. En el sector de recursos naturales, el 42% se refieren al control biológico de maleza acuática, el 36% a plagas forestales y el 22% a otro tipo de estudios. En el sector pecuario, el 60% se refieren al control biológico de organismos dañinos en ganado vacuno, el 28% a plagas de los pastos y el 12% a otro tipo de estudios. En el sector salud, dominan los estudios sobre el control biológico de mosquitos con un 96%.

Con respecto al tipo de organismo dañino que se desea controlar, destacan los artrópodos con un 90%, seguido por los patógenos con 5.9%, maleza con 3.8% y vertebrados con 0.3% (Fig. 4). Los agentes de control biológico más estudiados en México son los parasitoides y entomopatógenos con un 33 y 31% de las publicaciones, respectivamente (Fig. 5). Los depredadores, fitófagos y

vertebrados representan el 13, 2 y 1% de los estudios, respectivamente. Entre las familias de parasitoides destacan Braconidae y Trichogrammatidae y en menor proporción Encyrtidae, Bethyidae, Pteromalidae, Eulophidae, Ichneumonidae, Aphelinidae, Chalcididae y Tachinidae. Entre los depredadores, destacan las crisopas, ácaros, coccinélidos, coleópteros acuáticos, hormigas y arañas. Entre los estudios sobre entomopatógenos, destacan los hongos y las bacterias y en menor proporción los virus y nemátodos. Cabe destacar el gran interés por los entomopatógenos en los últimos años, ya que el 87% de los trabajos sobre este tema han sido reportados a partir de 1990.

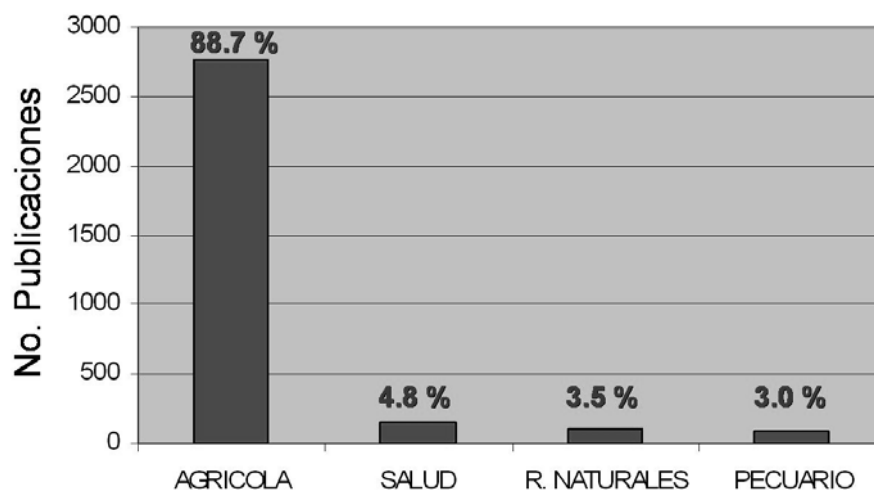


Figura 3. Número de publicaciones sobre control biológico en México por sector.

Entre los grupos de plagas que se estudian en México para el control biológico destacan los nóctuidos, moscas de la fruta, mosquitos, moscas blancas, scoliidos, pulgones, crámbidos, ácaros, curculionidos, escamas y langosta. En relación al tema o tipo de estudio, destacan los trabajos básicos y exploratorios con un 83% y en menor proporción los estudios aplicados o avanzados con un 17%. Entre el primer grupo, destacan en orden de importancia los estudios preliminares; pruebas; biología; revisiones; cría-producción; taxonomía; y genética-biotecnología. En el segundo grupo destacan los estudios sobre MIP; control biológico por aumento; control biológico clásico; control biológico por conservación, transferencia de tecnología, formulación-comercialización; y normatividad.

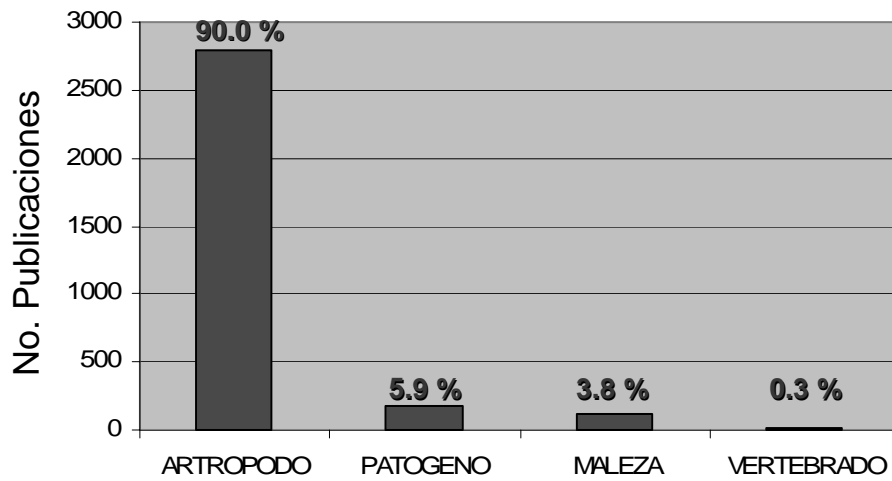


Figura 4. Número de publicaciones sobre control biológico en México por tipo de organismo dañino que se desea controlar.

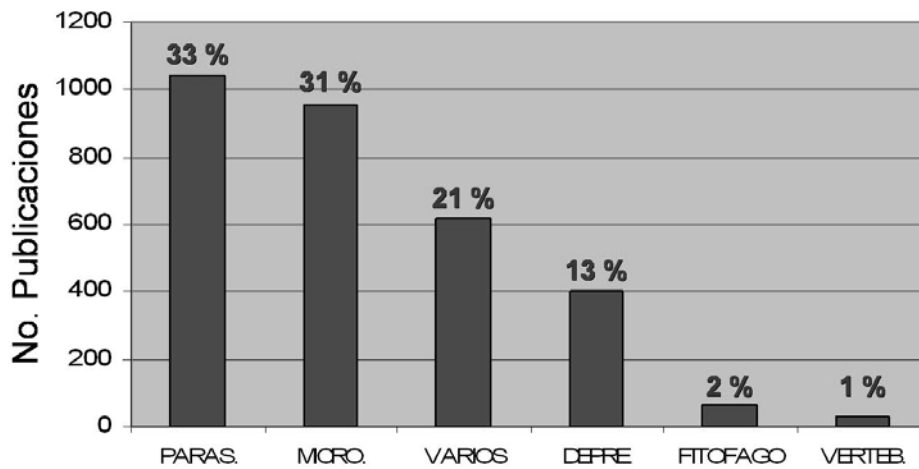


Figura 5. Número de publicaciones sobre el tipo de organismo utilizado como agente de control biológico en México.



## COMENTARIOS FINALES

Esta base de datos representa una herramienta para la planeación y toma de decisiones, que permitirá una mayor eficiencia en los recursos y evitar duplicidades en los trabajos sobre control biológico en México. Se deberá procurar que los estudios incluyan un análisis económico donde se detalle la relación beneficio/costo (Flores *et al.* 2000, Barrera 2006). La historia del control biológico también ha mostrado el lado oscuro sobre la utilización de enemigos naturales para el control de plagas al afectar otras especies que no eran el objeto del control (Louda *et al.* 2003), aspecto que deben considerar todos los programas de control biológico antes de liberar cualquier organismo. Para lo anterior deberán cumplirse a cabalidad los requisitos y normas que para este propósito establece el gobierno federal (Trujillo 1995, Arredondo 1998, Arredondo y Perales 1998).

Se deberá aprovechar la biotecnología para la producción de microorganismos como agentes de control biológico y asegurar su calidad y bioseguridad (Mier *et al.* 1989, 1994, Berlanga y Hernández 1997, De la Rosa y López 1998, Toriello 2003, Toriello y Mier 2006). Se deberá fomentar un equilibrio entre los estudios básicos y los aplicados, es decir, se debe transitar más rápido del laboratorio hacia la validación y transferencia de tecnología en el campo (Barrera *et al.* 1992, Rodríguez-del-Bosque 1996, Jarquín *et al.* 1999). Por último, se deberá fomentar una mayor proporción de publicaciones en revistas científicas, en relación a los trabajos publicados en memorias de congresos y cursos; para lo anterior, la revista científica *Vedalia*, organismo oficial de la Sociedad Mexicana de Control Biológico es una opción viable (Barrera 2004, 2005).

## LITERATURA CITADA

- Alatorre-Rosas, R. 1992. Importancia del control microbiano en México. *Ceiba* 33(1): 155-159.
- Alzate y Ramírez, J. 1791. Utilidad de los camaleones de Nueva España. *La Naturaleza*, tomo VI (1882-1884), Apéndice, pág. 195 (tomada de la Gaceta de Literatura de 22 de marzo y 5 de abril de 1791).
- Arredondo-Bernal, H. C. 1998. La normatividad relativa al control biológico en México. *En*: J. M. Vázquez (ed.), *Memoria del Curso "Metodos Alternativos para el Control de Plagas"*. Comarca Lagunera, México, 55-57 Marzo, 1998. pp. 6-8.
- Arredondo-Bernal, H. C. y M. A. Perales-Gutiérrez. 1998. La normalización del control biológico en México. Centro Nacional de Referencia de Control Biológico. Dirección General de Sanidad Vegetal. Ficha Técnica CB-11, pp. 1-2.
- Badii, M. H., L. O. Tejeda, A. E. Flores, C. E. López, E. Ruíz y H. Quiroz. 2000. Historia, fundamentos e importancia. *Fundamentos y Perspectivas de Control Biológico*. Universidad Autónoma de Nuevo León, México. pp. 3-17.

- Barrera, J. F. 2004. Los retos de VEDALIA, la Revista Internacional de Control Biológico (Editorial). *Vedalia* 11: 1-2.
- Barrera, J. F. 2004. El aval de VEDALIA: La calidad de su contenido (Editorial). *Vedalia* 12: 1-2.
- Barrera, J. F. 2006. Introducción, filosofía y alcances del control biológico. Memorias del XVII Curso Nacional de Control Biológico. Sociedad Mexicana de Control Biológico, Manzanillo, Col., México. pp. 1-13.
- Barrera, J. F., F. Infante, A. Castillo, J. Gómez y W. de la Rosa. 1992. Descripción de la cría rural de parasitoides para el control biológico de la broca del café y análisis de su adopción y transferencia. Memoria del XV Simposio Latinoamericano de Cafecultura. SARH-INMECAFE-IICA/PROMECAFE, 21-24 Julio 1992, Xalapa, Ver., México.
- Berlanga-Padilla, A. M. y V. M. Hernández-Velázquez. 1997. Control de calidad en la producción masiva de *Paecilomyces fumosoroseus* (Wize) Brown and Smith, enemigo natural de "mosquita blanca". Memoria XXXII Congreso Nacional de Entomología, Sociedad Mexicana de Entomología. Metepec, Puebla, México. 25-28 de Mayo pp. 52-53.
- Carrillo-Sánchez, J. L. 1985. Evolución del control biológico de insectos en México. *Folia Entomologica Mexicana* 65: 139-146.
- Coronado-Padilla, R. 1975. Aspectos históricos del control biológico en México. III Simposio Nacional de Parasitología Agrícola, IAP. pp. 319-331.
- De la Rosa, W. y M. I. López. 1998. Producción de unidades infectivas de *Beauveria bassiana* (Moniliales: Moniliaceae) en medios líquidos y determinación de parámetros de control de calidad de productos biológicos. Memoria XXI Congreso Nacional de Control Biológico, Sociedad Mexicana de Control Biológico. Río Bravo, Tamaulipas, México. 5-6 de Nov. pp. 244-246.
- Flores, A. E., M. H. Badii, J. Landeros, J. A. García y J. I. González. 2000. Costo beneficio de control biológico. *En*: M. H. Badii, A. E. Flores y L. J. Galán (eds.), *Fundamentos y Perspectivas de Control Biológico*. Universidad Autónoma de Nuevo León, México. Monterrey, N.L., México. pp. 433-440.
- Jarquín-Gálvez, R., J. F. Barrera, K. C. Nelson y A. Martínez Quezada. 1999. Métodos no químicos contra la broca del café y su transferencia tecnológica en Los Altos de Chiapas, México. *Agrociencia*. 33(4):431-438.
- Jiménez-Jiménez, E. 1999. 50 años de combate biológico de plagas agrícolas en México. *Publ. Esp. SAGDR*, México. 55 p.
- Louda, S. M., R. W. Pemberton, M. T. Johnson y P. A. Folleto. 2003. Nontarget effects-the Achilles' heel of biological control? Retrospective analyses to reduce risk associated to biocontrol introductions. *Annu. Rev. Entomol.* 48: 365-396.
- Mier, T., F. Rivera, M. P. Rodríguez-Ponce, J. Carrillo-Farga y C. Toriello. 1994. Infectividad del hongo entomopatógeno *Verticillium lecanii* en ratones y cobayos. *Revista Latinoamericana de Microbiología* 36: 107-111.
- Mier, T., J. Pérez, J. Carrillo-Farga, and C. Toriello. 1989. Study on the innocuity of *Hirsutella thompsonii*. I. Infectivity in mice and guinea pigs. *Entomophaga* 34: 105-110.
- Otero-Colina, G y R. Muñoz-Vélez. 1981. Estudio cuantitativo de los trabajos sobre control biológico de insectos realizados en México. *Folia Entomologica Mexicana* 48: 53-54.
- Rodríguez-del-Bosque, L. A. 1996. Editorial: De la investigación a la práctica ¿Estamos listos? *Vedalia* 3: 1.
- Rodríguez-del-Bosque, L. A. y H. C. Arredondo-Bernal. 1999. Quién es Quién en Control Biológico en México. INIFAP-CIRNE. Campo Experimental Río Bravo. Folleto Técnico No. 23. Tamaulipas, México.

- Rodríguez-del-Bosque, L. A. y H. C. Arredondo-Bernal. 2007. Bibliometría del control biológico en México. *Vedalia* (en prensa).
- Trujillo-Arriaga, J. 1995. La normatividad del control biológico en una época de reducción de controles oficiales (Editorial). *Vedalia* 2: 1.
- Toriello, C. 2003. Bioseguridad de *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin (Hyphomycete). *Vedalia* 9-10: 107-113.
- Toriello, C. y T. Mier. 2006. Bioseguridad de agentes de control micobiano. Memorias del XVII Curso Nacional de Control Biológico. Sociedad Mexicana de Control Biológico, Manzanillo, Col., México. pp. 211-217.

**Terminología sobre Control Biológico**

*L. A. Rodríguez-del-Bosque*

INIFAP, Campo Experimental Río Bravo, Apartado Postal 172, Río Bravo, Tam., México 88900  
rodriguez.luis@inifap.gob.mx

---

---

**CONTENIDO**

<i>Introducción</i> .....	278
<i>Glosario</i> .....	278
<i>Literatura Consultada</i> .....	302

Rodríguez-del-Bosque, L. A. 2007. Terminología sobre control biológico, pp. 277-303.  
*En:* L. A. Rodríguez-del-Bosque y H. C. Arredondo-Bernal (eds.), Teoría y Aplicación del Control Biológico. Sociedad Mexicana de Control Biológico, México. 303 p.

## INTRODUCCION

Toda área del conocimiento tiene su léxico particular de términos y tecnicismos; el control biológico de organismos nocivos, con sus casi 120 años de historia, no es la excepción. El presente glosario de 364 términos tiene varios propósitos. En primer lugar, se ofrece como un documento de consulta práctico sobre los términos más utilizados en el control biológico. En este sentido, probablemente los que obtengan una mayor utilidad del glosario serán los estudiantes y profesionales que se inician en esta disciplina. Además, el glosario intenta reafirmar las definiciones tradicionales, ofrecer las bases para unificar algunos conceptos controversiales y proponer algunos términos en español, adaptando aquellos que se utilizan frecuentemente en otros idiomas. Por último, el glosario pretende estimular a los colegas expertos del control biológico de habla hispana para que corroboren, rechacen, corrijan y propongan términos. El objetivo final es uniformizar las definiciones y conceptos sobre control biológico en español. Cualquier sugerencia será gratamente recibida y considerada para ediciones futuras de este glosario.

El presente glosario incluye también una serie de términos sobre ecología, relaciones tróficas y manejo de plagas, relacionados con el control biológico. En cada definición, se incluye el término en inglés como apoyo a aquellos interesados en consultar con mayor profundidad la literatura sobre control biológico, la cual en su mayoría está referida en dicho idioma.

## GLOSARIO

**ABIÓTICO** (Abiotic): No viviente. Ver factor de mortalidad abiótico.

**ABUNDANCIA** (Abundance): Número de individuos de una especie determinada.

**ÁCARO** (Spider mite): Artrópodo pequeño de la clase Arachnida y Orden Acarina. Tienen el cuerpo dividido en cefalotórax y abdomen. En el cefalotórax tienen cuatro pares de patas. Muchas especies de ácaros son depredadores de otros ácaros.

**ACAROLOGÍA** (Acarology). Disciplina de la Zoología que estudia los ácaros (Acarina).

**ACRIDÓFAGO** (Acridophagous): Que se alimenta de acrididos o chapulines (Orthoptera: Acrididae).

**ACULEATA** (Aculeata): División del Orden Hymenoptera, suborden Apocrita que incluye las familias de avispas no parasitoides y que poseen aguijón, por ejemplo Formicidae, Apidae, Vespidae. Ver Parasítica.

- ADAPTABILIDAD** (Adaptability): Capacidad para evolucionar de acuerdo a los cambios del medio ambiente y depende de la variabilidad fenotípica y genotípica de la población.
- AFIDÓFAGO** (Aphidophagous): Que se alimenta de áfidos o pulgones (Homoptera: Aphididae).
- AGENTE DE CONTROL BIOLÓGICO** (Biological control agent): Parasitoide, depredador o patógeno (virus, bacterias, hongos, nemátodos, protozoarios, protistas, riketsias) que se utiliza para el control de un organismo nocivo. Para el caso de maleza, un fitófago es un agente de control biológico.
- AGRICULTURA ORGÁNICA** (Organic agriculture): Sistema de cultivo que no utiliza agroquímicos y privilegia el control biológico y cultural.
- AGROECOSISTEMA** (Agroecosystem): Sistema de plantas, animales y hábitat modificado y simplificado por el hombre para fines agrícolas.
- ALELOQUÍMICO** (Allelochemical): Sustancia involucrada en la interacción química entre diferentes especies. Ver semioquímico.
- ALOMONA** (Allomone): Sustancia producida y emitida por un organismo que modifica el comportamiento de otra especie y que beneficia al emisor. Ver aleloquímico, semioquímico.
- ALOPÁTRICO** (Allopatric): La condición de especies o poblaciones que habitan en diferentes áreas geográficas. Ver simpátrico.
- AMIBIASIS** (Amoebiasis): Infección causada por amibas.
- ANÁLISIS DE RIESGO** (Risk analysis): Evaluación de los efectos potencialmente adversos para la salud o el ambiente causados por un organismo o sustancia tóxica y la toma de decisiones correspondiente para la atención y manejo de dichos efectos.
- ANTAGONISMO** (Antagonism): Tipo de simbiosis en la que la asociación de dos especies es perjudicial para ambas. Ver simbiosis.
- ARACNOLOGÍA** (Arachnology): Disciplina de la Zoología que estudia las arañas (Araneae).
- ARAÑA** (Spider): Artrópodo de la clase Arachnida y Orden Araneae. Tienen el cuerpo dividido en cefalotórax y abdomen y en el primero se encuentran cuatro pares de patas. Muchas especies de arañas son depredadoras de diversos artrópodos.
- ÁREA DE DESCUBRIMIENTO** (Area of discovery): Parámetro "*a*" = Área que recorre en promedio un parasitoide durante toda su vida en búsqueda de huéspedes. Este parámetro, según Nicholson (1933), es constante y característico de cada especie. Ver interferencia mutua. Ver constante de búsqueda.
- ARRENOTOQUIA** (Arrhenotoky): Reproducción partenogénica en la que los huevos no fertilizados dan origen a machos. Ver partenogénesis.

- ARTRÓPODO** (Arthropod): Animal invertebrado como los insectos, arañas, ácaros y crustáceos, que tienen exoesqueleto, cuerpo segmentado y apéndices articulados.
- ASCOVIRUS** (Ascovirus): Virus de la familia Ascoviridae que incluye solamente virus aislados de insectos, específicamente lepidópteros.
- AUTOPARASITOIDE** (Autoparasitoid): Condición obligatoria o facultativa en la que los machos se desarrollan como hiperparasitoides de hembras de su propia especie, como ocurre en algunas especies de la familia Aphelinidae (Hymenoptera).
- AXÉNICO** (Axenic): Libre de organismos asociados, por ejemplo un medio de cultivo axénico.
- BACTEREMIA** (Bacteremia): Presencia de bacterias en la sangre o hemolinfa.
- BACTERIA** (Bacterium): Microorganismo unicelular procarionte (sin núcleo ni organelos membranosos) de diversas formas, entre ellas alargada (bacilos), espiral (espirilos), o esférica (cocos). La asociación con insectos puede ser saprófita, simbiótica o patogénica.
- BACTERIÓFAGO** (Bacteriophage): Que se alimenta de bacterias.
- BACTERIOSIS** (Bacteriosis): Infección causada por alguna bacteria.
- BACULOVIRUS** (Baculovirus): Grupo de virus específico a artrópodos, de forma bacilar y con ADN de doble cadena. Ver virus de poliedrosis nuclear y granulosis.
- BALANCE DE LA NATURALEZA** (Balance of nature): Tendencia natural de las poblaciones de plantas y animales a no crecer hasta el infinito ni decrecer hasta la extinción, como resultado de procesos reguladores en ecosistemas naturales.
- BASIANOLIDE** (Bassianolid): Toxina producida por los hongos *Beauveria bassiana* y *Paecilomyces fumosoroseus*.
- BEAUVERICINA** (Beauvericin): Toxina producida por los hongos *Beauveria bassiana* y *Lecanicillium (Verticillium) lecani*.
- BINOMIAL NEGATIVA** (Negative binomial distribution): Modelo matemático que por sus propiedades satisface las condiciones ecológicas de un organismo dispuesto en grupos o “manchones”; distribución de contagio o agregada. Ver disposición espacial.
- BIOCONTROL** (Biocontrol): Abreviación de control biológico.
- BIODEGRADACIÓN** (Biodegradation): Proceso de descomposición de una sustancia o materia a través de organismos vivos.
- BIODIVERSIDAD** (Biodiversity): Variedad de especies que ocurren en una región geográfica o unidad ecológica (ecosistema) determinada. También se refiere a la diversidad genética.
- BIOENSAYO** (Bioassay): Cualquier método que mida alguna propiedad de un estímulo físico, químico, biológico o fisiológico, en términos de respuesta biológica de un organismos de prueba.

- BIOGEOGRAFÍA** (Biogeography): Rama de la biología que estudia la distribución geográfica de animales y plantas.
- BIOINSECTICIDA** (Bioinsecticide): Insecticida cuyo ingrediente activo es un microorganismo patógeno o su parte activa responsable de la acción tóxica (e.g., *Bacillus thuringiensis*). También se utiliza para referirse a productos de origen vegetal con propiedades insecticidas.
- BIORACIONAL** (Biorational): Biológicamente racional. Método de control que tiene una influencia mínima sobre el medio ambiente y organismos a los que no está dirigido el control, por ejemplo un insecticida bioracional.
- BIOSEGURIDAD** (Biosecurity): Políticas y procedimientos adoptados para asegurar que las aplicaciones de la biotecnología moderna se realicen sin perjudicar a la salud pública y el ambiente, con especial referencia a la protección y preservación de la biodiversidad. En control biológico, la bioseguridad es de particular importancia en el uso de agentes microbianos.
- BIOSISTEMÁTICA** (Biosystematics): Ver Sistemática.
- BIOTA** (Biota): Conjunto de flora y fauna en una región determinada.
- BIOTECNOLOGÍA** (Biotechnology): Aplicación de técnicas y herramientas donde se utilizan sistemas biológicos, organismos vivos o parte de ellos para hacer o modificar productos o procesos para un uso específico. Ver Ingeniería genética.
- BIÓTICO** (Biotic): Viviente. Ver factor de mortalidad biótico.
- BIOTIPO** (Biotype): Cepa o estirpe biológica de un organismo, morfológicamente idéntica a otros miembros de la misma especie, pero que exhibe características fisiológicas diferentes. Ver raza.
- BIVOLTINO** (Bivoltine): Organismo que completa dos generaciones al año. Ver multivoltino y univoltino.
- Bt** (Bt): Abreviación que se refiere a la bacteria *Bacillus thuringiensis*.
- CADENA ALIMENTICIA** (Food chain): Serie de relaciones de alimentación entre organismos, iniciada por los productores y seguida por los consumidores. Ver nivel trófico.
- CANIBALISMO** (Cannibalism): Alimentación con individuos de la misma especie.
- CAPACIDAD DE BÚSQUEDA** (Searching capacity): Habilidad de un enemigo natural para movilizarse, localizar y parasitar (depredar) a su huésped (presa).
- CAPACIDAD MÁXIMA DE SOPORTE** (Carrying capacity): "K" = Máximo número de individuos que un habitat puede soportar en función de los recursos existentes.
- CÁPSIDE** (Capsid): Cubierta proteica del ácido nucleico en un virus.
- CAPULLO o COCÓN** (Cocoon): Cubierta protectora sedosa o fibrosa que fabrican algunas larvas antes de pupar.
- CARNÍVORO** (Carnivore): El que come o se nutre de carne.



- CEPA** (Strain): Aislamiento de una especie de microorganismo de características conocidas que se conserva cultivado en el laboratorio para determinados ensayos.
- CICLO BIOLÓGICO** (Life cycle): Secuencia de eventos que ocurren durante la vida de un organismo.
- CLEPTOPARASITISMO** (Cleptoparasitism): Forma de parasitismo múltiple en el cual un parasitoide ataca un huésped que está siendo parasitado por otro.
- COEVOLUCIÓN** (Coevolution): Proceso en el que dos o más especies ejercen simultáneamente presión selectiva y como consecuencia desarrollan nuevas características o comportamientos, generalmente con algún beneficio para todas. Ver evolución.
- COEXISTENCIA** (Coexistence): Presencia de dos o más especies en el mismo hábitat; generalmente se refiere a especies potencialmente competitivas. Ver ley de Gause.
- COLONIA** (Colony): Grupo de individuos confinados en el laboratorio con fines de conservación y multiplicación. En insectos, una colonia se refiere por lo general al confinamiento en jaulas de una sola especie. En microorganismos, la conservación y multiplicación se desarrolla en medios de cultivo y una colonia puede incluir más de una especie.
- COLONIZACIÓN** (Colonization): Ocupación de un territorio. En control biológico se refiere al establecimiento permanente de un enemigo natural exótico después de liberarlo en una región determinada.
- COMENSALISMO** (Comensalism): Tipo de simbiosis en la que una especie se beneficia sin afectar a la otra. Ver simbiosis.
- COMPETENCIA** (Competition): Utilización o defensa de un recurso por un individuo, el cual reduce la disponibilidad de dicho recurso a otros individuos.
- COMPETENCIA EXTRÍNSECA** (Extrinsic competition): Competencia ecológica o ambiental entre adultos de dos especies de parasitoides por localizar y parasitar un huésped común. Una especie puede ser extrínsecamente superior, inferior o equivalente a otra.
- COMPETENCIA INTERESPECÍFICA** (Interspecific competition): Competencia entre individuos de diferentes especies.
- COMPETENCIA INTRAESPECÍFICA** (Intraspecific competition): Competencia entre individuos de la misma especie.
- COMPETENCIA INTRÍNSECA** (Intrinsic competition): Competencia fisiológica o mecánica entre inmaduros de dos especies de endoparasitoides por la posesión del huésped. Una especie puede ser intrínsecamente superior, inferior o equivalente a otra.
- COMPORTAMIENTO** (Behavior): Acciones o reacciones de un animal en respuesta a estímulos internos o externos.
- COMUNIDAD** (Community): Conjunto de poblaciones de plantas y animales que interactúan entre sí.

- CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA,  $CL_{50}$**  (Lethal concentration,  $LC_{50}$ ): Estimador estadístico obtenido a partir del análisis Probit, que representa la concentración de un factor causante del 50% de la mortalidad en un bioensayo. Ver Dosis letal.
- CONSTANTE DE BÚSQUEDA** (Quest constant): " $Q$ " = Constante en el modelo de Hassell and Varley (1969) ( $\log a = \log Q - m \log p$ ) el cual describe la relación entre la densidad de parasitoides ( $p$ ) y el área de descubrimiento ( $a$ );  $Q = a$  cuando  $p = 1$ . Ver área de descubrimiento.
- CONSUMIDOR** (Consumer): Organismo que se nutre ya sea directamente a partir de vegetales (herbívoro), o indirectamente, a partir de un productor representado por los seres herbívoros (carnívoro).
- CONTROL** (Control): Intervención del hombre para manipular ciertos factores determinantes de la población para mantener una plaga a niveles inocuos. El control puede ser rápido y substancial, aunque los efectos son por lo general cortos y se favorece el resurgimiento de la plaga.
- CONTROL BIOLÓGICO** (Biological control): *Definición ecológica o funcional*: "La acción de parasitoides, depredadores y patógenos para mantener la densidad de otros organismos (huéspedes o presas) a un nivel más bajo del que ocurriría en su ausencia". *Definición disciplinaria*: "Estudio, importación, conservación y aumento de organismos benéficos para la supresión de poblaciones de plagas". Tradicionalmente, se reconocen tres tipos de control biológico: clásico, aumento y conservación.
- CONTROL BIOLÓGICO CLÁSICO** (Classical biological control): Introducción de enemigos naturales exóticos; implica la búsqueda de enemigos naturales en el país de origen de la plaga, su cría, multiplicación y liberación en las regiones donde la plaga ha invadido o ha sido introducida.
- CONTROL BIOLÓGICO FORTUITO** (Fortuitous biological control): El movimiento accidental, pero favorable, de organismos benéficos exóticos a áreas nuevas y en donde se logra suprimir la población de una plaga. También se refiere a la regulación de plagas exóticas por enemigos naturales nativos, sin la intervención del hombre.
- CONTROL BIOLÓGICO NEOCLÁSICO** (Neoclassical biological control): Uso de agentes de control biológico exóticos en contra de plagas nativas. Ver nueva asociación.
- CONTROL BIOLÓGICO POR AUMENTO** (Augmentation biological control): Forma de practicar el control biológico a través de la liberación masiva y periódica de entomófagos (inundación) o de la liberación de pocos individuos que sobrevivirán por varias generaciones (inoculación). Ver liberación inoculativa, liberación inundativa.
- CONTROL BIOLÓGICO POR CONSERVACIÓN** (Conservation biological control): Forma de practicar el control biológico a través de la manipulación del ambiente; no implica la liberación de agentes de control

biológico. También se refiere al uso de insecticidas selectivos para el control de plagas, sin afectar a los enemigos naturales.

**CONTROL CULTURAL** (Cultural control): Alteración deliberada del sistema de producción, bien sea el sistema de producción en sí mismo o mediante prácticas específicas de producción de cultivos, para reducir la población de plagas o evitar el daño de las plagas a los cultivos.

**CONTROL FÍSICO** (Physical control): Control de plagas mediante medios físicos, tales como el calor, frío y ondas de sonido.

**CONTROL GENÉTICO o AUTOCIDA** (Genetic or autocidal control): El uso de una especie en contra de ella misma al modificarla genéticamente para suprimirla o erradicarla. Ver técnica del insecto estéril.

**CONTROL INTEGRADO** (Integrated control): Sistema de manejo de plagas que utiliza todas las técnicas y métodos posibles en una manera compatible para mantener las poblaciones de las plagas en niveles que no causen daños económicos. El control integrado enfatiza en el uso combinado del control químico y control biológico. Ver manejo integrado de plagas.

**CONTROL MACROBIOLÓGICO** (Macrobiological control): Control biológico con parasitoides y depredadores.

**CONTROL MICROBIANO o MICROBIOLÓGICO** (Microbial control): Uso de microorganismos entomopatógenos (hongos, bacterias, virus, protozoarios, rickettsias, nemátodos) para el control de plagas.

**CONTROL NATURAL** (Natural control): Acción combinada de todos los factores del medio ambiente (bióticos y abióticos) sobre la densidad de una población; como consecuencia de estos factores, la población fluctúa dentro de ciertos límites inferior y superior en un período de tiempo.

**CONTROL QUÍMICO** (Chemical control): Control de plagas mediante el uso de sustancias tóxicas orgánicas (naturales o sintéticas) o inorgánicas. Ver plaguicida.

**COSMOPOLITA** (Cosmopolitan): De amplia distribución geográfica (mundial).

**CRÍA MASIVA** (Mass rearing): Producción de grandes cantidades de un organismo con fines experimentales y aplicados (control). En control biológico, la cría masiva de los enemigos naturales generalmente requiere también de la cría masiva de huéspedes (presas). La cría masiva *in-vitro* es más común en el control microbiológico.

**CRISTAL PARASPORAL** (Parasporal cristal): Cristal de naturaleza proteica que se forma al lado de la espora, en algunas bacterias como *Bacillus thuringiensis*, *B. sphaericus* o *Paenibacillus popilliae*. Frecuentemente posee actividad insecticida.

**CUARENTENA** (Quarantine): Acciones legales para evitar o restringir el desplazamiento de una plaga o enfermedad de una región a otra. Se refiere también al laboratorio donde se confinan temporalmente los enemigos naturales importados antes de ser liberados; el confinamiento debe durar

por lo menos una generación con el objeto de evitar liberar hiperparasitoides y otros organismos indeseables.

**CUERPO DE OCLUSIÓN** (Occlusion body): Matriz proteica donde se encuentran inmersos los viriones de diversos tipos de virus, formando una partícula discreta.

**CYPOVIRUS** (Cypovirus): Ver reovirus.

**DEFOLIADOR** (Defoliator): Insecto con aparato bucal masticador que destruye el follaje de las plantas.

**DELTA-ENDOTOXINA,  $\delta$ -ENDOTOXINA** (Delta-endotoxin,  $\delta$ -endotoxin): Proteína con propiedades insecticidas que produce la bacteria *Bacillus thuringiensis*. Después de ingerir el complejo espora-cristal, la delta-endotoxina actúa en el mesenterón del insecto, provocando su muerte por inanición o septicemia.

**DENSIDAD** (Density): Número de individuos de la misma especie por unidad de superficie.

**DENSO-DEPENDIENTE** (Density-dependent): Se refiere a los factores de mortalidad o procesos en el medio ambiente que incrementan el porcentaje de destrucción al aumentar la densidad de la población afectada y viceversa (la proporción destruida se reduce cuando la densidad disminuye). Los factores inversamente dependientes de la densidad se refieren a los factores de mortalidad o procesos en el medio ambiente que disminuyen el porcentaje de destrucción al incrementarse la densidad de la población afectada.

**DENSO-INDEPENDIENTE** (Density-independent): Se refiere a los factores de mortalidad o procesos en el medio ambiente que destruyen un porcentaje relativamente constante independientemente de los cambios en la densidad de la población afectada.

**DEPREDADOR** (Predator): Animal que se alimenta de otro (presa) normalmente menor y más débil, al que devora completamente en un tiempo relativamente corto. Un depredador busca, ataca y consume por lo general más de una presa para completar su desarrollo y alcanzar la madurez. El uso de la palabra "predator" en español es gramaticalmente incorrecto.

**DESPLAZAMIENTO COMPETITIVO** (Competitive displacement): Concepto ecológico basado en la ley de Gause que sugiere que una especie puede ser capaz de reemplazar a otra como resultado de la competencia por el mismo nicho. Ver ley de Gause.

**DEUTEROTOQUIA** (Deuterotoky): Reproducción partenogénica en la que toda la progenie son hembras, aunque ocasionalmente se producen machos. Tanto las hembras como los machos son uniparentales. Ver partenogénesis.

**DIAPAUSA** (Diapause): Disminución o interrupción temporal del desarrollo de un insecto, generalmente como respuesta a cambios ambientales o nutricionales.

**DIETA ARTIFICIAL** (Artificial diet): Mezcla de sustancias nutritivas para la alimentación de colonias en la cría masiva de insectos.

**DIETA HOLÍDICA** (Holidic diet): Dieta donde se conocen todos los componentes químicos.

**DIETA MERÍDICA** (Meridic diet): Dieta cuyos componentes químicos están parcialmente determinados.

**DIETA OLIDICA** (Olidic diet): Dieta compuesta de fracciones orgánicas, por ejemplo hojas, tallos y frutos.

**DIMORFISMO** (Dimorphism): Diferencia en forma, color y tamaño entre individuos de la misma especie; normalmente existen dos tipos (morfos). El dimorfismo puede ser sexual, geográfico o estacional. Ver polimorfismo.

**DINÁMICA POBLACIONAL** (Population dynamics): Estudio de los cambios en la densidad de poblaciones de organismos en un tiempo y espacio determinados y de los procesos que causan dichos cambios.

**DISPOSICIÓN ESPACIAL** (Spatial pattern): Disposición o arreglo de los organismos en el espacio; se reconocen tres tipos: Al azar, regular (uniforme) y contagiosa (agregada).

**DIVERSIDAD** (Diversity): Ver biodiversidad.

**DOSIS LETAL** (Lethal dose): Cantidad de una sustancia tóxica requerida para matar un organismo. Se refiere por lo general a la cantidad requerida para matar el 50% (DL<sub>50</sub>) o el 90% (DL<sub>90</sub>) de la población del organismo.

**ECOLOGÍA** (Ecology): Estudio de las interrelaciones entre los organismos y el medio ambiente en que viven.

**ECOSISTEMA** (Ecosystem): Sistema natural autosuficiente y homeostático donde interaccionan comunidades de plantas y animales con el medio ambiente.

**ECOTIPO** (Ecotype): Raza o subespecie con diversas características genéticas adaptadas a su hábitat.

**ECTOPARASITOIDE** (Ectoparasitoid): Parasitoide que se desarrolla en el exterior de su huésped.

**ENCAPSULACIÓN** (Encapsulation): Sistema defensivo del huésped al ser invadido por un endoparasitoide. Células especializadas (plasmocitos) de la hemolinfa rodean y cubren al parasitoide hasta asfixiarlo. Aunque son procesos independientes, la encapsulación esta asociada comúnmente con la melanización.

**ENDÉMICO** (Endemic): Nativo, indígena; opuesto a exótico.

**ENDOPARASITOIDE** (Endoparasitoid): Parasitoide que se desarrolla en el interior de su huésped.

**ENEMIGO NATURAL** (Natural enemy): Los parasitoides, depredadores y microorganismos patogénicos asociados en forma natural con una población silvestre específica de plantas o animales y que causan la muerte o debilitamiento de los individuos.

**ENFERMEDAD LECHOSA** (Milky disease): Enfermedad en larvas de escarabajos causada por varias especies de bacterias, entre ellas *Paenibacillus popilliae* y *P. lentimorbus*, las cuales provocan una apariencia "lechosa" de la hemolinfa en las larvas debido a la gran producción de esporas.

**ENTOMÓFAGO** (Entomophagous): Organismo que consume insectos o sus partes; insectívoro.

**ENTOMÓGENO** (Entomogenous): Organismo (generalmente microorganismo) que se desarrolla dentro o afuera del cuerpo de un insecto.

**ENTOMOLOGÍA** (Entomology): Disciplina de la Zoología que estudia los insectos y otros artrópodos como ácaros y arácnidos.

**ENTOMOPATOGENICO** (Entomopathogenic): Capaz de causar una enfermedad a un insecto.

**ENTOMOPATÓGENO** (Entomopathogen): Microorganismo parasítico (virus, bacterias, hongos, protozoarios, protistas, riketsias, nemátodos) que frecuentemente mata a los insectos.

**ENTOMOPOXYVIRUS** (Entomopoxvirus): Virus de la familia Poxviridae con forma de ladrillo, DNA de doble cadena y peso molecular de 270 a 320 kb.

**ENZOOTIA** (Enzootic): Enfermedad que se encuentra constantemente en una población de animales, generalmente a bajos niveles.

**EPIDEMIA** (Epidemic): Persistencia excepcional o aparición súbita de una enfermedad en una población de plantas (epifítia) o animales (epizootia).

**EPIFITIA** (Epiphitic): Ver epidemia.

**EPIZOOTIA** (Epizootic): Ver epidemia.

**EPIZOOTIOLOGÍA** (Epizootiology): Estudio de las características, ecología y causas de las enfermedades que aparecen y crecen en forma explosiva en poblaciones de animales.

**ESPECIACIÓN** (Speciation): Proceso evolutivo en el que se genera una nueva especie biológica. Ver especie.

**ESPECIALIZACIÓN** (Specialization): Restricción de las actividades de un organismo o población en su medio ambiente; característica que permite al organismo (o alguno de sus órganos) adaptarse a una función o ambiente particular.

**ESPECIE** (Species): Grupo de individuos capaces de entrecruzamiento y producir descendencia fértil y que bajo condiciones naturales están reproductivamente aislados de otros grupos.

**ESPECIES HERMANAS** (Sibling species): Pares o grupos de especies relacionadas estrechamente, las cuales son reproductivamente aisladas pero morfológicamente idénticas.

**ESPECIFICIDAD** (Specificity): Preferencia de un parasitoide (depredador) por un huésped (presa) y habilidad de discriminar otros.

**ESPÉCIMEN** (Specimen): Individuo representativo de una población.

- ESPORA:** Estructura reproductiva en ciertas bacterias, hongos y protistas, resistente a condiciones adversas del medio ambiente, pero que se activa bajo condiciones favorables.
- ESTABILIDAD (Stability):** Capacidad inherente de un ecosistema para resistir cambios. Los factores estabilizadores, principalmente denso-dependientes actúan de tal manera que mantienen el equilibrio entre las poblaciones y comunidades que conforman el ecosistema. Ver homeostasis.
- ESTADIO (Stadium):** Intervalo de tiempo entre dos mudas sucesivas en los insectos inmaduros. Ver instar.
- ESTADO (Stage):** Una forma definida y distintiva en el desarrollo de los insectos, por ejemplo huevecillo, larva, pupa, adulto.
- ETOLOGÍA (Ethology):** Estudio del comportamiento animal, particularmente en su hábitat natural.
- EVOLUCION (Evolution):** Cambios en la composición genética de una población a través de las generaciones como resultado de la selección natural que actúa sobre la variabilidad genética de los individuos y que trae como consecuencia el desarrollo de una nueva especie. Ver selección natural.
- EXÓTICO (Exotic):** Que no es nativo; traído de otro lugar; foráneo. Opuesto a endémico, nativo, indígena.
- EXOTOXINA (Exotoxin):** Sustancia tóxica que es excretada por un microorganismo al medio que lo rodea, sin causarle daño.
- FACTOR CATASTRÓFICO (Catastrophic factor):** Término utilizado por Howard & Fisk (1911) para referirse a cualquier factor independiente de la densidad. Ver factor facultativo.
- FACTOR CLAVE (Key factor):** El factor más importante en los cambios en la densidad de una población. Ver tabla de vida.
- FACTOR DE MORTALIDAD ABIÓTICO (Abiotic mortality factor):** Factores de mortalidad no vivientes del medio ambiente, como suelo, aire, luz, temperatura y humedad.
- FACTOR DE MORTALIDAD BIÓTICO (Biotic mortality factor):** Factores de mortalidad que incluyen organismos vivientes (parasitoides, depredadores, entomopatógenos).
- FACTOR DETERMINANTE DE LA POBLACIÓN (Population determining factor):** Factor del medio ambiente (luz, temperatura, humedad) que influye directa o indirectamente en la vitalidad, actividad o reproducción de una especie determinada.
- FACTOR FACULTATIVO (Facultative factor):** Término utilizado por Howard & Fisk (1911) para referirse a cualquier factor dependiente de la densidad. Ver factor catastrófico.
- FACTOR LIMITANTE (Limiting factor):** Factor que es independiente de la densidad de una población y que establece el nivel máximo en el que la población puede existir (sitios de oviposición, lugares de protección,

alimento disponible). Siempre existe al menos uno de estos factores con el potencial de limitar una especie en un ecosistema determinado.

**FACTOR REGULADOR** (Regulative factor): Factor cuya acción es determinada por la densidad de la población; se destruye un porcentaje mas alto cuando se incrementa la población y viceversa. (a) *Factor Regulador Primario*: Competencia intraespecífica (misma especie) por un recurso limitado, como alimento o espacio (no incluye el efecto de enemigos naturales). (b) *Factor Regulador Secundario*: Oscilación interespecífica entre la población del parasitoide (depredador) y su huésped (presa).

**FAGOCITO** (Phagocyte): Célula especializada en la sangre (hemolinfa) que devora o encapsula partículas extrañas.

**FAGOCITOSIS** (Phagocytosis): La acción de los fagocitos.

**FAUNA** (Fauna): Conjunto de animales existentes en una región determinada.

**FECUNDIDAD** (Fecundity): Número de huevos que una hembra puede producir en toda su vida. Ver fertilidad.

**FENOLOGÍA** (Phenology): Estudio de los ciclos de vida de un organismo en relación con los factores del medio ambiente.

**FENOTIPO** (Phenotype): Características físicas de un organismo, expresadas de acuerdo a su genotipo, el medio ambiente y la interacción de ambos.

**FEROMONA** (Pheromone): Sustancia secretada al exterior por un organismo (emisor) que provoca una reacción específica en otro organismo (receptor) de la misma especie. Ver semioquímico.

**FERTILIDAD** (Fertility): Número de huevos fértiles que una hembra puede producir en su vida. Ver fecundidad.

**FISIOLOGÍA** (Physiology): Estudio de los procesos físicos y químicos que tienen lugar en los organismos durante la realización de sus funciones vitales.

**FITÓFAGO** (Phytophagous): Que se alimenta de plantas; herbívoro.

**FITOPATÓGENO** (Phytopathogen): Microorganismo que produce una enfermedad en las plantas.

**FLORA** (Flora): Conjunto de plantas o bacterias existentes en una región determinada.

**FORESIS** (Phoresys): Tipo de simbiosis (comensalismo) en la que una especie utiliza a la otra como medio de transporte.

**FOTORRECEPCIÓN** (Photoreception): Recepción de estímulos visuales (ojos simples o compuestos).

**GENERACIÓN** (Generation): Periodo entre un estado de desarrollo determinado y el mismo estado de desarrollo en la descendencia, por ejemplo de huevo a huevo.

**GENERALISTA** (Generalist): Ver polífago.

**GENOTIPO** (Genotype): Constitución genética (genoma) de un organismo.

**GRANULOSIS** (Granulosis): Infección causada por baculovirus del género Granulovirus.



**GRANULOVIRUS** (Granulovirus): Género de baculovirus que contiene sólo un virión en su cuerpo de oclusión. Ataca sólo a lepidópteros.

**GREMIO** (Guild): Grupo de especies con hábitat y nicho ecológico similares.

**HÁBITAT** (Habitat): El lugar donde un organismo vive en forma natural. Ver nicho ecológico.

**HAPLODIPLODÍA** (Haplodiploidy): Forma de determinación del sexo en el que la descendencia de un sexo es haploide y el otro sexo es diploide.

**HEMATÓFAGO** (Haematophagous): El que se alimenta de sangre o hemolinfa.

**HERBÍVORO** (Herbivore): El que se alimenta de plantas; fitófago.

**HIPERMETAMORFOSIS** (Hypermetamorphosis): Condición en que los insectos pasan por un mayor número de estados de lo normal, o cuando adoptan más de una forma larvaria. Ver metamorfosis.

**HIPERPARASITOIDE** (Hyperparasitoid): Sinónimo de parasitoide secundario.

**HOMEOSTASIS** (Homeostasis): Tendencia de los sistemas vivos de mantener sus propios factores reguladores para lograr su estabilidad interna.

**HOMÓLOGOS ECOLÓGICOS** (Ecological homologues): Dos especies alopátricas con nichos ecológicos similares o idénticos, especialmente en relación a la provisión de recursos en cantidades limitadas. Ver ley de Gause.

**HONGO** (Fungus): Organismo heterotrófico con núcleo que se reproduce por esporas, carece de clorofila, se reproduce sexualmente o asexualmente y tiene estructuras somáticas filamentosas y ramificadas rodeadas por una pared celular hecha de celulosa, quitina o ambas.

**HOSPEDERO** (Host): Organismo que alberga a otro como parásito o agente infeccioso. Aunque algunos consideran este concepto como sinónimo de huésped, otros consideran que "hospedero(a)" debe utilizarse al referirse a plantas y "huésped" a animales.

**HUÉSPED** (Host): Ver hospedero.

**HUÉSPED ALTERNATIVO** (Alternate host): Huésped secundario que es utilizado por el parasitoide en la ausencia del huésped primario.

**HUÉSPED FACTICIO** (Factitious host): Huésped diferente al huésped original que se utiliza para la cría artificial de un parasitoide, lo que implica que dicho parasitoide no es monófago.

**IDIOBIONTE** (Idiobiont): Parasitoide que se desarrolla en un estado del huésped en el que no ocurre crecimiento (huevo, larva o pupa) o en un huésped que detiene su crecimiento una vez parasitado, como resultado de la parálisis inducida por la hembra parasitoide al momento de la oviposición. Ver cenobionte.

**IMPORTACIÓN MÚLTIPLE** (Multiple importations): Introducción simultánea o sucesiva de dos o más especies de enemigos naturales exóticos a una región geográfica determinada.

**IN VITRO** (*In vitro*): Latín de "en vidrio". Proceso biológico que se desarrolla en sistemas artificiales (tubos de ensayo, dieta artificial).

**IN VIVO** (*In vivo*): Latín de "en vivo". Proceso biológico que se desarrolla dentro de organismos vivos.

**INDÍGENA** (Indigenous): Nativo; endémico.

**INFECCIÓN** (Infection): Entrada de un microorganismo patógeno a un huésped susceptible.

**INGENIERÍA GENÉTICA** (Genetic engineering): Rama de la biotecnología en la que se aplican técnicas y herramientas para modificar genéticamente un organismo para que adquiera nuevas funciones. Ver biotecnología.

**INMUNIDAD** (Immunity): Habilidad de un organismo para resistir la invasión de un patógeno sin sufrir algún efecto negativo.

**INSECTARIO** (Insectary): Lugar donde se producen insectos masivamente.

**INSECTÍVORO** (Insectivore): El que se alimenta de insectos; entomófago.

**INSECTO** (Insect): Artrópodo de la clase Insecta, en el que el estado adulto se caracteriza por tener tres pares de patas, cuerpo dividido en cabeza, tórax y abdomen y la mayoría de las especies con dos pares de alas. Numerosas especies de insectos son parasitoides o depredadores de otros insectos.

**INSECTO BENÉFICO** (Beneficial insect): Insecto útil al hombre (polinizadores, depredadores, parasitoides, productores de seda, miel y tintes). Opuesto a plaga.

**ÍNSTAR** (Instar): Forma adoptada por un insecto inmaduro entre las diferentes mudas; por ejemplo, el primer instar es la forma adoptada desde la emergencia del huevecillo hasta la primera muda. Ver estadio.

**INTERACCIONES TRITRÓFICAS** (Tritrophic interactions): Interacciones entre la planta, la plaga y los enemigos naturales. Ver comunidad.

**INTERESPECÍFICO** (Interspecific): Interacciones que ocurren entre individuos de diferentes especies.

**INTERFERENCIA MUTUA** (Mutual interference): "*m*" = Interferencia en las actividades de búsqueda y localización de huéspedes (presas) al aumentar la densidad de parasitoides (depredadores). Concepto introducido por Hassell & Varley (1969), quienes rechazaron la idea de Nicholson & Bailey de que el área de descubrimiento ("*a*") era constante.

**INTRAESPECÍFICO** (Intraspecific): Interacciones que ocurren entre individuos de la misma especie.

**INVASIÓN** (Invasion): Expansión de la distribución geográfica original de un organismo. En patología, se refiere a los microorganismos que penetran y se multiplican en un órgano u organismo. Ver exótico.

**IRIDOVIRUS** (Iridovirus): Virus de la familia Iridoviridae. Presentan una partícula viral de forma icosaédrica y son iridiscentes de un color según la especie de virus.

**JUVENIL INFECTIVO** (Infective juvenile): También llamado "larva dauer". Estado inmaduro de los nemátodos rhabditidos que permanecen dentro de la última muda y tienen la capacidad de infectar a sus huéspedes.

- KAIROMONA o KIROMONA** (Kairomone): Sustancia producida o adquirida por un organismo (emisor) que provoca una reacción adaptativa (fisiológica o comportamental) con consecuencia favorable a otro organismo (receptor), pero desfavorable para el emisor.
- KOINOBIONTE o CENOBIONTE** (Koinobiont): Parasitoide que se desarrolla en un huésped que continúa alimentándose y desarrollándose, aún después de parasitado. De esta forma, el parasitoide emerge en otra etapa del huésped en la que fue originalmente parasitado Parasitoides de huevo-larva, larva-pupa, huevo-pupa. Ver Idiobionte.
- LARVIPOSICIÓN** (Larviposition): Condición en que las hembras depositan larvas de primer instar en lugar de huevecillos; larvíparo.
- LEY DE GAUSE** (Gause's law): Principio ecológico que establece que dos o más especies que ocupan el mismo nicho ecológico (homólogos ecológicos) no pueden coexistir indefinidamente en el mismo hábitat (Gause 1934).
- LIBERACIÓN INOCULATIVA** (Inoculative release): Liberación de un número limitado de entomófagos con la esperanza de que se incrementen por sí solos en futuras generaciones. Ver control biológico por aumento.
- LIBERACIÓN INUNDATIVA** (Inundative release): Introducción periódica de una cantidad elevada de un agente biótico (parasitoide, depredador, entomopatógeno) con un efecto más o menos inmediato. Este método de control biológico es análogo a la aplicación de insecticidas. Ver control biológico por aumento.
- MALEZA** (Weed): Plantas que afectan los intereses del hombre en tiempo y espacio no deseados.
- MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS, MIP** (Integrated pest management, IPM): Conjunto de estrategias sustentables para el manejo de plagas en las que se integran las herramientas biológicas, culturales, físicas y químicas para minimizar los riesgos económicos, ambientales y de salud humana. Ver control integrado.
- MECANORRECEPCIÓN** (Mechanoreception): Recepción de estímulos mecánicos (tacto, sonido, cambios de posición) a través de órganos, estructuras o células sensibles (setas, órganos auditivos y receptores de varios tipos).
- MECONIO** (Meconium): Desechos metabólicos en forma de pastilla sólida que los endoparasitoides expulsan poco antes de pupar.
- MEDIO DE CULTIVO** (Medium): Composición nutritiva empleada para el crecimiento y multiplicación de microorganismos (hongos, bacterias).
- METAMORFOSIS** (Metamorphosis): Cambios de forma durante el desarrollo de un insecto; se reconocen varios tipos: Ametábolos (inmaduros son semejantes a los adultos); hemimetábolos (metamorfosis incompleta: huevo, ninfas, adultos); holometábolos (metamorfosis completa: huevo, larva, pupa, adulto); e hipermetábolos (cuando pasan por un mayor número

de estados de lo normal o cuando adoptan más de una forma larvaria). Ver hipermetamorfosis.

**MÉTODO DE EVALUACIÓN** (Evaluation methodology): Metodología para determinar el papel de los enemigos naturales en la regulación de sus huéspedes (presas). Los métodos más comunes son: Adición, exclusión e interferencia.

**MICELIO** (Mycelium): Masa de filamentos que forman la parte vegetativa de un hongo.

**MICÓFAGO** (Mycophagous): Que se alimenta de hongos.

**MICOHERBICIDA** (Mycoherbicide): Hongo formulado que se utiliza para el control de maleza.

**MICOINSECTICIDA** (Mycoinsecticide): Hongo formulado que se utiliza para el control de insectos.

**MICOSIS** (Mycosis): Enfermedad causada por hongos.

**MICOTOXINA** (Mycotoxin): Sustancia tóxica producida por un hongo. Ver Bassianolide y Beauvericina.

**MICROBIOLOGÍA** (Microbiology): Estudio de microorganismos (hongos, bacterias, virus, protozoarios, protistas, rickettsias, nemátodos).

**MICROSPORIDIOSIS** (Microsporidiosis): Enfermedad causada por microsporidios.

**MICROTIPO** (Microtype): Tipo de huevo diminuto que es depositado por la hembra en lugares separados del huésped y que debe ser ingerido antes que la larva del parasitoide eclosione.

**MODELO** (Model): Representación gráfica o matemática de un sistema.

**MONÓFAGO** (Monophagous): Organismo que utiliza solamente una planta o animal como huésped o presa. Opuesto a polífago.

**MONÓGENO** (Monoxenous): Organismo que requiere solamente un huésped para completar satisfactoriamente su ciclo de vida.

**MORTALIDAD APARENTE** (Aparent mortality): Mortalidad que ocurre en una edad específica (estado, estadio). Se calcula al dividir el número de individuos que mueren durante una clase de edad determinada ( $dx$ ) sobre el número de individuos que habían entrado a dicha clase de edad ( $lx$ ).

**MORTALIDAD COMPENSATORIA** (Compensatory mortality): Suma de la mortalidad de un huésped (presa) por la acción de dos o más parasitoides (depredadores) en un mismo hábitat.

**MORTALIDAD INDISPENSABLE o IRREEMPLAZABLE** (Indispensable mortality): Parte de la mortalidad generacional que no habría ocurrido si algún factor de mortalidad determinado hubiera sido removido y después haber permitido la acción de factores de mortalidad subsecuentes. Es decir, es la mortalidad "pura" causada por un factor en una edad específica sin el efecto de "dilución" que ocasionan otros factores de mortalidad en edades subsecuentes.

- MORTALIDAD REAL** (Real mortality): Mortalidad que ocurre en una edad específica (estado, estadio) en relación al número inicial de individuos de la generación. Se calcula al dividir el número de muertos en la clase de edad ( $dx$ ) sobre el número de individuos que iniciaron la generación.
- MULTIVOLTINO** (Multivoltine): Especie que completa dos o más generaciones al año. Ver bivoltino, univoltino.
- MUSCARDINA BLANCA** (White muscardine): Enfermedad causada por el hongo *Beauveria bassiana*.
- MUSCARDINA VERDE** (Green muscardine): Enfermedad causada por el hongo *Metarhizium anizopliae*.
- MUTUALISMO** (Mutualism): Ver simbiosis.
- NATIVO** (Native): Originario de un país o región determinada; endémico; indígena.
- NECRÓFAGO** (Necrophagous): Que se alimenta de animales muertos, es decir de carroña. Ver saprófago.
- NEMÁTODO** (Nematode): Microorganismo fusiforme de cabeza redonda, aparato bucal terminal y cola generalmente terminada en punta. Su metamorfosis es gradual y cuentan con tres estados de desarrollo (huevo, larva, adulto). Muchas especies son parásitos de insectos y algunas se encuentran disponibles comercialmente para el control de plagas. Su actividad está asociada con bacterias.
- NEMATÓFAGO** (Nematophagus): Que se alimenta de nemátodos.
- NEMATOLOGÍA** (Nematology): Estudio de los nemátodos.
- NEONATO** (Neonate): Recien nacido. En insectos, se refiere al primer instar (larva, ninfa) durante las primeras horas.
- NICHO ECOLÓGICO** (Ecological niche): El lugar que un organismo ocupa en el medio ambiente en relación con los factores físicos y bióticos, y determinado con base en sus adaptaciones estructurales, ajustes fisiológicos y patrones de comportamiento desarrollados. El nicho es la "ocupación" de un organismo, mientras que el hábitat es su "dirección". Ver hábitat.
- NIVEL DE DAÑO ECONOMICO** (Economic injury level): Densidad mínima de una plaga que causa pérdidas económicas, o la densidad que causa daños equivalentes al costo del control.
- NIVEL TRÓFICO** (Trophic level): Posición de un organismo en la cadena alimenticia, determinado por el número de pasos de transferencia de energía: 1= productor (planta); 2= herbívoro (insecto defoliador); 3= 1er carnívoro (parasitoide primario); 4= 2do carnívoro (hiperparasitoide).
- NUCLEOCÁPSIDE** (Nucleocapsid): El conjunto de ácido nucléico y cápside en un virus.
- NUEVA ASOCIACIÓN** (New association): Un enemigo natural y un huésped/presa que no coevolucionaron y que ahora tienen una asociación reciente. Ver control biológico neoclásico.

- OLIGÓFAGO** (Oligophagous): Organismo que utiliza un número limitado de plantas o animales como huéspedes o presas.
- OMNÍVORO** (Omnivorous): El que se alimenta indistintamente de materia de origen animal o vegetal.
- OÓFAGO** (Oophagous): El que se alimenta de huevos.
- ORGANISMO** (Organism): Forma individual de vida, como una planta, animal, bacteria, hongo. Cuerpo compuesto de órganos, organelos y otras partes que funcionan en conjunto para llevar a cabo varios procesos de vida.
- ORGANISMO GENÉTICAMENTE MODIFICADO, OGM** (Genetically modified organism, GMO): Organismo cuyo material genético ha sido alterado por el hombre con algún objetivo en particular. Ver ingeniería genética.
- OVÍPARO** (Oviparous): Reproducción por medio de huevos.
- OVISORCIÓN** (Ovisorption): Condición en la que una hembra sinovigénica absorbe los huevos maduros en los ovarios al no obtener alimento o no encontrar a su huésped por un periodo de tiempo prolongado. Ver sinovigénica.
- OVOVIVÍPARO** (Ovoviviparous): Reproducción por medio de la deposición de inmaduros los cuales se originaron de huevos que eclosionaron dentro del oviducto materno. Ver larviposición.
- PANZOOTIA** (Panzootics): Existen dos connotaciones: a) Distribución de una enfermedad en toda o casi toda la población de animales; b) Distribución de una enfermedad a nivel mundial.
- PARASÍTICA** (Parasítica): División del Orden Hymenoptera que incluye las familias de avispas parasitoides, como Braconidae, Trichogrammatidae y Aphelinidae. Ver Aculeata.
- PARASITISMO** (Parasitism): La acción de parasitar, es decir la utilización de un individuo (huésped) por otro (parásito o parasitoide) para satisfacer sus necesidades alimenticias. Ver simbiosis, parásito, parasitoide.
- PARASITISMO FACULTATIVO** (Facultative parasitism): Acción en la que un organismo puede parasitar un huésped, o alimentarse y completar su desarrollo de alguna otra manera si no encuentra huéspedes disponibles. Ver parasitismo obligado.
- PARASITISMO MÚLTIPLE** (Multiparasitism): La utilización simultánea de un huésped por dos o más especies de parasitoides primarios. Por lo general solamente un parasitoide sobrevive.
- PARASITISMO OBLIGADO** (Obligate parasitism): Parasitoides que tienen una relación estrictamente parasítica con su huésped para completar su desarrollo; no pueden prescindir de su huésped para desarrollarse y reproducirse. Ver parasitismo facultativo.
- PARÁSITO** (Parasite): Especie animal que se alimenta (dentro o afuera) de otro animal más grande (huésped) al que generalmente no mata. Ver parasitoide.

- PARASITOIDE** (Parasitoid): Insecto parásito de otro artrópodo. Es parasítico solamente durante los estados inmaduros, los que destruyen el huésped durante el proceso de desarrollo; vive libremente en el estado adulto. También llamado parásito proteleano (protelean parasite). El término parásito se ha utilizado como sinónimo de parasitoide, pero existen diferencias importantes entre estos dos conceptos. Ver parásito.
- PARASITOIDE GREGARIO** (Gregarious parasitoid): Que se desarrolla en grupos de dos o más por huésped. Opuesto de parasitoide solitario.
- PARASITOIDE PRIMARIO** (Primary parasitoid): Que se desarrolla en un huésped que no es a su vez parasitoide.
- PARASITOIDE SECUNDARIO** (Secondary parasitoid): Que se desarrolla en un huésped que a su vez es parasitoide. También llamado hiperparasitoide.
- PARASITOIDE SOLITARIO** (Solitary parasitoid): Que se desarrolla en forma individual del huésped (un parasitoide por huésped). Opuesto de parasitoide gregario.
- PARTENOGENÉISIS** (Parthenogenesis): Reproducción asexual; desarrollo de huevos sin fertilización. Ver arrenotoquia, deuterotoquia y telitoquia.
- PATOGENICIDAD** (Pathogenic): Capacidad de producir enfermedad.
- PATÓGENO** (Pathogen): Microorganismo capaz de causar una enfermedad a otro organismo.
- PATÓGENO FACULTATIVO** (Facultative pathogen): Microorganismo capaz de desarrollarse y reproducirse ya sea en medios inertes u organismos vivientes; en este último caso, puede presentarse una condición de enfermedad del huésped.
- PATÓGENO OBLIGADO** (Obligate pathogen): Microorganismo que sólo es capaz de desarrollarse y reproducirse en organismos vivientes (huéspedes) e incapaz de sobrevivir en medios inertes (medios de cultivo).
- PATOLOGÍA** (Pathology): Estudio de las enfermedades causadas por patógenos.
- PATOTIPO** (Patotype): Variedad, cepa o serotipo de un patógeno.
- PER OS** (*Per os*): Por vía oral. Tipo de infección en la que el patógeno infecta por vía oral.
- PLAGA** (Pest): Organismo que interfiere con las actividades y propósitos del hombre.
- PLAGA DIRECTA** (Direct pest): Organismo que ocasiona un daño directo e inmediato al producto que se comercializa, como por ejemplo una fruta. Los daños pueden ser significativos incluso a bajas densidades de la plaga.
- PLAGA INDIRECTA** (Indirect pest): Organismo que ocasiona un daño indirecto al producto que se comercializa, como la raíz y el tallo. Las pérdidas indirectas se derivan de la reducción en vigor y desarrollo.
- PLAGUICIDA** (Pesticide): Sustancia química utilizada para eliminar un organismo nocivo y puede ser insecticida (insectos), fungicida (hongos),

bactericida (bacterias), herbicida (maleza), rodenticida (roedores), nematocida (nemátodos) o acaricida (ácaros).

**PLANIDIA** (Planidium): Tipo de larva del primer ínstar en el Orden Hymenoptera con el cuerpo quitinizado y cubierto de setas que tienen funciones locomotoras.

**POBLACIÓN** (Population): Individuos de una misma especie que ocupan una área suficiente para reproducirse y mantener continuidad en tiempo y que muestran algunas características como crecimiento, dispersión, fluctuación, distribución y variabilidad genética.

**POISSON** (Poisson distribution): Modelo matemático que por sus propiedades satisface las condiciones ecológicas de un organismo dispuesto al azar en el espacio. Ver disposición espacial.

**POLIEDROSIS** (Polyhedrosis): Infección causada por virus de poliedrosis nuclear (Baculoviridae) o poliedrosis citoplásmica (Reoviridae).

**POLIEMBRIONÍA** (Polyembryony): Condición en la que los huevecillos se dividen y producen descendencia múltiple del mismo sexo.

**POLÍFAGO** (Polyphagous): Organismo que utiliza una gran variedad de plantas o animales como huéspedes o presas. También llamado generalista. Opuesto a monófago.

**POLIMORFISMO** (Polymorphism): Cuando existen varias formas diferentes (color, forma) entre individuos de la misma especie, por ejemplo en insectos sociales (obreros, soldados, sexuales). Ver dimorfismo.

**POLYDNAVIRUS** (Polydnavirus): Familia de virus entomopatógenos que se caracterizan por infectar solamente a himenópteros endoparasitoides.

**POLYHEDROVIRUS** (Polyhedrovirus): Virus de poliedrosis nuclear. Género de baculovirus que contiene varios viriones dentro de su cuerpo de oclusión.

**POSICIÓN GENERAL DE EQUILIBRIO** (General equilibrium position): Densidad promedio de una población a través del tiempo, que no es afectada por medidas de control temporales. La población fluctúa alrededor de su nivel medio por el efecto de factores dependientes de la densidad (enemigos naturales).

**PRENSIL** (Raptorial): Tipo de pata de un insecto depredador modificada para capturar presas, como en los mántidos.

**PREOVIPOSICIÓN** (Preoviposition): Periodo entre la emergencia de las hembras y el inicio de la oviposición.

**PRESA** (Prey): Organismo que es capturado y consumido total o parcialmente por un depredador.

**PRINCIPIO DE HOPKINGS SOBRE LA SELECCIÓN DEL HUÉSPED** (Hopkins host selection principle): Teoría que establece que las hembras prefieren ovipositar sobre la misma especie de huésped donde ellas se criaron.



- PRODUCTOR.** Organismo capaz de convertir la energía que fija del Sol en energía química, elaborando compuestos con carbono ricos en energía.
- PRODUCTOR PRIMARIO.** Organismo que fija la energía solar y transforma sustancias inorgánicas (agua y sales minerales) en orgánicas (glúcidos, lípidos y prótidos). Las algas y los vegetales verdes realizan esta función.
- PROOVIGÉNICA** (Proovigenic): Hembra que al emerger cuenta con su dotación completa de huevecillos; la alimentación de las hembras no es indispensable para cumplir con la función de oviposición. Opuesto a sinovigénica.
- PROTOZOARIO** (Protozoan): Microorganismo eucariótico monocelular del reino Protista, calificados como los "primeros animales". Muchas especies de protozoarios son parásitos de insectos.
- QUIMIORRECEPCIÓN** (Chemoreception): Recepción de estímulos químicos por medio de órganos o células sensibles (antenas, tarsos, partes bucales)
- QUIMIOTAXIS, QUIMIOTROPISMO** (Chemotaxis, Chemotropism): Reacción a estímulos químicos.
- RAZA** (Race): Variedad de una especie; subespecie; biotipo.
- REGULACIÓN POBLACIONAL** (Population regulation): Ver factor regulador.
- REGULADOR DEL CRECIMIENTO DE INSECTOS** (Insect growth regulator): Sustancia, natural o sintética, que controla o modifica el crecimiento de los insectos.
- REOVIRUS** (Reovirus): Virus de la familia Reoviridae, conocidos como virus de la poliedrosis citoplásmica o cypovirus, debido a que presentan un cuerpo de oclusión isométrico, semejando los poliedros de baculovirus, pero de mayor tamaño.
- RESISTENCIA A LOS INSECTICIDAS** (Insect resistance): Facultad de algunas razas o biotipos de insectos para soportar dosis de insecticidas normalmente letales. Dicha facultad resulta de la selección de individuos tolerantes de una población por la exposición a los insecticidas durante varias generaciones.
- RESISTENCIA AMBIENTAL** (Environmental resistance): Suma de todos los factores de mortalidad (abióticos y bióticos) en el medio ambiente que limitan a un organismo expresar su máxima capacidad de reproducirse.
- RESISTENCIA DE PLANTAS A INSECTOS** (Insect host plant resistance): Habilidad genética de cierta variedad (cultivar) para producir un mayor rendimiento o mejor calidad que otras variedades bajo las mismas condiciones de infestación de plagas. Existen tres mecanismos de resistencia: Antibiosis, antixenosis y tolerancia.
- RESPUESTA FUNCIONAL** (Functional response): La respuesta en el comportamiento de un individuo (parasitoide o depredador) a cambios en la densidad de su huésped (presa); una respuesta positiva significa un mayor consumo al incrementar el número de huéspedes (presas) y viceversa.

- RESPUESTA NUMÉRICA** (Numerical response): La respuesta (reproducción, migración, supervivencia) de la población de un parasitoide (depredador) que resulta de los cambios en la densidad del huésped (presa); una respuesta positiva significa una mayor reproducción, supervivencia e inmigración al incrementar el número de huéspedes (presas) y viceversa.
- RESPUESTA TOTAL** (Total response): Acción combinada de las respuestas funcional y numérica. Ver respuesta funcional, respuesta numérica.
- RESURGENCIA DE PLAGAS** (Pest resurgence): El resurgimiento rápido de una plaga después de la aplicación de insecticida, que destruyó también los enemigos naturales que regulan la plaga. Ver control.
- RETROALIMENTACION GENÉTICA** (Genetic feedback): Concepto propuesto por Pimentel (1961), el cual hipotetiza que la presión que ejerce un parasitoide (depredador) provoca un cambio genético en el huésped (presa) el cual resulta mejor adaptado a resistir o tolerar el ataque. En la práctica del control biológico, este concepto supone que los enemigos naturales importados a una región determinada perderían paulatinamente su efectividad para regular al huésped (presa).
- RICKETTSIA** (Rickettsia): Parásito intracelular obligado de artrópodos, algunos de los cuales son también patogénicos al humano y otros animales. Se les considera intermedios entre bacterias y virus por poseer características de ambos.
- SAPRÓFAGO** (Saprophagous): Organismo que se alimenta de materia en descomposición (cadáveres, excremento, troncos muertos). Ver necrófago.
- SAPRÓFITO** (Saprophyte): Organismos tales como hongos y bacterias que se nutren de materia en descomposición.
- SARCÓFAGO** (Sarcophagous): Carnívoro.
- SELECCIÓN NATURAL** (Natural selection): Proceso natural que de acuerdo a la teoría evolutiva de Darwin, los organismos mejor adaptados a su medio ambiente son los que sobreviven y heredan sus genes a las futuras generaciones, mientras que los menos adaptados tienden a ser eliminados. Ver evolución.
- SELECCIÓN *r-K*** (*r*- and *K*-seleccion): Expresiones alternativas de selección en características que determinan fecundidad y supervivencia para favorecer un crecimiento rápido a bajas densidades de población (*r*) o la habilidad competitiva a densidades cercanas a la capacidad máxima de soporte (*K*).
- SELECTIVIDAD ECOLÓGICA** (Ecological selectivity): Uso de insecticidas de amplio espectro en una forma selectiva.
- SELECTIVIDAD FISIOLÓGICA** (Physiological selectivity): Uso de insecticidas selectivos, es decir con un efecto mayor sobre las plagas que sobre los enemigos naturales.
- SEMIOQUÍMICO** (Semiochemical): Sustancia involucrada en la interacción química entre organismos; existen dos tipos: Feromonas (entre organismos

de la misma especie) y Aleloquímicos (entre organismos de especies diferentes).

**SEPTICEMIA** (Septicemia): Invasión y multiplicación de un microorganismo en la sangre o hemolinfa, con la subsecuente producción de toxinas que provoca la muerte del huésped.

**SEROTIPO** (Serotype): Variedad o cepa de un microorganismo, que se distingue de otro generalmente por su actividad inmunológica.

**SIMBIOSIS** (Symbiosis): Dos o más especies que viven juntas en estrecha asociación: (a) *Mutualismo* (las dos especies se benefician); (b) *Comensalismo* (una especie se beneficia sin afectar a la otra); (c) *Parasitismo* (una especie se beneficia, afectando de manera adversa a la otra); (c) *Antagonismo* (las dos especies sufren efectos adversos).

**SIMPÁTRICO** (Sympatric): La condición de dos o más especies (poblaciones) que habitan en la misma área geográfica. Ver alopátrico.

**SINCRONÍA** (Synchrony): Coincidencia en tiempo entre la etapa fenológica susceptible del huésped con la del adulto parasitoide.

**SINOMONA** (Synomone): Sustancia producida y transmitida de un organismo (emisor) a otro (receptor), que provoca una respuesta benéfica para ambos. Ver aleloquímico, semioquímico.

**SINOVIÉNICA** (Synovigenic): Hembra que al emerger requiere de un período de preoviposición mientras sus huevecillos se desarrollan y maduran; por lo general, las hembras requieren alimentarse para producir sus huevecillos. Opuesto a proovigénica.

**SISTEMÁTICA** (Systematics): Estudio de la diversidad biológica y las interrelaciones (filogenéticas y biológicas) entre los organismos. La Taxonomía forma parte de la Sistemática. Ver Taxonomía.

**SUPERIORIDAD EXTRÍNSECA** (Extrinsic superiority): Ver competencia extrínseca.

**SUPERIORIDAD INTRÍNSECA** (Intrinsic superiority): Ver competencia intrínseca.

**SUPERPARASITISMO** (Superparasitism): La utilización simultánea de un huésped por más parasitoides de la misma especie de los que normalmente completarían su desarrollo. Algunos de los parasitoides mueren o se desarrollan anormalmente debido a las limitaciones nutricionales. Ver parasitismo múltiple.

**TABLA DE VIDA** (Life table): Método para expresar ordenadamente las observaciones sobre los cambios en la densidad de una población de insecto en tiempo y espacio, y los procesos que ocasionan dichos cambios, especialmente en relación con los factores que ocasionan mortalidad en cada edad específica. Ver factor clave.

**TASA NETA DE REPRODUCCION** (Net reproductive rate): " $R_0$ " = Número promedio de hijas que cada hembra produce durante toda su vida.

**TAXÓN** (Taxa): Unidad de clasificación como especie, género, familia, orden, clase y phylum.

**TAXONOMÍA** (Taxonomy): Teoría y práctica de nombrar y describir a los organismos vivos y proveer de sistemas de clasificación y claves. Algunos la consideran sinónimo de Sistemática y otros como parte de ésta. Ver Sistemática.

**TÉCNICA DEL INSECTO ESTÉRIL** (Sterile-insect technique): Método genético para suprimir (extinguir) poblaciones de plagas, en el que se liberan insectos estériles para obstruir su fertilización.

**TELITOQUIA** (Thelytoky): Reproducción partenogénica en la que la progenie esta compuesta solamente de hembras uniparentales. Ver partenogénesis.

**TIEMPO DE MANIPULACIÓN** (Handling time): El tiempo que tarda un parasitoide (depredador) en parasitar (depredar) un huésped (presa) en relación con el tiempo total de búsqueda. En teoría, el tiempo de manipulación se incrementa al aumentar la densidad del huésped (presa) lo que provoca una disminución en el porcentaje de parasitismo (depredación).

**TIEMPO GENERACIONAL** (Generation time): Tiempo promedio entre dos generaciones sucesivas.

**TOXEMIA** (Toxemia): Diseminación de toxinas en la sangre o hemolinfa.

**TRANSGÉNICO** (Transgenic): Organismo al que se le ha integrado material genético de otro(s) organismo(s).

**TRANSMISIÓN HORIZONTAL** (Horizontal transmission): Transmisión de un patógeno a los individuos coexistentes.

**TRANSMISIÓN VERTICAL** (Vertical transmission): Transmisión de un patógeno a la descendencia.

**TRANSOVÁRICA** (Transovarian): Tipo de transmisión trans-ovum en la que el patógeno se introduce al ovario y se integra al huevo desde la oogénesis.

**TRANS-OVUM** (Trans-ovum): Tipo de transmisión vertical de un patógeno por la vía del huevo.

**TROFAMNIÓN** (Trophamnion): Membrana que cubre los huevecillos de algunos insectos parasitoides, especialmente los que exhiben poliembrionía; la membrana es capaz de absorber nutrientes del huésped.

**TRÓFICO** (Trophic): Relativo a la nutrición. Ver nivel trófico.

**UMBRAL DE DAÑO ECONÓMICO** (Economic threshold): Densidad de una plaga en la que deben aplicarse medidas de control para evitar que se alcance el nivel de daño económico.

**UNIVOLTINO** (Univoltine): Organismo que completa una generación anualmente. Ver bivoltino, mutlivoltino.

**VECTOR** (Vector): Organismo que transmite algún patógeno.

**VIRIÓN** (Virion): Mínima unidad infectiva de un virus. En los virus que son envueltos, el virón está compuesto por la nucleocápside y la envoltura.

**VIROLOGÍA** (Virology): Estudio de los virus y las enfermedades virales.

- VIRULENCIA** (Virulence): Capacidad relativa de un microorganismo para causar daño al huésped o alguno de sus órganos o tejidos.
- VIRUS** (Virus): Microorganismos infecciosos constituidos de ácidos nucleicos (ADN o ARN) y proteínas, capaces de crecer y multiplicarse solamente en células vivas y causantes de enfermedades en plantas y animales.
- VIRUS DE POLIEDROSIS NUCLEAR** (Nuclear polyhedrosis virus): Tipo de baculovirus que puede ser utilizado para el control de insectos, principalmente lepidópteros. Se caracteriza por la producción de cuerpos de inclusión en forma de poliedros en el núcleo de las células infectadas que contienen varios viriones. Ver Polyhedrovirus.
- VIRUS IRIDISCENTE** (Iridescent virus): Virus icosaédricos de la familia *Iridoviridae*, causantes de diversas enfermedades en lepidópteros, dípteros y coleópteros.
- VIVÍPARO** (Viviparous): Reproducción por medio de la deposición de inmaduros que se desarrollan dentro de la madre sin originarse de huevo.
- ZOOGEOGRAFÍA** (Zoogeography): Estudio de la distribución territorial de los animales.
- ZOOLOGÍA** (Zoology). Rama de la Biología que estudia los animales.

### **Agradecimientos**

Se agradece profundamente las sugerencias y comentarios a las definiciones vertidas en este glosario por los siguientes colegas: M.C. César A. Ángel Sahagún (Universidad de Colima), Dr. Héctor M. Cortinas Escobar (INIFAP), Dr. Juan F. Barrera Gaytán (ECOSUR), Dr. Jorge Ibarra Rendón (CINVESTAV-Irapuato), Dr. Julio S. Bernal (Texas A&M University), Dr. Víctor M. Hernández Velázquez (Universidad Autónoma del Estado de Morelos) y M.C. Hugo C. Arredondo Bernal (Centro Nacional de Referencia de Control Biológico, DGSV).

### **LITERATURA CONSULTADA**

- Askew, R. R. 1971. Parasitic insects. American Elsevier, New York. 316 p.
- Badii, M. H., A. E. Flores y L. J. Galán (eds.). 2000. Fundamentos y perspectivas de control biológico. Universidad Autónoma de Nuevo León, México. 462 p.
- Clausen, C. P. 1940. Entomophagous insects. McGraw-Hill, New York. 688 p.
- Coppel, H. C. and J. W. Mertins. 1977. Historical, theoretical and philosophical basis of biological insect pest suppression. *In*: Biological Insect Pest Supression. Springer-Verlag, Advanced Series in Agricultural Sciences. pp. 14-34.
- DeBach, P. 1974. Biological control by natural enemies. Cambridge Univ. Press. 323 p.

- Doutt, R. L. and P. DeBach. 1964. Some biological control concepts and questions. *In*: P. DeBach (ed.), *Biological Control of Insect Pests and Weeds*. Chapman and Hall, London. pp. 118-142.
- Frank, J. H. and J. L. Gillett. 2006. Glossary of expressions in biological control. Publication No. IPM-143. Entomology and Nematology Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. 16 p.
- Franz, J. M. 1960. Definitions in biological control. *Proc. 11th Int. Congr. Ent. (Vienna)*. pp. 670-674.
- Gause, G. J. 1934. *The struggle for existence*. Williams and Wilkins, Baltimore.
- Gordh, G. and D. H. Headrick. 2001. *A dictionary of entomology*. CABI, New York. 1032 p.
- Hassell, M. P. and G. C. Varley. 1969. New inductive population model for insect parasites and its bearing on biological control. *Nature* 223: 1133-1137.
- Hassell, M. P. and J. K. Waage. 1984. Host-parasitoid population interactions. *Ann. Rev. Entomol.* 29: 89-114.
- Hoffmann, M. P. and A. C. Frodsham. 1993. *Natural enemies of vegetable insect pests*. Cooperative Extension, Cornell University, Ithaca, NY. 63 p.
- Holling, C. S. 1961. Principles of insect predation. *Ann. Rev. Entomol.* 6: 163-182.
- Howard, L. O. and W. F. Fiske. 1911. The importation into the United States of the parasites of the gipsy moth and the brown-tail moth. *U.S. Dept. Agr. Bur. Entomol. Bull.* 91. 312 p.
- Huffaker, C. B., R. F. Luck, and P. S. Messenger. 1977. The ecological basis of biological control. *Proc. XV Internat. Cong. Entomol., Washington, D.C. Aug. 19-27, 1976*. pp. 560-586.
- Nicholson, A. J. 1933. The balance of animal populations. *J. Anim. Ecol., Suppl. To Vol. 2*: 132-178.
- Pimentel, D. 1961. Animal population regulation by the genetic feed-back mechanism. *Amer. Nat.* 95: 65-79.
- Rodríguez-del-Bosque, L. A. y R. Alatorre (eds.). 1991. *Memorias del II Curso Nacional de Control Biológico*. Sociedad Mexicana de Control Biológico. Saltillo, Coah., México. 7-9 Octubre, 1991. 156 p.
- Ricklefs, R. E. 1973. *Ecology*. Chiron Press, Portland. 861 p.
- Smith, H. S. 1935. The role of biotic factors in the determination of population densities. *J. Econ. Entomol.* 28: 873-989.
- Solomon, M. E. 1949. The natural control of animal populations. *J. Anim. Ecol.* 18:1-35.
- Summy, K. R. and J. V. French. 1988. Biological control of agricultural pests: Concepts every producer should understand. *J. Rio Grande Hort. Soc.* 41: 119-133.
- Torre-Bueno, J. R. 1985. *A glossary of entomology*. New York Entomological Society. 336 p.
- van Emden, H. F. and G. F. Williams. 1974. Insect stability and diversity in agro-ecosystems. *Ann. Rev. Entomol.* 19: 455-475.
- Varley, G. C. and G. R. Gradwell. 1970. Recent advances in insect population dynamics. *Ann. Rev. Entomol.* 15: 1-24.