

Manejo Ecológico de Plagas

Nilda Pérez Consuegra

Primera impresión, mayo 2004

ISBN: 959-246-083-3

La Habana, Cuba

© Nilda Pérez Consuegra

© CEDAR. Centro de Estudios de Desarrollo Agrario y Rural

Reservados todos los derechos

Foto de portada: Luciano Rovesti

Diseño: José Diago López

Editor Ejecutivo: Agustín García Marrero

Impreso en la Unidad de Producciones Gráficas del MINREX



Centro de Estudios de Desarrollo Agrario y Rural-CEDAR.
Universidad Agraria de La Habana Autopista Nacional, km
23, San José, La Habana, Cuba

A mima, Marcel y Montano por su paciencia

Muchas personas han contribuido de formas muy diferente durante el proceso de realización de esta obra, mi más profundo agradecimiento a todos.

En la revisión técnica del libro, en parte o completa, participaron Elio del Pozo, Dagoberto Mederos, Benedicto Martínez, Esperanza Rijo, Moraima Surís, Rosa Orellana y Zoila Fundora. En especial muchas gracias a Miguel Altieri y a Peter Rosset por el prólogo y a Luis Vázquez por la introducción. A los colegas del Centro de Estudios de Desarrollo Agrario y Rural por su ayuda y en lo personal a su Director Rafael Ojeda por su confianza y el gran apoyo que me prestó.

A Jorge Delgado y Luciano Rovesti por su trabajo fotográfico. A Teresa Morales que hizo fácil lo difícil, ella me entiende. A María Julia Sánchez y Mayra Echemendía por sus ojos y sus manos. A Gianco Acosta por la logística electrónica.

A los que ayudaron desde el exterior: Mónica Cortés, mi amiga chilena; Martín Bourque; Raúl Venegas y Alda Rodríguez, mi amiga uruguaya, por su ejemplo. A los miembros de RAP-AL por todo lo que he aprendido al lado de ellos. A Clara I. Nicholls.

A los que me alentaron: Eduardo Freyre, Rafael Joa, la familia Funes- Monzote, Antonio Casanova, Eolia Treto, Esteban González, Eulogio Muñoz, José R. Capó y María de los A. Ortega, Alfredo Roque, al colectivo de la Dirección Nacional de ACTAF, a los guajiros del proyecto SANE Miguel Báez y José M. Febles.

A todos lo que por ingratitud de mi memoria no están aquí.

PRÓLOGO

El libro Manejo Ecológico de Plagas de la profesora Nilda Pérez Consuegra de la Universidad Agraria de La Habana es un texto pionero en América Latina que describe las bases de un enfoque ecológico del manejo de plagas, y representa una evolución clara más allá de los conceptos clásicos del Manejo Integrado de Plagas (MIP) que la mayoría de las veces no ha significado más que un mero manejo inteligente de plaguicidas.

Lo más importante de esta obra es que se construye a través de una recopilación detallada y rigurosa de la experiencia cubana en el tema del control biológico y manejo de plagas, que data de más de 60 años, pero que a partir del período especial se intensificó a niveles no alcanzados por ningún otro país en el Mundo.

La profesora Nilda Pérez es una de las personas más capacitadas para realizar esta sistematización y darle una proyección práctica bajo un nuevo paradigma agroecológico. Ella sin lugar a dudas ha realizado una importante contribución con sus conocimientos, su dedicación a la búsqueda de una agricultura más sustentable, y su impacto concreto en la producción en su país y en los otros países en donde ha prestado asesoramiento.

Con la publicación de esta obra se da paso a una nueva serie de prácticas de Manejo Ecológico de Plagas que se sustentan en la teoría y en los principios de la ecología y en la práctica y la teoría del control biológico, del control microbial de artrópodos y fitopatógenos y en su integración con las prácticas culturales auspiciadas por la agricultura orgánica y la agroecología.

Esta base agroecológica es ilustrada y sustentada por una serie de estudios de caso, que parten de la experiencia y aportes de la autora, y donde se analizan las fases metodológicas de manejo y la implementación de la integración de estrategias que conllevaron a la regulación exitosa de las plagas y enfermedades de los cultivos en cuestión. Cada estudio de caso sistematiza los principios que explican el éxito, así

como las lecciones aprendidas de manera que estas experiencias sean replicadas y escalonadas en otras regiones.

Como la autora enfatiza, el Manejo Ecológico de Plagas va mas allá de las recetas que caracterizaron al MIP, y lo que destaca son principios que se pueden difundir, pero que toman formas tecnológicas específicas de acuerdo a las condiciones agroecológicas y socio-económicas de cada región, respetando la heterogeneidad de cada lugar y las necesidades y deseos de los agricultores, por lo que la participación de los campesinos en el proceso de investigación e implementación del Manejo Ecológico de Plagas es esencial.

Este libro entrega importantes elementos a considerar en el Manejo Ecológico de Plagas, como:

- *entender por que los insectos y enfermedades alcanzan proporciones epidémicas en ciertos agroecosistemas.*
- *entender por que los agroecosistemas se tornan susceptibles a las invasiones de plagas.*

De acuerdo a estos elementos, entonces la atención no está ya tanto sobre la biología y etología del insecto, si no más bien en como mejorar la inmunidad del agroecosistema y en como fomentar y utilizar los elementos de la biodiversidad funcional (depredadores, parasitoides, entomopatógenos, antagonistas, etc.) para prevenir y regular las poblaciones de organismos nocivos.

No hay duda de que este libro será de suma importancia para la formación de los futuros profesionales del agro, quienes fortificados con una fuerte base agroecológica, serán capaces de ayudar a los agricultores a diseñar agroecosistemas productivos, que conserven la biodiversidad y los recursos naturales, que fomenten la seguridad alimentaria, y que generen una agricultura más justa socialmente y sustentable.

Miguel A. Altieri, Ph.D.
Universidad de California, Berkeley

Peter M. Rosset, Ph.D.
Centro de Estudios de las Américas (CENSA)
Universidad de California, Berkeley

INTRODUCCIÓN

El paradigma agroecológico, como alternativa a los problemas causados por el uso no racional de los plaguicidas químicos, entre otros problemas relacionados con la agricultura intensiva, ha adquirido una mayor dimensión en el sector agrario a nivel mundial.

Además, las exigencias del mercado se han modificado, para transitar del concepto estrecho en que la calidad era sinónimo de presencia, tamaño y sabor, hacia un nuevo criterio de calidad, en que adquiere mayor importancia el proceso de producción-comercialización y la inocuidad, básicamente que se hayan producido y comercializado bajo condiciones orgánicas.

Sin dudas, se aprecia una mayor concientización a escala mundial sobre el impacto ambiental y social de la producción agraria quimizada, independientemente de que en muchos sectores se evalúa como racional seguir empleando los agroquímicos bajo un riguroso manejo y para determinadas producciones.

Desde luego, en los círculos científicos se defienden con mucha fuerza las diferentes tendencias, sean agroecológicas, agroquímicas e incluso de la biotecnología, esta última liderada por la gran polémica sobre el uso de cultivos transgénicos.

Independientemente de estos análisis, la realidad es que el agronegocio se ha convertido en un factor de grandes impactos sociales, por el alto nivel de repercusión que tiene sobre los agricultores, principalmente los de bajas economías, llegando a afectar zonas agrícolas, países y regiones del mundo.

En particular el manejo de los problemas fitosanitarios tiene una gran connotación, pues se ha acumulado mucha experiencia y existen diversidad de tecnologías, desde las más intensivas y de altos insumos externos, hasta las sostenibles, con un alto nivel de autosuficiencia por el productor.

Esto significa que el agricultor enfrenta actualmente disímiles incertidumbres respecto a lo que a él le gustaría, quiere y puede adoptar como modelo de producción.

Algunos agricultores abrazan apasionadamente el modelo de la producción agroecológica, sin embargo, no están suficientemente preparados para transitar de la producción agraria intensiva a la orgánica, proceso que puede tener repercusiones negativas en el orden económico y social, si no es conducido sobre bases sólidas.

De cualquier manera, en lo que respecta a la lucha contra las plagas, las potencialidades de la agroecología son elevadas, siempre que el agricultor entienda que es muy importante eliminar el viejo enfoque de que si hay plagas se debe aplicar un producto y se apropie del manejo del sistema de producción como lo más holístico.

En este desarrollo agroecológico del manejo de plagas se ha producido una abundante información en los últimos años; sin embargo, la obra que ahora se presenta es el resultado de una magnífica actualización del tema, en el que se ofrece un análisis internacional y nacional, que permite acercarnos más a las demandas del sector agrario cubano.

Como es de esperar, la lucha biológica es protagonista principal en este libro que presenta la colega Nilda Pérez Consuegra, porque este componente del Manejo Ecológico de Plagas se ha desarrollado con mucha fuerza en nuestro país, al extremo de que en el año 2003 se atendieron cerca de un millón de hectáreas con estos bioproductos.

El nivel de entendimiento y adopción de la lucha biológica por el agricultor cubano es amplio, lo que ha permitido pasar a otra etapa, en que se desarrolla el manejo y conservación de los biorreguladores de plagas.

El libro Manejo Ecológico de Plagas es un valioso material de obligatoria referencia para especialistas interesados en profundizar sobre este tema, así como para difundir los avances de Cuba en este campo, a la vez que servirá de consulta para técnicos de base y agricultores interesados en la producción orgánica.

De hecho enriquecerá los cursos y otras actividades de capacitación que normalmente se realizan en el país.

Luis L. Vázquez Moreno DrC.
Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal
Ministerio de la Agricultura, Cuba

ÍNDICE

Contenido	Páginas
Capítulo 1. La agricultura orgánica	17
Introducción	17
Crisis de la agricultura industrial	17
Agricultura orgánica	19
Desarrollo histórico de la agricultura orgánica	22
Criticas a la agricultura orgánica	22
Situación de América Latina respecto a la producción orgánica	26
Situación de la agricultura cubana respecto a la producción orgánica	28
Producción orgánica certificada	31
Estudio de caso: Proyectos Faros Agroecológicos	32
Resultados obtenidos	33
Bibliografía	38
Capítulo 2. El problema de las plagas	43
Introducción	43
Concepto de plaga	43
Situación que enfrenta la agricultura convencional respecto a las plagas	46
Causas que determinan que un organismo nocivo adquiera la categoría de plaga	48
Monocultivo	50
Uso intensivo de plaguicidas	52
Fertilización mineral intensiva	55
Introducción accidental o deliberada de organismos no nativos	56
Situación de la agricultura cubana respecto al control de plagas	57
Paradigma del Patogenicismo: Etapa anterior al triunfo de la Revolución (1959)	57
Predominio del paradigma del Quimicismo con discretos avances hacia el Control Biológico: Década de los 60 y mitad de los 70 del siglo XX	58
Coexistencia del paradigma del Quimicismo con el desarrollo del Control Biológico y el Manejo Integrado de Plagas: Segunda mitad de los años 70 y década de los 80 del siglo XX	59
Proceso de cambio hacia el paradigma del Ambientalismo: Años 90 del siglo XX.	60
Estudio de caso: Efecto de cinco plaguicidas sobre larvas y huevos de <i>Chrysopa cubana</i> Hagen en condiciones controladas	61
Bibliografía	67

Capítulo 3. Control cultural	72
Introducción	72
Prácticas culturales y la regulación de organismos nocivos	72
Prácticas de preparación de suelo	75
Rotación de cultivos	80
Cultivos múltiples	83
Efecto de los cultivos trampa	86
Efecto del cultivo barrera	87
Siembra o plantación	89
Fecha de siembra o plantación	89
Densidad de siembra o plantación	92
Profundidad de siembra o plantación	93
Momento de cosecha	93
Manejo de la nutrición	94
Solarización del suelo	97
Papel del control cultural en el manejo de plagas en Cuba	98
Estudio de caso: Comportamiento poblacional de fitófagos y enemigos naturales en la asociación frijol-maíz	105
Bibliografía	114
Capítulo 4. Control Biológico: Estrategias para su implementación	127
Introducción	127
Concepto de control biológico	127
Antecedentes históricos del uso de entomófagos	129
Orígenes del control biológico en Cuba	131
Métodos para la implementación del control biológico	133
Control biológico por conservación de enemigos naturales	133
La conservación como estrategia del control biológico en Cuba	139
Control biológico clásico o por introducción de enemigos naturales	142
Control biológico por aumento	145
Estudio de caso: Control natural de <i>Brevicoryne brassicae</i> (Homoptera: Aphididae) sobre <i>Brassica oleracea</i> var. <i>capitata</i>	147
Bibliografía	154
Capítulo 5. Depredadores y parasitoides de artrópodos	161
Introducción	161
Depredadores en el control biológico	161
Hábitos alimentarios	162
Recomendaciones para el aumento y conservación de las poblaciones de depredadores	164

Parasitoides en el control biológico	166
Clasificación de los parasitoides según sus características y comportamiento	167
Principales ordenes y familias	169
Orden Hymenoptera	169
Orden Diptera	169
Uso de entomófagos en Cuba	171
Depredadores	171
Parasitoides	178
Investigaciones y desarrollo de otros parasitoides	183
Bibliografía	184
Capítulo 6. Control microbial de artrópodos	189
Introducción	189
Control microbial	189
Historia	190
Hongos entomopatógenos	192
Clasificación	192
Mecanismos de infección	193
Principales géneros	197
Bacterias entomopatógenas	199
Clasificación	201
Familia Bacillaceae	201
<i>Bacillus thuringiensis</i> Berliner	202
<i>Bacillus sphaericus</i> Neide	204
<i>Bacillus popilliae</i> Dutky	204
Virus entomopatógenos	204
Estructura viral	205
Clasificación	205
Familia Baculoviridae	206
Familia Reoviridae	209
Familia Poxviridae	209
Uso de virus entomopatógenos	209
Nematodos parásitos de insectos	210
Clasificación	211
Modo de infección	211
Control microbial en Cuba	213
Hongos entomopatógenos	213
Bacterias entomopatógenas	219
Virus entomopatógenos	220
Bibliografía	223

Capítulo 7. Control biológico de patógenos vegetales	231
Introducción	231
Origen del control biológico de patógenos vegetales	232
Concepto de control biológico de patógenos vegetales	233
Mecanismos de control biológico	234
Antagonismo	234
Micoparasitismo	234
Antibiosis	235
Competencia	236
Resistencia sistémica adquirida	236
Estrategias desarrolladas en el manejo de antagonistas residentes	237
Manejo de antagonistas residentes	237
Introducción de antagonistas	238
Antagonistas utilizados como agentes de control biológico	240
<i>Pseudomonas</i>	241
Antibiosis	242
Competencia	242
Control biológico de enfermedades en Cuba	243
<i>Pseudomonas</i>	244
<i>Verticillium</i>	245
<i>Bacillus subtilis</i>	247
Bibliografía	247
Capítulo 8. <i>Trichoderma</i> spp. como agente de control biológico	255
Introducción	255
Mecanismos de acción antagónica	255
Micoparasitismo	256
Antibiosis	258
Competencia	259
Control biológico con <i>Trichoderma</i> spp. en diferentes ambiente	260
Estado de las investigaciones y uso de <i>Trichoderma</i> en Cuba	264
Control de patógenos del suelo	264
Control de patógenos foliares	265
Estudio de caso: Control biológico de <i>Alternaria porri</i> (Ellis)	
Cif. en cebolla con <i>Trichoderma harzianum</i>	270
Bibliografía	284
Nombres vulgares y científicos de plantas	294

Capítulo I

LA AGRICULTURA ORGÁNICA

INTRODUCCIÓN

La agricultura convencional (tipo revolución verde) transita por una profunda crisis, con efectos negativos en los aspectos económicos, sociales y ecológicos. Se requiere urgentemente un drástico cambio, para el cual la Agroecología deviene en paradigma alternativo insustituible. La agricultura orgánica puede dar una respuesta adecuada si se inserta apropiadamente, con sus procedimientos y técnicas para optimizar el manejo de los agroecosistemas. ¿Qué es la agricultura orgánica? ¿Qué potencialidades encierra y qué se le critica? ¿Cuáles son sus aciertos y situación actual? ¿Qué papel puede desempeñar en Cuba? Aunque sus prácticas son muy antiguas, el concepto no lo es, según se desprende de su evolución histórica. En este capítulo se discuten los principales puntos controversiales y se presenta un estudio de caso donde se exponen los resultados alcanzados en las primeras experiencias de conversión agroecológica en agroecosistemas cubanos.

CRISIS DE LA AGRICULTURA INDUSTRIAL

La crisis de la agricultura industrial, convencional o de revolución verde es universal y afecta tanto a las economías de los países desarrollados como a los del Tercer Mundo, sus dimensiones son tales que, para todos los sectores, incluidos los gobiernos, está muy clara la necesidad urgente de la búsqueda de un modelo agrícola alternativo. Los efectos son visibles, eso no se discute; lo que se busca con un modelo alternativo es exactamente evitarlos, y para hacerlo hay que ir a la raíz misma de las causas que provocan la crisis.

El siglo pasado fue el de las grandes transformaciones en la agricultura; en ninguna etapa anterior se produjeron tantos cambios en un período tan breve de tiempo; pero no sólo es importante la cantidad de cambios, también lo es la magnitud de éstos. Dentro de ellos se destacan: la mecanización, el uso de agroquímicos (plaguicidas, fertilizantes, hormonas de crecimiento), las variedades de alto potencial productivo y la biotecnología. El efecto positivo de las nuevas tecnologías sobre el crecimiento de la productividad agrícola es innegable, y toca un aspecto tan sensible como la necesidad de producir alimentos para millones de personas en el mundo; pero la forma en que se logró ese desarrollo no es sostenible y no puede continuar eternamente.

La crisis de la agricultura tiene dos dimensiones: la socio-económica y la ecológica (Rosset, 1999). Los efectos negativos hay que valorarlos bajo estas dos dimensiones. El primer indicio de la crisis en los Estados Unidos de Norteamérica, país donde se originó la agricultura industrial, fue la disminución del número de agricultores; éste es un fenómeno generalizado. Los agricultores norteamericanos han caído en una situación de insolvencia ocasionada por los costos cada vez más altos de las tecnologías agrícolas modernas, que consumen cualquier aumento de las ganancias (Rosset, 1999).

Una de las expresiones más claras de la dimensión ecológica de la crisis es la disminución de los rendimientos agrícolas. La percepción y explicación de las causas de este fenómeno depende de como se enfoque la crisis. Los partidarios de la revolución verde argumentan que los rendimientos se están nivelando debido a que se ha alcanzado un nivel muy cercano al máximo potencial de las variedades actuales, por lo que es necesario recurrir a la ingeniería genética para rediseñar las especies cultivadas (Tribe, 1994 citado por Rosset, 1999). Por otra parte la ciencia agroecológica explica que la disminución de los rendimientos se debe a una constante erosión de la base productiva de la agricultura a través de prácticas insostenibles (Altieri y Rosset, 1996).

La pérdida de la diversidad biológica es otro resultado negativo, de consecuencias impredecibles para el mantenimiento de la vida en la Tierra. Los efectos negativos de la agricultura industrial se suceden de modo que uno puede ser a su vez causa de otro, y así forman una cadena causa-efecto, en la que resulta algunas veces difícil discernir lo esencial, si no se tienen suficientemente claros los principios agroecológicos.

La causa principal de la pérdida de la diversidad biológica agrícola es el monocultivo; al desarrollo de éste contribuyó la mecanización temprana de las prácticas agrícolas, la cual se desarrolló como respuesta a la escasez

de mano de obra. El monocultivo genera además otras prácticas agrícolas insostenibles como el uso de fertilizantes inorgánicos y de plaguicidas de síntesis química, que repercuten también en la disminución de la diversidad biológica.

La mecanización excesiva y el laboreo intensivo del suelo, unido a la fertilización inorgánica indiscriminada y a los sistemas intensivos de riego, traen como consecuencia la modificación de las propiedades del suelo y contribuyen a la salinización, acidificación, erosión, compactación y disminución del contenido de materia orgánica, y como consecuencia la desertificación y la pérdida de tierras aptas para la agricultura.

El uso indiscriminado de plaguicidas es la causa directa de la aparición del fenómeno de la resistencia de diferentes organismos, y por consiguiente de la pérdida de su efectividad. Ante esta situación, es común que los agricultores aumenten las dosis y preparen mezclas de varios plaguicidas, con frecuencia más tóxicos, por lo que el problema de la resistencia, lejos de solucionarse, se agrava. Las prácticas de protección vegetal que se basan en el control químico producen otros efectos como brotes de plagas secundarias, resurgencia de plagas y disminución de las poblaciones de enemigos naturales.

Otro de los grandes problemas actuales de la agricultura industrial es la contaminación ambiental, tema al que se ha prestado mucha atención desde principios de los años 60 del siglo pasado. Los productos químicos que se aplican en los sistemas agrícolas industriales no sólo han contaminado las fuentes de agua y deteriorado la fertilidad de los suelos, sino también han afectado la fauna y la salud humana.

Al considerar las causas de la crisis de la agricultura industrial y sus efectos resulta evidente la urgencia de un cambio. Esta necesidad ha dado lugar al surgimiento y desarrollo de la ciencia de la Agroecología, como un paradigma alternativo que busca resolver los problemas de la producción agraria de una forma sostenible, de modo que se garantice el desarrollo presente y futuro. Dentro de esta corriente la agricultura orgánica puede ser una respuesta a la crisis siempre que se tengan en cuenta las dimensiones económicas, sociales y ambientales de la misma.

AGRICULTURA ORGÁNICA

La Federación Internacional de Movimientos de Agricultura Orgánica, conocida por sus siglas en inglés como IFOAM, fundada en 1972 y con sede en Alemania, define la agricultura orgánica como “los sistemas agrí-

colas que promueven la producción sana y segura de alimentos y fibras textiles desde el punto de vista ambiental, social y económico. Estos sistemas parten de la fertilidad del suelo como base para una buena producción; respetando las exigencias y capacidades naturales de las plantas, los animales y el paisaje y buscando optimizar la calidad de la agricultura y el medio ambiente en todos sus aspectos. La agricultura orgánica reduce considerablemente las necesidades de aportes externos por lo que no requiere abonos químicos ni plaguicidas u otros productos de síntesis. En su lugar, permite que sean las poderosas leyes de la naturaleza las que incrementen tanto los rendimientos como la resistencia de los cultivos».

Para Lampkin y Measures (1995), la agricultura orgánica es un acercamiento a una forma de agricultura que tiene como objetivo integrar sistemas de producción más humanos y sostenibles desde el punto de vista ambiental, social y económico.

La Comisión del Codex Alimentarius (FAO, 1999) define la agricultura orgánica como “un sistema holístico de gestión de la producción que fomenta y mejora la salud de los agroecosistemas, y en particular la biodiversidad, los ciclos biológicos, y la actividad biológica del suelo. Esto se consigue empleando, siempre que sea posible, métodos culturales, biológicos y mecánicos, en contraposición al uso de materiales sintéticos, para cumplir cada función específica dentro del sistema”.

Todas estas definiciones tienen en común que se trata de un sistema de producción basado en la gestión del ecosistema en vez de la utilización de insumos, como fertilizantes y plaguicidas sintéticos. Pero la agricultura orgánica es, además, una filosofía que como reflexión ha estado muy presente en los pueblos originales “que trataban la Tierra como la gran patria madre, que tenían solidaridad entre los seres, ternura por la Tierra, cuidado por la vida, veneración por los antepasados, por las grandes tradiciones que les daban fuerza y vida, que sabían crear, celebrar, reanimar sus grandes mitos” (Chávez, 2001).

La agricultura orgánica tiene como propósito principal la producción de alimentos sanos, la protección del ambiente y la salud humana, y la intensificación de las interacciones biológicas y los procesos naturales. En los sistemas orgánicos se excluye el uso de sustancias químicas. Los fertilizantes inorgánicos se sustituyen por prácticas de manejo de la nutrición, tales como: rotación de cultivos, compost, humus de lombriz, abonos verdes, bacterias fijadoras de nitrógeno y otras, que buscan aumentar el nivel de materia orgánica del suelo y conservar la fertilidad natural. Para evitar el uso de plaguicidas químicos lo primero es estable-

cer prácticas de manejo preventivo de plagas; en agricultura como en medicina “es mejor prevenir que curar”. En caso de aparición de plagas se recomienda el uso de prácticas de control biológico; esto es, la liberación de enemigos naturales como depredadores (p. ej., coccinélidos, crisópidos), parasitoides (p. ej., la avispa *Trichogramma*) y patógenos (p. ej., el hongo *Beauveria bassiana*, la bacteria *Bacillus thuringiensis*, uso de trampas de colores, feromonas, extractos vegetales y otras muchas que aparecen en los diferentes capítulos de este libro.

En la agricultura orgánica se tiene muy en cuenta la eficiencia energética; por eso se trata de reemplazar las fuentes externas de energía (sustancias químicas y combustible) por recursos que se obtienen dentro de la unidad agrícola o en sus alrededores; estos recursos internos consideran la energía solar y eólica, el control natural, el nitrógeno fijado biológicamente y otros nutrientes que se liberan a partir de la materia orgánica o de las reservas del suelo (Altieri, 1997). Las prácticas de agricultura orgánica están basadas en la Agroecología. Son prácticas que potencian los mecanismos que usa la naturaleza para autorregularse y lograr estabilidad (regulación interna), y estimulan también la capacidad de recuperación frente a situaciones adversas; propiedad a la que se denomina resiliencia.

Los programas de investigación sobre los sistemas de cultivo orgánico fueron muy limitados hasta comienzos de los años 80 del siglo pasado (Altieri, 1997). Es a partir de esa década que aumenta la presión pública en cuanto a la conservación de los recursos naturales y la protección del medio ambiente; crece también la preocupación por los riesgos que para la salud humana implican el uso de los plaguicidas químico- sintéticos y los fertilizantes inorgánicos. Estas presiones y preocupaciones se incrementaron aún más en los años 90; esto se refleja en la gran cantidad de publicaciones que sobre agricultura orgánica aparecen cada año en la literatura científica. En 1990, Nick Lampkin publicó un libro sobre agricultura orgánica en el que se describen los métodos y técnicas para el diseño y manejo de los sistemas orgánicos, y desde 1995, junto a otros colaboradores, edita la serie “Guía para el Manejo de Granjas Orgánicas” (Organic Farm Management Handbook). Pero mucho antes de que en los círculos académicos surgieran preocupaciones por dar sustento científico a la agricultura orgánica, en diversos lugares del mundo existían agricultores que se dedicaban a esta práctica y la realidad es que existe mucho conocimiento tradicional que se debe tener en cuenta.

Desarrollo histórico de la Agricultura Orgánica

Existe la creencia generalizada de que la agricultura orgánica nació en Europa y se señala como punto de partida la década de los años 20 del siglo pasado, ya que precisamente, en esos años surgen diferentes corrientes científicas que buscaban optimizar el manejo de los sistemas agrícolas, de ahí las diferentes denominaciones que recibe actualmente la agricultura que no sigue los patrones de la convencional o industrial. Esas corrientes, si bien difieren en algunos aspectos, tienen elementos comunes que las acercan y todas tratan de dar una explicación científica a las prácticas ancestrales de la agricultura tradicional. En la tabla 1.1 se presentan, en forma resumida, los fundamentos de las principales corrientes agrícolas (MOA, 1989; Diver, 1995; Mertos, 1996; Silguy de, 1997; PHMC, 2001; Addison, 1998).

Críticas a la Agricultura Orgánica

Siempre que se trata el tema de la producción orgánica, prácticamente en cualquier círculo, surgen estas preguntas: ¿Es productiva la agricultura orgánica? ¿Es aplicable a las grandes extensiones, o sólo se limita a la agricultura a pequeña escala? ¿Es el regreso a los sistemas agrícolas de principios del siglo pasado?, y otras similares. El tono ha cambiando, y en los últimos años una de las interrogantes que más se debate es ¿Puede la agricultura orgánica alimentar a todas las personas que habitan en la Tierra?

Si los sistemas productivos basados en la agricultura orgánica significaran el regreso a la agricultura de principios del siglo pasado, evidentemente, no podrían alimentar a las personas que habitan hoy en la Tierra. Para la implementación actual de estos sistemas se requiere poseer conocimientos profundos de ecología, biología, agronomía, etnoecología, producción animal y agroforestería, entre otros; además se necesita el uso de la tecnología moderna. Sin tener suficientes elementos hay quienes consideran que no es productiva y que sólo es posible practicarla en fincas pequeñas para el autoconsumo familiar. La agricultura orgánica puede llegar a ser tan productiva como la industrial, química o convencional, siempre que se utilicen bien todas y cada una de las prácticas recomendadas. En varios países de Europa y en Estados Unidos de Norteamérica, los productores orgánicos cultivan predios medianos y grandes en una escala comercial.

Tabla 1.1 Corrientes agrícolas no convencionales desarrolladas en el siglo XX

Corriente agrícola	Representante	Año	País	Fundamento
Agricultura biodinámica	Rudolph Steiner (1861-1925)	1924	Austria	Concepto de finca como un organismo. Los elementos que la componen: minerales del suelo, materia orgánica, microorganismos, insectos, plantas, animales y humanos, interactúan para crear un todo coherente y armónico. Importancia del humus para mantener la fertilidad del suelo. El desarrollo de enfermedades de las plantas como consecuencia de deficiencias de nutrientes y otros elementos en el suelo. Uso de preparados biodinámicos (preparados a partir de plantas y utilizados en la preparación de compost).
Agricultura orgánica	Albert Howard (1873-1947)	1931	Inglaterra	La verdadera fertilidad de los suelos debe apoyarse sobre un amplio suministro de materia orgánica y de elevados niveles de humus. Relación entre la fertilidad del suelo y sanidad vegetal y animal. Visión ecológica, integradora y sistemática de la agricultura.
Agricultura natural	Mokiti Okada (1882-1955)	1935	Japón	La armonía y prosperidad de los seres humanos y de todos los tipos de vida posibles, pueden ser aseguradas a través de la preservación del ecosistema, obedeciendo las leyes de la naturaleza y sobre todo a través del respeto al suelo. El problema básico de la agricultura es el desconocimiento de la verdadera naturaleza del suelo.
Agricultura orgánica	J. I. Rodale (1898-1971)	1940	USA	Continuador de las teorías de Sir A. Howard. Su filosofía se basa en que los alimentos orgánicos promueven la salud de las personas, a la vez que las técnicas orgánicas utilizadas para producirlos, aumentan la fertilidad natural de los suelos. Estimula las prácticas agrícolas que favorecen el bienestar económico y social en un ambiente sano.
Agricultura biológica	Claude Aubert	1970	Francia	Observación y respeto de las leyes de la vida, que consiste en no alimentar a las plantas directamente con fertilizantes solubles, y permitir que la vida del suelo sea quien elabore y suministre a las plantas todos los elementos que éstas necesitan.
Permacultura	Bill Mollison David Holmgren	Años 70	Australia	Abarca todos los aspectos de los asentamientos humanos y no sólo la agricultura. Es la adaptación sostenible de una sociedad a su base de recursos. Es una ciencia y una ética del cuidado de la Tierra.
Agricultura regeneradora	R.D. Rodale (hijo) (1930-1990)	1981	USA	Visión de la agricultura orgánica que incorpora a los sistemas agrícolas las tendencias regeneradoras de la naturaleza. Se basa en la optimización de los rendimientos agrícolas mientras se mantiene o aumenta la calidad y productividad de los suelos. Soluciones innovativas a problemas ambientales, económicos y de productividad. Amplía el concepto de Agricultura Sostenible, con escaso nivel de insumos.

Existe una diferencia sustancial entre la agricultura convencional y la orgánica, y es que esta última pone el énfasis en la optimización a nivel del sistema agroecológico, en lugar de la maximización de los rendimientos de un cultivo o de un componente del sistema. Probablemente por esa razón, la crítica más común a la agricultura orgánica es que se obtienen rendimientos demasiado bajos. Aunque la cuestión no estriba en cuanto alimento se produce, pues como se sabe, hoy habitan en la Tierra 840 millones de personas que padecen hambre crónica y desnutrición (Diouf, 2003) y lo más probable es que el número aumente en los próximos años, sin embargo, existe actualmente una sobreproducción de alimentos.

Los rendimientos en la agricultura orgánica pueden ser más bajos, iguales o más altos que en la convencional. Los críticos ponen el énfasis en aquellos casos en que se han obtenido rendimientos más bajos. Los estudios realizados han demostrado que en los sistemas orgánicos se pueden obtener producciones por unidad de superficie similares y aún más altas que en los sistemas convencionales (Vasilikiotis, 2000; Stockdale *et al.*, 2001; Pretty, 2001). El rendimiento del maíz orgánico es similar al del producido con plaguicidas y fertilizantes, pero con una gran ventaja, y es que la calidad de los suelos mejora ostensiblemente en los campos bajo manejo orgánico. En China se comparó la producción de arroz sembrado con tecnología moderna y con tecnología tradicional, en éste último se obtuvo 18% más de arroz por hectárea (Monbiot, 2000).

El término rendimiento, entendido como cantidad de un producto agrícola determinado por unidad de superficie, ha sido y es un parámetro esencial para medir la productividad en la agricultura convencional. Esto es lógico, sobre todo, cuando se refiere a sistemas en monocultivo que son típicos de ese modelo agrícola, que como se conoce sólo producen en un ciclo unos pocos productos “útiles” y muchos “residuos”, los cuales al no reciclarse se acumulan y constituyen las conocidas fuentes de contaminación que convierten a esta forma de hacer agricultura en verdaderas bombas de tiempo.

En contraste con esto, la agricultura orgánica con base agroecológica introduce la práctica de los policultivos en los cuales se obtienen simultáneamente un mayor número de productos “útiles”, además de propiciar el reciclaje de lo que antes era considerado “residuos contaminantes” para beneficio de todo el agroecosistema. Así, una misma superficie cultivada con este sistema puede producir una variada cantidad de productos, la suma de los cuales puede sobrepasar varias veces el rendimiento total obtenido con los métodos convencionales.

Pero lo fundamental está en que la falta de conocimientos acabados acerca de las implicaciones de la agricultura orgánica para la producción de alimentos y la seguridad alimentaria, hace que no se pueda valorar en toda su magnitud la importancia de ésta. Las limitadas investigaciones que se han llevado a cabo hasta la fecha, para estudiar las implicaciones que tiene el incremento de los sistemas de producción orgánicos sobre la producción global de alimentos y la seguridad alimentaria, adolecen de serios problemas respecto a las suposiciones básicas, la disponibilidad de datos y lo limitado del rango de factores analizados (Stockdale *et al.*, 2001).

Para una gran mayoría están muy claros los beneficios ambientales y económicos que se derivan de los sistemas agrícolas orgánicos, pero existen reservas en cuanto a las potencialidades de la agricultura orgánica para garantizar la seguridad alimentaria en los países en desarrollo. Hay una pregunta que aparece con frecuencia entre los críticos de la agricultura orgánica ¿Es conveniente la agricultura orgánica para los países del Tercer Mundo? La revisión de la Comisión para el Desarrollo Sustentable (CDS) del sector agrícola celebrada en marzo del 2000 reveló grandes preocupaciones de los políticos respecto a la agricultura orgánica. El Informe del CDS menciona lo siguiente: "mientras el cultivo orgánico se ha estado promoviendo y utilizando en varios países, otros han sido cautos al respecto; se estima que podrían existir limitaciones y riesgos en la producción orgánica de alimentos en los países en desarrollo, y que la agricultura orgánica no debe ser considerada como una solución para las necesidades de éstos" (Scialabba, 2000).

Por tal motivo, muchos llegan a admitir que la agricultura orgánica podría ser conveniente para los países desarrollados, pero no para los países en desarrollo. Ellos consideran a la agricultura convencional, con sus "tecnologías de punta", como la única vía posible para producir alimentos, pero los efectos negativos de la crisis de la agricultura convencional se han analizado en detalle y se ha profundizado sobre la situación de dependencia y de insolvencia económica en que se encuentran los agricultores en muchos países del mundo (Rosset, 1999). ¿Creerán los críticos de la agricultura orgánica que así opinan, qué para los agricultores del Tercer Mundo la agricultura convencional dejará un legado diferente? La agricultura orgánica es la más conveniente, tanto para los países desarrollados como para los países en desarrollo, porque permite hacer un uso sostenible de los recursos; incrementa los rendimientos de los cultivos sin la dependencia de insumos externos (semillas costosas, fertilizantes, plaguicidas y reguladores del crecimiento, entre otros), reduce el uso de

la energía y las emisiones de CO₂, estimula el aumento de la biodiversidad y asegura la protección ambiental (Stockdale *et al.*, 2001).

El caso de Cuba es un claro mentís a esta suposición. La rápida desintegración de la Unión Soviética y del campo socialista a fines del año 1989 condujo al país a una aguda crisis alimentaria, nunca antes vista. El recrudecimiento del bloqueo por parte del gobierno de Estados Unidos de Norteamérica hizo que la ayuda internacional fuera prácticamente nula. Cuba no recibió ni un solo centavo del Banco Mundial, ni del Fondo Monetario Internacional, por lo que la nación cubana se vio obligada a recurrir a sus propios recursos naturales y humanos y aprendió a combinar armónicamente el conocimiento tradicional y los adelantos científico-técnicos para impulsar la producción de alimentos básicos sin dependencia de las importaciones. Lo más agudo de la crisis quedó atrás, la escasez de alimentos fue superada mediante el incremento de los productos nacionales (figuras 1.1 y 1.2) (Rosset y Bourque, 2001). El movimiento de agricultura urbana, basado casi exclusivamente, en técnicas de producción netamente orgánicas ha jugado un papel decisivo en la seguridad alimentaria del pueblo cubano. En el libro “Transformando el campo cubano: avances de agricultura sostenible” (Funes *et al.*, 2001) aparece documentada parte de esta experiencia.

SITUACIÓN DE AMÉRICA LATINA RESPECTO A LA PRODUCCIÓN ORGÁNICA.

La agricultura orgánica creció rápidamente en la década de los 90. Se estima que del 1% al 3% de los alimentos producidos a nivel mundial son orgánicos, y se espera que este porcentaje alcance un 15% para el año 2005. En la actualidad, la superficie dedicada a la agricultura orgánica asciende aproximadamente a 16 millones de ha. De ella, 48.5% se encuentra en Oceanía, 23.58% en Europa, 20.02% en América Latina, 7.42% en América del Norte, 0.33% en Asia y 0.14% en África. El país que cuenta con una mayor superficie agrícola dedicada a los cultivos orgánicos es Australia, con 7.6 millones de hectáreas (prácticamente el 50 % de toda la superficie agrícola con estos cultivos en el mundo). Le siguen Argentina, con tres millones de hectáreas, e Italia y Estados Unidos con cerca de un millón de hectáreas. En los casos de Australia y Argentina, esta gran superficie corresponde a praderas (Eguillor, 2001).

Cuando se pretende profundizar en la situación de América Latina respecto a la producción orgánica, se encuentra que no existen datos confiables



Figuras 1.1 y 1.2. Mercado agropecuario. Tulipán y Boyeros. Municipio Plaza de la Revolución. Ciudad de La Habana

debido a la ausencia de estadísticas regulares, una situación típica de los países en desarrollo. Otro aspecto que hace más crítico el asunto es que la producción orgánica no certificada, generalmente, no se registra.

En el Programa de Agricultura Orgánica de la FAO a mediano plazo, para el quinquenio 2002-2007 (FAO, 2001) se consideraron entre las vertientes principales; “establecer sistemas de información y redes para la producción, conservación, elaboración, etiquetado y comercialización de productos orgánicos”. Éste tiene como objetivos presentar información fiable, accesible y de buena calidad para tomar decisiones informadas en materia de agricultura orgánica. Se espera que con la ejecución de ese Programa y las medidas que están adoptando algunos países (Argentina, Costa Rica, Uruguay, Chile, Cuba) se resuelvan las dificultades estadísticas que existen.

De los 139 países en que aparece registrada la producción orgánica certificada, 34 son latinoamericanos, de éstos se considera que 13 están en un nivel relativamente avanzado y que 21 se encuentran en un nivel incipiente de desarrollo (García, 2002). Entre las limitantes para la producción orgánica en Centroamérica se encuentran que, en general, los alimentos orgánicos son producidos por agricultores grandes y comercializados por intermediarios internacionales, y que existe escaso apoyo gubernamental a la agricultura orgánica (Scialabba, 2000). Esta situación se repite en América del Sur.

Hay un grupo de obstáculos que están frenando el desarrollo prospectivo de la agricultura orgánica. Entre los que tienen que ver con la posibilidad de acceso a los mercados externos y al desarrollo de los mercados locales

y nacionales están: la falta de regulaciones o legislaciones en la mayoría de los países, la falta de empresas certificadoras acreditadas internacionalmente y la creación o perfeccionamiento (en caso de existir) de una infraestructura adecuada. Otros obstáculos que impiden el aumento de la superficie cultivada son la ausencia de políticas gubernamentales de apoyo o las deficiencias de algunas de las existentes, así como el escaso desarrollo y extensión de tecnologías apropiadas (Kilcher, 2001).

SITUACIÓN DE LA AGRICULTURA CUBANA RESPECTO A LA PRODUCCIÓN ORGÁNICA

La diversidad de condiciones en que se desarrolla la producción agraria cubana hace que coexistan múltiples sistemas de producción, entre los más característicos están: sistema de agricultura extensiva con aseguramiento de insumos y con bajos insumos, sistema de agricultura intensiva convencional, sistema de agricultura urbana, sistema de producción orgánica, sistema de agricultura de montaña, sistemas agroforestales y silvopastoriles y sistemas integrales agroecológicos (Companioni, 2003). Un elemento común a todos estos sistemas es la búsqueda de la sostenibilidad, la cual es la base que da unidad al sistema agrario del país.

La agricultura cubana se encuentra en una etapa de sustitución de insumos o de conversión horizontal (producción con menos insumos agroquímicos, técnicas para la recuperación de suelos, manejo integrado de plagas basado en el control biológico, entre otros). Esta fase ha sido y es de gran importancia en la solución de la problemática actual y crea las bases para ir consolidando la aplicación de la agricultura orgánica en los sistemas agropecuarios a mayor escala (Funes *et al.*, 2001).

Cuba es, probablemente, el mejor ejemplo de apoyo gubernamental, a gran escala, a la agricultura orgánica al constituir ésta parte integral de la política agrícola. El Ministerio de la Agricultura estableció en el 2002 una Estrategia Nacional para el Desarrollo de las Producciones Orgánicas que tuvo como primera acción la constitución de un Comité Nacional de Producciones Orgánicas. El desarrollo de la agricultura orgánica no padece de la falta de incentivos que son típicos de las políticas agrícolas convencionales. De hecho, la producción orgánica apoyada por el Estado no tiene que competir con la comida importada más barata, ni los agricultores están sujetos a presiones para que utilicen insumos agrícolas sintéticos (Scialabba, 2000). Este caso encierra una enseñanza in-

discutible sobre la autosuficiencia y las políticas y métodos de producción orgánica, que podría servir de modelo a otros países de América Latina que enfrentan crisis agrícolas y alimentarias similares (Rosset y Bourque, 2001).

En Cuba, como en ningún otro país de la región, existe un escenario propicio para el establecimiento de sistemas de producción orgánicos a escala nacional. Están dadas las condiciones para que la sociedad cubana se convierta en una de las primeras sociedades sostenibles del siglo XXI, esto es esencial, pues muchos de los requerimientos necesarios para hacer agricultura orgánica desde una dimensión socio-económica y ecológica están implícitos en el sistema político-económico cubano. Por ejemplo, la cuestión esencial del acceso a la tierra; se hicieron dos Reformas Agrarias: La Primera Ley el 17 de mayo de 1959, la Segunda el 3 de octubre de 1963 (Valdés, 2003), y en la década del 90 se realizó una redistribución de las tierras estatales, las que se entregaron en usufructo gratuito, con lo que se crearon las Unidades Básicas de Producción Cooperativa (UBPC).

Por otra parte el sistema de agricultura urbana ha dado lugar a la producción local de alimentos, en áreas urbanas y periurbanas (figuras 1.3 y 1.4). Aunque la agricultura urbana no fue concebida con el objetivo de producir alimentos orgánicos la realidad es que en la mayor parte de los huertos y organopónicos se produce con técnicas orgánicas sostenibles y todo esto en un contexto en que el Estado protege al medio ambiente y los recursos naturales del país. Al respecto se destaca que en 1997 se aprobó la Ley 81 de Medio Ambiente (Cuba, 1997) y existe una Estrate-



Figura 1.3 Organopónico en municipio Playa, Ciudad de La Habana. **Figura. 1.4** Parcela La Joya. Patio de referencia nacional, municipio San José de las Lajas, La Habana

gia Ambiental Nacional, en la que están muy bien identificados los problemas del suelo, del agua y su conservación (CITMA, 1997).

En lo que respecta al desarrollo tecnológico y la investigación hay que destacar los tres Programas Nacionales de Investigación que se desarrollan actualmente, -Producción de alimentos para la población por métodos sostenibles, Producción de alimento animal por vías biotecnológicas y sostenibles y Desarrollo sostenible de la montaña- y el Programa Ramal de Investigación en Agricultura Orgánica en el que participan 21 instituciones científicas. Existen metodologías de manejo ecológico, que se aplican desde hace varios años, como las alternativas para la nutrición orgánica, soluciones ecológicas a plagas, enfermedades y malezas (Pérez y Vázquez, 2001), se extiende la práctica de los cultivos asociados, el uso de tecnologías de manejo en sistemas de cultivo y animales (Funes-Monzote, 1998) y técnicas ecológicas para el laboreo y conservación de los suelos (Funes *et al.*, 2001) (figura 1.5).

Los recursos materiales y el conocimiento humano para la aplicación de estas metodologías están garantizados. Se han realizado cambios en los programas de estudio en los diferentes niveles educacionales, desde la



Figura 1.5 Uso de animales en la preparación de suelo. Finca Mil Rosas del municipio Bejucal, provincia La Habana

primaria hasta la universitaria. Se extiende la divulgación sobre el cultivo orgánico y se enfatiza en el desarrollo de hábitos alimentarios más sanos. De los programas agrícolas exitosos que tienen como base la producción orgánica, además de la agricultura urbana, están la popularización del cultivo del arroz, plantas medicinales, y más recientemente la producción de azúcar y frutas orgánicas.

Producción orgánica certificada

En el 2002 la superficie dedicada a la producción orgánica certificada fue de unas 7 000 ha, Cuba está en condiciones de colocar en el mercado internacional seis productos orgánicos: frutas cítricas, café, cacao, miel, azúcar de caña y sábila (Pérez, 2003). Pequeñas cantidades de algunos de éstos han sido exportadas.

Cítricos. Se están ejecutando dos proyectos, uno de éstos está dirigido a la certificación de fincas pequeñas en condiciones de montaña y de aquellas que surgieron después del proceso de redimensionamiento de las grandes empresas; el otro proyecto tiene como objetivos el desarrollo del proceso de conversión en plantaciones comerciales a plantaciones orgánicas, en una superficie de unas 300 ha (Cuba, 2002a). Los cítricos orgánicos se comercializan como fruta fresca y en forma de jugos, las principales plantaciones se encuentran en las provincias de La Habana, Cienfuegos, Ciego de Ávila, Granma, Guantánamo y el Municipio Especial Isla de la Juventud. En la mayoría de las plantaciones cítrícolas del país no se aplican plaguicidas químicos ni fertilizantes inorgánicos desde hace más de una década, por lo que están en condiciones de someterse a un proceso de certificación (Companioni, 2003).

Café y cacao. En las provincias orientales del país se encuentran en producción orgánica certificada 4 850 ha de café y 1 369 ha de cacao, el número de productores involucrados es de 2 016 y 2 215 respectivamente, el café se exporta a países europeos y Japón (Cuba, 2003).

Miel. La producción de miel orgánica se realiza en localidades donde se desarrollan producciones agrícolas orgánicas certificadas, fundamentalmente en zonas cafetaleras y cítrícolas, en el 2002 el número de colmenas certificadas ascendía a más de 17 000 (Cuba, 2003).

Azúcar de caña. La producción de azúcar se realiza en un complejo agroindustrial de la provincia de Villa Clara; en el 2002 se produjeron 4 600 t de azúcar orgánica (Cuba, 2002b), cuyo mercado es fundamentalmente Europa.

Plantas medicinales. Hasta fines de 2002 se habían certificado 3 ha de sábila, actualmente se exportan entre 5.5-6.0 t/año hacia Italia y Alemania; el plan perspectivo es llegar hasta la 10 ha, de forma que se puedan producir como promedio 20 t/año para el 2005 y ampliar el mercado hacia otros países de la Unión Europea y Canadá (Cuba, 2002a).

ESTUDIO DE CASO: PROYECTOS FAROS AGROECOLÓGICOS

Entre 1994 y 1999 se desarrollaron en el país los primeros proyectos agroecológicos para la agricultura sostenible, entre los que se encuentran: Proyecto SANE (Sustainable Agriculture Networking and Extention) del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Proyecto Producción Agropecuaria en Faros Agroecológicos de CPAs y Proyecto Manejo agroecológico de la producción de alimentos en el sector cooperativo, del Programa Producción de alimentos por métodos sostenibles, del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA). Estos dos últimos se desarrollaron posteriormente para garantizar la continuidad del primero y fortalecer los logros obtenidos.

En 1994, Cuba se inserta en el Programa SANE, cuya primera fase se estableció en varios países de África, América Latina y Asia. En América Latina los países seleccionados fueron: Perú, El Salvador y Cuba (Altieri, 1998). El proyecto SANE-Cuba fue el primero que se ejecutó en el país con esa finalidad. Para su aplicación se seleccionaron varias áreas de trabajo: tres Cooperativas de Producción Agropecuaria (CPA) en la provincia de La Habana y un Politécnico Agropecuario. La capacitación dirigida a profesionales, técnicos y agricultores fue una de las actividades priorizadas (Treto *et al.*, 1997).

En cada CPA, después de la realización del diagnóstico, los agricultores, en acuerdo con el equipo técnico, escogieron una finca que sería el Faro Agroecológico donde se aplicarían las técnicas agroecológicas seleccionadas: prácticas de labranza conservacionistas (sin inversión del prisma de suelo), incorporación de residuos, tracción animal, uso de abonos verdes, aplicación de materia orgánica, rotación de cultivos, diversificación, arborización en los caminos y guardarrayas, uso de policultivos, manejo de la vegetación espontánea benéfica, control biológico de plagas y la inclusión del componente animal; esta última se seleccionó sólo para la CPA "28 de Septiembre" (Treto *et al.*, 1997; SANE, 1999; García *et al.*, 1999; Fundora *et al.*, 2000).

Resultados obtenidos

Productivos-Económicos. El proyecto SANE-Cuba permitió iniciar la implementación de sistemas de producción agroecológicos en CPA de la Asociación Nacional de Agricultores Pequeños (ANAP) (Treto *et al.*, 1997). Se demostró que es posible implementar en la práctica fincas agroecológicas, y obtener rendimientos similares y en ocasiones superiores en comparación con fincas bajo métodos convencionales, así como obtener ganancias económicas y mejorar la fertilidad natural de los suelos. Fue posible diversificar la producción en las fincas, se incrementó el número de cultivos de 2 y 3 cultivos/año hasta 9 a 11 cultivos/año. En los Faros Agroecológicos se logró incrementar los rendimientos en promedios de 7 a 14 t/ha en comparación con los sistemas convencionales. Se comprobó que los abonos verdes constituyen una práctica económicamente viable. Las investigaciones realizadas demostraron que es posible disminuir en un 50 % o eliminar las aplicaciones de plaguicidas. Como resultado de la disminución del consumo de plaguicidas y fertilizantes, superficie sin sembrar y el uso de policultivos (figuras 1.6, 1.7 y 1.8) aumentó la producción total por hectárea con una relación favorable de ingresos, gastos y utilidades en los Faros respecto a las CPA y se incrementó la estabilidad económica de los sistemas. En la tabla 1.2 se presenta un grupo de indicadores productivo-económicos de la CPA “Jorge Dimitrov” (Treto *et al.*, 1997; SANE, 1999; García *et al.*, 1999; Fundora *et al.*, 2000).

Ambientales. Se introdujeron prácticas agroecológicas para el manejo de los suelos y los organismos nocivos, las cuales están acordes con la conservación del medio ambiente: rotación, abonos verdes, policultivos, aplicaciones de materia orgánica, laboreo mínimo del suelo, agroforestería, agentes de control biológico. Se diversificó la producción agrícola, aumentó el número de cultivos por año y el uso de los policultivos, así como disminuyó la superficie sin sembrar. Se establecieron prácticas de conservación para el incremento de la fertilidad natural del suelo, en especial la rotación de cultivos con gramíneas y leguminosas, lo que garantizó una mayor estabilidad de la materia orgánica del suelo (SANE, 1999).

Uno de los logros más notables fue la drástica reducción en el uso de plaguicidas químicos y los cambios efectuados en el manejo de los cultivos. El aumento gradual de la biodiversidad y la estimulación de los mecanismos naturales de regulación de los organismos nocivos figuran en-



Figuras 1.6, 1.7 y 1.8 Zanahoria, col y cebollino intercalados en plátano. La siembra de cultivos intercalados entre hileras de plátano, en campos en fase de fomento es una práctica habitual en la agricultura cubana (CPA "Gilberto León" del municipio San Antonio de los Baños, La Habana)

tre los beneficios más importantes (Pérez y Gómez, 1999a, 1999b). En la CPA "Jorge Dimitrov" se produjo, en el año 1996, una reducción en el uso de plaguicidas del 43 % con respecto al año 1995; la aplicación de plaguicidas (fungicidas, insecticidas y herbicidas) disminuyó de 24.3 kg/ha a 13.85 kg/ha (producto comercial) y en el Faro Agroecológico, a partir de 1996 no se aplicaron plaguicidas y las aplicaciones de medios biológicos fueron reducidas al mínimo (Pérez *et al.*, 1998; Pérez y Gómez, 1999b). Con este manejo, es de esperar la disminución del riesgo de contaminación ambiental, con la correspondiente repercusión sobre la salud humana y animal (Treto *et al.*, 1997, SANE 1999, García, *et al.*, 1999; Fundora *et al.*, 2000).

Tabla 1.2 Indicadores productivo-económicos en Faro agroecológico y CPA “Jorge Dimitrov”

Indicadores	CPA	Faro
Superficie ha	165	6.0
Nº trabajadores fijos/año	57	2
Rendimiento t/ha	13.8	19.1
Producción de nutrientes		
Energía (Mcal/ha)	8441	8926
Proteína (kg/ha)	205	277
Personas que alimenta una ha		
Energía	8.2	9.1
Proteína	8.0	10.8
Vegetales	69.0	46.9
Aplicación de insumos químicos		
N (kg/ha/año)	253	0.0
P	13	0.0
K	27.1	0.0
Plaguicidas	6.6	0.0
Ganancias \$/ha	1701	1738
Costo por peso producido	0.6	0.28

Sociales. Se logró conformar un equipo técnico multidisciplinario, en el que participaron especialistas de diferentes instituciones científicas, docentes y productivas, y agricultores de la ANAP. El equipo adquirió experiencia en el diagnóstico y diseño de sistemas agroecológicos y en su conducción y evaluación, así como en técnicas para la investigación participativa en campos de agricultores, lo cual es fundamental para capacitar y entrenar a otros equipos de trabajo con la finalidad de difundir y extender esta experiencia. El estilo de trabajo con una visión holística, integral y multidisciplinaria, coordinado entre investigadores, académicos y agricultores, tuvo un impacto muy positivo en todas las instituciones involucradas en las que había prevalecido el trabajo por especialidades.

El desarrollo del proyecto SANE permitió acelerar la promoción, divulgación y extensión de la Agroecología en las esferas productivas, investigativas y docentes. Se produjo un proceso de difusión de las técnicas agroecológicas hacia otras áreas de las CPA involucradas. Se elevó el nivel de conocimiento del campesinado sobre dichas prácticas. Los métodos utilizados incentivaron la capacidad de los agricultores de pensar por sí mismos y de desarrollar sus propias soluciones (Treto *et al.*, 1997; SANE,

1999). Este proceso de innovación por parte de los agricultores de los Faros repercutió en el resto de los cooperativistas y se extendió a otras CPA de la provincia La Habana. Según Pretty (1995) estos cambios en la enseñanza y diseminación de las técnicas orgánicas constituyen un aspecto esencial para la implementación de sistemas de producción orgánicos.

Las actividades de capacitación (conferencias, talleres, días de campo, cursos y diplomado de postgrado), desarrolladas en varias provincias contribuyeron a una amplia difusión y extensión del conocimiento agroecológico, condición básica para la conversión hacia sistemas de producción orgánicos sostenibles (Lampkin y Measures, 1995). Se logró una sensibilidad mayor con la problemática agroecológica, que se expresó en la elevación del interés, conocimiento y manejo agroecológico. Los campesinos expresaron un acercamiento creciente a las posiciones de la agricultura sostenible y se pudo apreciar, en muchos casos, una concientización real con la problemática y no actitudes determinadas por la crisis económica y la falta de recursos que repercute en la agricultura (Treto *et al.*, 1997; SANE, 1999; García *et al.*, 1999; Fundora *et al.*, 2000).

En la evaluación del grado de implementación de los objetivos propuestos y su impacto a nivel internacional se concluyó que Cuba se encontraba entre los países de mejor desempeño y cumplimiento. Esto se debió, entre otras causas, al apoyo que el Estado brindó y a la vinculación estrecha entre las diversas instituciones que coadyuvaron a la buena marcha del proyecto y a la obtención de los resultados previstos. De acuerdo a los datos que se reflejan en la tabla 1.3, se lograron impactos sustanciales en aspectos tales como: el nivel de independencia y autonomía dado por la reducción de insumos externos, la capacidad de innovación, seguridad alimentaria, la diversificación de la producción, el manejo orgánico del suelo, la protección de plantas, la implementación de las fincas agroecológicas, la diseminación del conocimiento agroecológico y la colaboración entre instituciones (Altieri, 1998).

En lo que respecta a facilidades en políticas del medio ambiente, hay que considerar que las conclusiones del proyecto SANE fueron elaboradas y publicadas a unos escasos meses después de ser aprobada la Ley 81 de Medio Ambiente en 1997. En estos momentos las políticas medioambientales están más perfiladas, y los instrumentos legales para hacer cumplir las mismas están establecidos.

Se elaboró una Estrategia Ambiental Nacional y ésta fue ajustada a las características de las diferentes instancias y niveles que corresponde. Por otra parte, la ANAP, en el Pleno Anual correspondiente al año 2002, acor-

Tabla 1.3 Estimación de los progresos del Proyecto SANE-PNUD (Altieri, 1998)

Países	Cuba	Perú	Salvador	Mali	Uganda	Camerún	Senegal	Asia
Metas internas								
Independencia y autonomía: reducción de insumos externos, capacidad de innovación	•	•	✓	✓	✓	✓	✓	n.a.
Seguridad alimentaria	•	•	✓	✓	✓	✓	✓	n.a.
Conservación y recuperación del medio	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	n.a.
Técnicas agroecológicas: Conservación del agua y suelo	✓	•	✓	•	✓	✓	✗	
Conservación de la base genética <i>in situ</i>	✗	•	✓	✓	✓	✓	✗	
Diversificación de la producción	•	✓	✓	✓	✓	✓	✓	n.a.
Integración animal	•	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✗
Manejo orgánico del suelo	•	✓	•	✓	✓	✓	•	
Protección de plantas	•	✓	✓	✓	✓	✓	•	
Agroforestería	✓	✓	✓	✗	✓	•	✗	
Sistemas de fincas con manejo agroecológico	•	✓	✓	✓	✓	✓	✓	n.a.
Metas externas								
Técnicas agroecológicas a otros campesinos, técnicos, etc.	•	•	•	✓	✓	✓	✓	•
Diseminación y difusión en la adopción de técnicas agroecológicas en otros sitios	•	•	•	✓	✗	✓	✓	•
Colaboración con instituciones de investigación, ONG, universidades, etc.	•	•	✓	✓	✗	✓	✓	•
Mercado local	✓	•	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Mercado a distancia	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓
Capacidad institucional	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	•
Facilidades en políticas del medio ambiente	✓	•	✗	✗	✗	✗	✗	✓

- Avanzada, ampliamente implementada, impacto sustancial, bien desarrollada.
 - ✓ Nivel de implementación en progreso o medio, impacto notable, no bien desarrollado
 - ✗ Justamente iniciado, bajo nivel de implementación, impacto insignificante, no desarrollado
- n.a. No avanzado, no desarrollado

dó como política oficial del campesinado cubano el establecimiento de sistemas agrícolas agroecológicos. El sector cooperativo y campesino ocupa el 22 % de las tierras agrícolas del país, más de millón y medio de hectáreas de suelos productivos y potencialmente aptos para sustentar una explotación económica eficiente (Álvarez, 2001); los campesinos contribuyen con un porcentaje elevado, a la producción total de alimentos, de ahí la importancia de esa decisión.

La implementación de sistemas agrícolas orgánicos sostenibles es un proceso con múltiples etapas que afecta a sus diversos componentes, a cada uno de éstos corresponde una categoría según su importancia, así, los organismos plaga, por ejemplo, son considerados sólo como una variable en ese proceso. ¿Qué significado tiene esta idea? Significa que al problema de las plagas no se le puede buscar una solución que se dirija estrictamente a resolver éste de una manera puntual. Esta idea permite diseñar estrategias de manejo más armónicas, que consideran el conjunto de componentes y variables y sus diversas interrelaciones, otorgándoles a cada una la importancia relativa que realmente tienen. La esencia es que no se pueden establecer programas exitosos de manejo ecológico de plagas en el tiempo sin tener en cuenta los otros componentes y variables del sistema agrícola. El manejo ecológico de plagas por sí sólo no hace sostenible al sistema agrícola, pero su ausencia convierte en quimera este objetivo.

BIBLIOGRAFÍA

- Adisson, K. 1998. Albert Howard: Journey to Forever. Disponible en http://www.journeytoforever.org/farm_library/howard.html. Conectado el 5 de enero de 2002.
- Altieri, M. A.; P. Rosset. 1996. Agroecology and the conversion of large-scale conventional systems to sustainable management. *International Journal of Environmental Studies* 50: 165-185.
- Altieri, M.A. 1997. Agroecología. Bases científicas para una Agricultura Sustentable. CLADES-ACAO, La Habana, Cuba: 249 p.
- Altieri, M.A. 1998. Farmers, NGOs and lighthouses: Learning from three years of training, networking and field activities. A monograph. A UNDP-Sponsored Programme-INT/93-201: 10 p.
- Álvarez, Mavis. 2001. Estructuras de producción y sostenibilidad en la agricultura campesina cubana. p. 71-92. *En: F. Funes et al. (eds.), Transformando el campo cubano: Avances de Agricultura Sostenible.*

- ACTAF-CEAS-Food First, La Habana, Cuba.
- Chávez, A. 2001. Entrevista a Leonardo Boff. p. 123-132. *En: Memorias de papel, conversaciones*. Instituto Cubano del Libro, Editorial José Martí, La Habana, Cuba.
- CITMA. 1997. Estrategia Ambiental Nacional. Disponible en <http://www.medioambiente.cu/estrategiaambiental.asp>. Conectado el 10 de diciembre de 2002.
- Companioni, N. 2003. Sistemas de producción y diseño predial. p. 109-117. *En: Manual de Agricultura Orgánica Sostenible*. FAO-INIFAT, La Habana, Cuba.
- Cuba. 1997. Ley No. 81 del Medio Ambiente. Gaceta Oficial de la República de Cuba. Edición Extraordinaria, La Habana, 11 de julio de 1997, Número 7:47-96.
- Cuba. 2002a. Estrategia para el Desarrollo de Producciones Orgánicas en el Ministerio de la Agricultura. Ministerio de la Agricultura, La Habana, Cuba: 14 p.
- Cuba. 2002b. Estadísticas. Sala provincial de análisis del MINAZ, Villa Clara, Cuba.
- Cuba. 2003. Productos orgánicos más representativos. Comité de Producciones Orgánicas del Ministerio de la Agricultura. Ministerio de la Agricultura, La Habana, Cuba: 4 p.
- Diouf, J. 2003. Discurso del Director General de la FAO en la ceremonia celebrada en la sede de la FAO con ocasión del Día Mundial de la Alimentación de 2003. Roma, 16 de octubre de 2003. Disponible en <http://www.fao.org/spanish/dg/2003/WFDRome.html>. Conectado el 7 de enero de 2004.
- Diver, S. 1995. An introduction to Permaculture. Disponible en <http://www.esf.colorado.edu/perma/faq.html>. Conectado el 5 de enero de 2002.
- Eguillor, P. 2001. El Mercado de los productos Orgánicos. Mercados Agropecuarios, Edición N° 109 Agosto. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Santiago de Chile, Chile: 5 p.
- FAO. 1999. Directrices para la producción, elaboración, etiquetado y comercialización de alimentos producidos orgánicamente. Comisión del Codex Alimentarius FAO/OMS, Roma, Italia.
- FAO. 2001. Qué es la Agricultura Orgánica. Disponible en: <http://www.fao.org/organicaag.default-s.htm>. Conectado el 10 de noviembre 2002.

- Fundora, O.; Eolia Treto; A. Piñeiro; Nilda Pérez; Lidia Angarica; A. Casanova; H. Hernández. 2000. Informe Final de Proyecto 00800069: Producción agropecuaria en Faro Agroecológico de la CPA "28 de Septiembre". Instituto de Ciencia Animal, La Habana, Cuba: 33 p.
- Funes, F.; L. García; M. Bourque; Nilda Pérez; P. Rosset (eds.). 2001. Transformando el campo cubano: Avances de Agricultura Sostenible. ACTAF-CEAS-Food First, La Habana, Cuba.
- Funes-Monzote, F. 1998. Sistemas de producción integrados ganadería-agricultura con bases agroecológicas: Análisis y situación perspectiva para la agricultura cubana. Tesis en Opción al Título Académico de Master en Ciencias. Universidad de Andalucía, Andalucía. España: 124 p.
- García, J. 2002. Situación actual y perspectivas de la agricultura orgánica en Latinoamérica. Acta Académica de la Universidad Autónoma de Centro América (Costa Rica). Disponible en: <http://www.uaca.ac.cr/acta.html>. Conectado el 15 de junio de 2002.
- García, Margarita, Eolia Treto; Nilda Pérez; Lucy Martín; Lidia Angarica; A. Casanova; R. García; Maité Álvarez; R. Rivera; Josefina Gómez. 1999. Informe final de Proyecto 00200065: Manejo agroecológico de la producción de alimentos en el sector cooperativo. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, La Habana, Cuba: 34 p.
- Kilcher, L. 2001. Production and trade constraints upon organic products from developing countries. Genova. United Nations: 24 p.
- Lampkin, N.H.; M. Measures. 1995. Organic Farm Management Handbook. University of Wales, Aberystwyth, Elm Farm Research Center, UK.
- Mertos, J. 1996. A short history of organic gardening. Disponible en <http://www.mertus.org/gardening/organic.htm>. Conectado el 5 de enero de 2002.
- MOA. 1989. Agricultura Natural Da Moa. Boletim nº1, Série-Agr. Natural MOA. Departamento de Agricultura Natural, MOA-Associação Mokiti Okada do Brasil, Sao Paulo, Brasil: 64 p.
- Monbiot. G. 2000. "Organic Farming will feed the world. Astonishingly It's more productive than high-tech agriculture". Disponible en: <http://www.psrast.org/orgfarmmonbiot.htm>. Conectado el 12 de enero de 2002.
- Pérez, Nilda. 2003. Agricultura Orgánica: bases para el manejo ecológico de plagas. CEDAR-ACTAF-HIVOS, La Habana, Cuba: 80 p.
- Pérez, Nilda; Josefina Gómez. 1999a. Informe final de tarea 02: Manejo

- agroecológico de plagas en cultivos varios del Proyecto 00200065: Manejo agroecológico de la producción de alimentos en el sector cooperativo. Universidad Agraria de La Habana, La Habana, Cuba: 10 p.
- Pérez, Nilda; Josefina Gómez. 1999b. Regulación natural de *Brevicoryne brassicae* (Homoptera: Aphididae) sobre *Brassica oleracea* var. *capitata*. p. 90-95. *En: Ciencia en la UNAH, Universidad Agraria de La Habana, La Habana, Cuba.*
- Pérez, Nilda; L.L. Vázquez. 2001. Manejo Ecológico de Plagas. p. 191-224. *En: F. Funes et al. (eds.), Transformando el campo cubano: Avances de Agricultura Sostenible. ACTAF-CEAS-Food First, La Habana, Cuba.*
- Pérez, Nilda; Lidia Angarica; Eolia Treto; Josefina Gómez; A. Casanova; Margarita García. 1998: Regulación de plagas en un sistema de producción con bases agroecológicas. p. 7-8. *En: Ponencias Forum Tecnológico sobre Manejo Integrado de Plagas, 12-13 de Septiembre de 1998, Matanzas, Cuba.*
- PHMC. 2001. J.I. Rodale and the Rodale Family. Celebrating 50 years as advocate for sustainable agriculture. Disponible en <http://www.dep.state.paenvher/paenvher.htm>. Conectado el 12 de enero de 2002.
- Pretty, J. 1995. Regenerating Agriculture: policies and practices for sustainability and self-reliance. Earthscan Publishing, London, UK.
- Pretty, J. 2001. Appropriate Technology for Sustainable Food Security Farmer-Based Agroecological Technology. Disponible en http://www.ifpri.cgiar.org/2020/focus/focus07/focus07_02.htm. Conectado el 4 de mayo de 2002.
- Rosset, P. 1999. La crisis de la agricultura convencional, la sustitución de insumos y el enfoque agroecológico. p. 2-12. *En: Agroecología y Agricultura Sostenible, Módulo I, Agroecología: Bases históricas y teóricas. CEAS-ACTAF, La Habana, Cuba.*
- Rosset, P.; M. Bourque. 2001. Introducción: Lecciones de la experiencia cubana. *En: Transformando el campo cubano: Avances de Agricultura Sostenible, F. Funes et al. (eds.). ACTAF-CEAS-Food First, La Habana, Cuba.*
- SANE. 1999. Informe final de Proyecto-INT/93-201: Sustainable Agricultural Networking and Extension, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, La Habana, Cuba: 47 p.
- Scialabba, Nadia. 2000. Factors Influencing Organic Agriculture Policies:

- With A Focus On Developing Countries. *In*: IFOAM 2000 Scientific Conference, Basel, Switzerland, 28-31 August 2000. Disponible en: <http://www.fao.org/organicag.default-s.htm>. Conectado el 10 de julio de 2002.
- Silguy de, Catherine. 1997. L'Agriculture Biologique. Collection "Que sais-je?", Presses Universitaires de France. Disponible en <http://www.inti.be/ecotopie/bio.htm>. Conectado el 12 de enero de 2002.
- Stockdale, E. A.; N.H. Lampkin; M. Hovi; R. Keatinge; E.K.M. Lennartson; D.W. Macdonald; S. Padel; F.H. Tattersall; M.S. Wolfe; C.A. Watson. 2001. Agronomic and environmental implications of organic farming systems. *Advances in Agronomy* 70: 261-327.
- Treto, Eolia; Nilda Pérez; O. Fundora; A. Casanova; Lidia Angarica y F. Funes. 1997. Algunos resultados del proyecto SANE-Cuba. p. 75-81. *En*: Conferencias del III Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica. Universidad Central de Las Villas, Villa Clara, Cuba, 12-16 de mayo 1997.
- Valdés, O. 2003. Historia de la Reforma Agraria en Cuba. Editorial de Ciencias Sociales, La Habana, Cuba: 206 p.
- Vasilikiotis, C. 2000. Can Organic Farming "Feed the World"? Disponible en <http://www.cnr.berkeley.edu/~christos/articles/cvorganic-farming.htm>. Conectado 5 de mayo de mayo del 2002.

Capítulo II

EL PROBLEMA DE LAS PLAGAS

INTRODUCCIÓN

Hace más de 60 años que se comenzaron a producir y comercializar los plaguicidas de síntesis química, con la esperanza de encontrar una solución a los problemas que en aquel entonces se presentaban con las plagas. La realidad muestra resultados bien diferentes a los esperados. Independientemente de que globalmente se aplican aproximadamente tres millones de toneladas de plaguicidas cada año las pérdidas por ataque de plagas superan el 40 % (Pimentel, 1998). El control químico ha estado en el centro de la atención desde la aparición de los plaguicidas hasta el presente. Esa situación se ha mantenido, aunque hace más de 30 años se enunciaron los principios del Manejo Integrado de Plagas. Muchos de los programas de manejo de plagas que se diseñan basados en el control químico no tienen en cuenta las múltiples interrelaciones entre las posibles plagas y otros componentes del agroecosistema y se dirigen a resolver un problema particular. Esta concepción es una de las primeras barreras que hay que romper para enfrentar el problema de las plagas. En este capítulo se discute acerca de la validez ecológica del concepto de plaga; se analizan varias de las causas por la que un organismo adquiere la categoría de plaga: el monocultivo, el uso intensivo de plaguicidas, el uso intensivo de fertilizantes y la introducción accidental o deliberada de organismos no nativos, además se describen las etapas por las que ha transitado la Protección Vegetal en Cuba.

CONCEPTO DE PLAGA

Existe la costumbre generalizada de pensar en los insectos cuando se hace referencia a un organismo plaga. Esto es así porque históricamente

el término se utilizó para referirse justamente a los insectos. En la actualidad, y en este texto, bajo esa denominación se incluye cualquier organismo que en un momento dado pueda causar daño, desde los más inferiores como los hongos, bacterias y nematodos, hasta los más evolucionados mamíferos.

El término plaga es un concepto antrópico, que evolucionó desde un juicio ético-religioso hasta la concepción economicista actual. La preocupación por las plagas ha sido una constante en la historia de la humanidad. No son pocas las hambrunas, que desde los tiempos bíblicos se han relacionado con los ataques de plagas. En Éxodo 10¹³, segundo libro del Antiguo Testamento, se describen las 10 plagas que cayeron sobre los egipcios, tras la elección de Moisés por Dios para encabezar la salida de los israelitas de Egipto. El octavo suplicio egipcio era la plaga de las langostas, *“Moisés extendió su brazo sobre Egipto, y el Señor hizo venir un viento del este que sopló sobre el país todo el día y toda la noche. Al día siguiente, el viento del este había traído las langostas, las cuales invadieron todo el país. Nunca antes hubo, ni habrá después, tantas langostas como en aquel día, pues cubrieron la tierra en tal cantidad que no se podía ver el suelo, y se comieron todas las plantas y toda la fruta que había quedado en los árboles después del granizo. No quedo nada verde en ningún lugar de Egipto: ni en el campo ni en los árboles”* (Sociedades Bíblicas Unidas, 1989). La langosta del norte de África, *Schistocerca peregrina* (Forsk.) es la que se sospecha pudiera ser la mencionada en la Biblia.

Esta historia bíblica, refleja como en tiempos pasados existían inquietudes éticas respecto al fenómeno de las plagas en la agricultura, de modo que se asociaban los brotes de plagas con perturbaciones de las relaciones morales entre los seres humanos. Las plagas se evaluaban como castigo por insensibilidad moral de los hombres.

Un organismo¹ cualquiera es considerado plaga cuando causa daño al hombre, a sus cultivos, animales o a la propiedad. En términos agrícolas, se clasifica como plaga cuando el daño que causa al cultivo o a los animales es suficiente para reducir el rendimiento y/o calidad del producto cosechado, en una cantidad tal que es económicamente inaceptable para el productor (Dent, 1993).

Hasta el presente, de toda la fauna identificada mundialmente cerca del 60 % son insectos. El número de especies de insectos y microorganismos no identificados es de cientos de millones y de éstos,

¹ Los virus aunque no se consideran organismos se incluyen en la categoría de plaga.

solo unos pocos cientos son considerados plagas (Benbrook *et al.*, 1996). Se ha estimado que 67 000 especies de organismos nocivos atacan los cultivos agrícolas en diferentes partes del mundo. En general, solamente 5 % de éstos son considerados como plagas principales (Pimentel, 1993).

En la práctica la categoría de plaga se aplica a cualquier organismo que en un momento dado pueda provocar un daño, independientemente de la magnitud de éste, pero se da el caso para algunas especies consideradas plagas de actuar como tal en una circunstancia dada, y en otras como organismos no perjudiciales, como puede suceder con los insectos, la vegetación espontánea y determinados microorganismos, entre los que se incluyen hongos y bacterias. Por ejemplo, los hongos como grupo en una comunidad o ecosistema, pueden ocupar diferentes niveles tróficos; y en dependencia de cual ocupen son catalogados como nocivos o no por el hombre, aun perteneciendo al mismo género, y en ocasiones hasta a una misma especie. Entre los hongos se pueden identificar los saprofitos, los patógenos de las plantas, los antagonistas y los entomopatógenos. En algunos géneros se puede dar el caso de encontrar todas esas categorías, como ocurre con *Verticillium*.

Otro ejemplo para pensar es el de las hormigas y termitas, las cuales se caracterizan por sus elevadas poblaciones y son consideradas plagas en muchos lugares del mundo. Se ha estimado que representan el 20 % de la biomasa animal total de la Tierra (Ramel, 1996 citado por Benbrook *et al.*, 1996). Es muy probable que en los ecosistemas tropicales, junto con las avispas, representen más de la mitad de la biomasa total de insectos presentes, jugando un papel decisivo en el reciclaje de ésta y en la cadena alimentaria que soporta el reino animal. Por esto, a pesar de su categoría como organismo plaga, es indudable que son esenciales para el funcionamiento de los ecosistemas (Benbrook *et al.*, 1996).

Por otra parte, muchas especies de hormigas son depredadoras y se trasladan desde la vegetación natural a los campos de cultivo para practicar el forrajeo y garantizar la alimentación. Por ejemplo, en Cuba es una práctica tradicional el traslado de nidos de hormigas del género *Pheidole* a los campos de cultivo para el control de plagas de insectos. Esta práctica no se limita a las fincas o cooperativas de campesinos, sino que es extensiva a gran parte de las áreas cultivadas donde se siembran o plantan cultivos que pueden ser hospedantes de las plagas que se regulan en presencia de estas hormigas (Pérez, 1996).

En términos ecológicos el concepto plaga no existe, lo que sucede es que los organismos ocupan diferentes posiciones en la cadena trófica y

sus poblaciones se regulan en un ambiente dado en función de la abundancia del alimento y de sus enemigos, en condiciones naturales no existen plagas sino sólo consumidores que viven a expensas de productores.

El aumento de las poblaciones de los organismos considerados plagas es una solución que la naturaleza encuentra para resolver un desequilibrio existente. Por ejemplo, un monocultivo no es una situación natural, es un desequilibrio de la población vegetal, esta situación la naturaleza tiende a resolverla mediante la regulación de esos individuos, en este caso el vegetal. En los monocultivos se manifiestan problemas con la nutrición, las denominadas malezas que compiten con la planta de cultivo y los depredadores de todo tipo, algunos de los cuales entran en la categoría antrópica de plaga. Bajo condiciones naturales se pueden encontrar ecosistemas de baja diversidad vegetal “semejando monocultivos” donde existen fitófagos y otros organismos en poblaciones elevadas, estos generalmente se alimentan de los individuos más débiles y prestan un servicio inapreciable en la selección natural, coevolucionando con estas plantas. Como se evidencia, el término plaga, tal como el hombre lo aplica, carece de validez ecológica (Metcalf y Luckman, 1990).

SITUACIÓN QUE ENFRENTA LA AGRICULTURA CONVENCIONAL RESPECTO A LAS PLAGAS

Apenas transcurridos unos pocos años a partir del momento en que se inició la producción industrial de plaguicidas, comenzaron a manifestarse los efectos nocivos de éstos sobre el ambiente y la salud. En 1962 se publicó “*Silent Spring*” (Primavera Silenciosa), de Rachel Carson; este libro es una advertencia elocuente y urgente sobre los peligros de los plaguicidas sintéticos, y hoy, a 42 años de su publicación, continúa vigente, pues tristemente muchas de las advertencias hechas se han convertido en realidad (Carson 1980). Theo Colborn, John Peterson Myers y Dianne Dumanoski escribieron en 1994 “*Our Stolen Future*”, que en 2001 fue publicado en español con el título “*Nuestro Futuro Robado*”. Este libro es de una importancia trascendental, pues plantea nuevas interrogantes acerca de las sustancias químicas sintéticas y el futuro de la vida sobre la Tierra.

Los brotes intensos de plagas a finales de los años 50 del siglo pasado, especialmente en el cultivo del algodón, condujeron a pensar en una nueva concepción para el control de plagas. En esa década se discuten y formulan las ideas principales del entonces denominado Control Integrado (Bartlett, 1956), que dio origen al actual Manejo Integrado de Plagas

(MIP). El MIP representó un cambio completo en la filosofía del control de plagas, cambio que fue de la erradicación al manejo. Desde el surgimiento del concepto se ha hecho énfasis en que el objetivo central del MIP es resolver los problemas de plagas para lograr maximizar los rendimientos y a la vez, reducir el uso de plaguicidas; esto se ha logrado en algunos cultivos para determinados organismos, pero en general, a pesar de la gran cantidad de programas de MIP que se han implementado en numerosos países, la tendencia que prevalece es la de aumentar el uso de plaguicidas. Basta con revisar las estadísticas para comprobar esto. Las ventas de plaguicidas oscilan entre periodos de estancamiento y los de real crecimiento (Jeger, 2000). Entre los años 1994 y 2001 las ventas globales de plaguicidas oscilaron alrededor de los 30 000 millones de dólares (Allison, 2002).

Según estimados de la Organización Mundial de la Salud (OMS), cada año ocurren en el mundo aproximadamente tres millones de casos de intoxicaciones agudas por plaguicidas. Se estima que otros que no se notifican sean de agudos a leves. Estas intoxicaciones causan 220 000 defunciones por año. Al respecto un lugar donde se presenta una situación muy crítica es Centro América, que ha devenido una de las regiones de mayor consumo de plaguicidas del mundo; aumentó en ocho años en más del doble, de 18 000 t en 1992 a 45 000 t en el 2000 (Rosenthal, 2002). En una investigación realizada por la Organización Panamericana de la Salud, para estimar los casos de envenenamiento no reportados en la región, en la que se utilizaron técnicas de captura y recaptura estadística (de las que se emplean normalmente para estimar las poblaciones de animales salvajes) comparando el número de envenenamientos notificados con la población general censada para ese período, se encontró lo siguiente (Murray *et al.* 2002):

- el 98% de los de envenenamiento con plaguicidas no se informan
- el 76% de los afectados son trabajadores del sector agrícola
- el índice de envenenamiento anual es de 400 000 víctimas
- el 5 % de las personas expuestas presentaron síntomas de envenenamiento
- Los plaguicidas responsables de la mayoría de los envenenamientos en los siete países de la región Centroamericana son: aldicarb, fosfuro de aluminio, carbofuran, chlorpyrifos, endosulfan, ethoprophos, methamidophos, methomyl, methyl parathion, monocrotophos, paraquat y terbufos.

Los efectos de los plaguicidas sobre la salud están ampliamente documentados en la literatura científica. Esa es una de las razones por la que para numerosas personas de múltiples círculos está cada vez más clara la idea de que la solución al problema de las plagas no puede estar centrada en el uso de plaguicidas. Los cambios que han de producirse en los programas de control de plagas, han de ir mucho más allá de la simple sustitución de medidas de control químico por otras menos nocivas y ambientalmente seguras. Esta última idea es esencial para el establecimiento de sistemas de producción orgánicos.

En la historia de la protección de plantas pueden identificarse tres períodos; a cada uno de los cuales corresponde un paradigma: el Patogenicismo, el Quimicismo y el Ambientalismo (Zadoks, 1991). La etapa del Ambientalismo se inició en 1990 (Zadoks, 1993). En la actualidad se está produciendo el cambio de paradigma. Éste es un proceso gradual y quizás requiera mucho más tiempo que los dos primeros, pues la magnitud de los cambios que han de realizarse va mucho más allá del campo de la protección de plantas. El énfasis en el cambio ha de ser puesto en el “diseño de sistemas agrícolas complejos, sistemas, donde las interacciones ecológicas y la sinergia entre los componentes biológicos, reemplacen a los insumos, para proporcionar los mecanismos necesarios para el mantenimiento de la fertilidad de los suelos, la productividad y la protección de los cultivos” (Altieri, 1997).

En esta nueva etapa existen muchas incógnitas por esclarecer. Se precisa diagnosticar cuáles son los principales problemas que enfrenta la protección vegetal, revisar las concepciones que han primado y priman en su solución, analizar bajo qué principios se deben solucionar éstos e identificar que es lo que se necesita para revertir la situación existente; además es necesario profundizar en las investigaciones dirigidas a la implementación de sistemas de manejo más integrales y de los métodos y técnicas que se han de utilizar. Una cuestión esencial es ¿será suficiente para resolver los problemas de plagas, el diseño de estrategias que sólo se dirijan a la solución de estos problemas? Las posibles respuestas a estas incógnitas necesitan ser discutidas.

CAUSAS QUE DETERMINAN QUE UN ORGANISMO ADQUIERA LA CATEGORÍA DE PLAGA

Existen circunstancias que propician que un organismo adquiera la categoría de plaga. Cuando éstas aparecen, es una manifestación de que algo

funciona mal en el agroecosistema, de que existe un desbalance ecológico. “Si procedemos a eliminar la manifestación sin atender las causas, puede ocurrir que en breve estemos enfrentando una situación similar. Estaríamos perpetuando un procedimiento que alivia síntomas en lugar de atender a las causas reales del desbalance ecológico” (Rosset, 1999). Por eso es fundamental conocerlas. Las causas por las que un organismo cualquiera se convierte en plaga son numerosas, complejas y están muy relacionadas entre sí. Las que a continuación se discutirán son las que con más frecuencia aparecen en los artículos y textos que se ocupan de ese tema (tabla 2.1).

Tabla 2.1 Prácticas que han favorecido brotes de plagas

Prácticas	Factores Modificados
Monocultivo	Alimento Competencia
	Organismos benéficos Alelopatía Prácticas de cultivo
Uso intensivo de plaguicidas	Organismos benéficos Susceptibilidad (Resistencia) Hormoligosis (Trofobiosis)
Uso intensivo de fertilizantes	Nutrición (Trofobiosis) Organismos benéficos Enemigos naturales
Introducción accidental o deliberada de organismos no nativos	Alimento Enemigos naturales

Los grandes cambios producidos en los sistemas agrícolas a mediados del siglo pasado encierran en sí la mayor parte de las causas actuales por las que un organismo puede alcanzar la categoría de plaga. Entre los elementos que posibilitaron el cambio se encuentran: el desarrollo de la industria de plaguicidas y fertilizantes sintéticos, que constituyeron una premisa para la revolución genética que tuvo lugar entre los años 50 y 60 del siglo pasado y la incipiente industria que garantizaría los equipos necesarios para la mecanización que requeriría una agricultura a gran escala. La llamada «Revolución Verde» enfatizó la obtención de variedades nuevas, de altos rendimientos, que tenían aseguradas la protección contra las plagas y los nutrientes necesarios para expresar su potencial productivo.

En los países con mayor desarrollo agrícola se sustituyeron las variedades nativas por las mejoradas, lo cual contribuyó a la concentración de las tierras de cultivo, al aumento del tamaño de las fincas y por tanto, a una mayor extensión de los campos de cultivo. Dichas condiciones posibilitaron el desarrollo del monocultivo a gran escala, que a diferencia de los agroecosistemas diversificados, tienen atributos que generalmente aumentan las probabilidades de ataque de organismos nocivos (Altieri, 1992).

Monocultivo

La menor complejidad de los agroecosistemas, comparados con los ecosistemas naturales, es considerada uno de los factores de mayor importancia como causa de aparición de plagas (Risch, 1987). De esta causa primaria se derivan otras, que no por ello, son menos importantes. “La agricultura implica la simplificación de la biodiversidad y ésta alcanza su forma extrema en los monocultivos” (Altieri, 1992). Los ambientes simplificados ofrecen a la vez, un hábitat altamente favorable para el desarrollo de las plagas y desfavorable para los enemigos naturales de éstas (Dent, 1993).

En el caso de un insecto plaga, si se analiza la interacción *competencia*, se verá que el recurso *alimento* (el cultivo) se encuentra disponible en grandes cantidades; si éste no es un recurso limitante, la competencia no tiene lugar y el mecanismo de regulación natural *alimento*, deja de funcionar. El tiempo de búsqueda es menor, por tanto, el peligro del encuentro con depredadores o parasitoides también disminuye y las poblaciones de los organismos para los cuales ese recurso es esencial experimentan un aumento en la tasa de crecimiento.

Otro mecanismo de regulación que deja de funcionar en los monocultivos es el control natural. Los monocultivos son ambientes en los que es difícil inducir un control biológico eficiente, porque no poseen los recursos adecuados para la actuación efectiva de los enemigos naturales (Altieri, 1992). Esto no quiere decir que el simple hecho de la existencia del monocultivo provoque automáticamente una mayor vulnerabilidad al ataque de plagas. En los ecosistemas naturales pueden encontrarse comunidades de plantas donde predomina una determinada especie en cantidad tal, que puede considerarse como un “monocultivo”; sin embargo, esto no las hace más susceptibles al ataque de las plagas, ¿dónde está la diferencia?

La diferencia radica en la naturaleza de las prácticas culturales que caracterizan la intervención humana en los sistemas agrícolas monoculturales. Ese aspecto es más importante que la magnitud de la intervención, la cual brinda una idea del grado de artificialización del sistema. Por ejemplo los esfuerzos por maximizar los rendimientos llevan al agricultor a establecer prácticas como: la aplicación indiscriminada de plaguicidas y fertilizantes químicos inorgánicos, uso intensivo de la mecanización y complejos sistemas de manejo del agua. En tales sistemas el grado de artificialización es alto y así también lo es la vulnerabilidad, pero asociar mecánicamente lo uno con lo otro puede conducir a conclusiones erradas.

Existen sistemas en los que el grado de artificialización es muy alto como ocurre en los lugares donde se practica la agricultura urbana y periurbana, tal como están establecidas en Cuba. La primera artificial y la segunda semi-artificial, ambas muy antropizadas, pero con una gran diferencia respecto a otros sistemas con un grado de intervención humana también alto, dado que las prácticas culturales en la agricultura urbana y periurbana, que permiten una gran diversidad de cultivos tanto espacial como temporalmente, tienden a restablecer y desarrollar mecanismos naturales de regulación, mientras que las prácticas implementadas en los sistemas agrícolas industriales conllevan a sustituir esos mecanismos, ya que al eliminar la diversidad vegetal para producir la especie económica desencadenan los acontecimientos degradantes que tienen lugar en éstos.

Hay dos tipos de intervención humana: a favor de la naturaleza y en contraposición a ésta. El hecho no está en que el hombre intervenga más o menos, si no en cómo lo hace, pues la agricultura es una actividad en la que necesariamente ha de producirse la intervención humana.

El desplazamiento de la vegetación natural que tiene lugar cuando se implanta el monocultivo provoca la destrucción del hábitat natural de la fauna benéfica con la consiguiente reducción de sus fuentes de alimento y una disminución en la reproducción de la misma. Con la disminución de la diversidad ocurre una disrupción del control natural y de otras funciones que realizan los organismos benéficos como: polinización, la aireación del suelo y el reciclaje de nutrientes.

La consecuencia inmediata al aumento de las poblaciones de los organismos plaga es la aplicación de una medida de control de respuesta rápida; esa medida es generalmente de naturaleza química. La aplicación de plaguicidas puede tener un impacto mayor sobre los enemigos

naturales que sobre las mismas plagas, pues éstos, por regla general, son más susceptibles (Croft, 1990). Por esa razón, las poblaciones de biorreguladores, de por sí bajas en los sistemas monoculturales, se tornan aún más exiguas después de cada aplicación. Este hecho es la causa de la resurgencia de plagas y de la aparición de plagas secundarias inducidas.

Otra circunstancia que contribuye a la aceleración de dicho proceso es el uso intensivo de fertilizantes inorgánicos. La aplicación indiscriminada de fertilizantes provoca un desbalance nutricional en los tejidos de las plantas que las hace más vulnerables (Chaboussou, 1987).

Respecto a los patógenos, el monocultivo continuo de plantas genéticamente similares ofrece a éstos un hospedante permanente, lo que aumenta el potencial de las enfermedades, situación que se hace más crítica cuando se han sembrado o plantado genotipos susceptibles. Las prácticas de mejoramiento, incluyendo la resistencia a enfermedades, generalmente enfatizan uniformidad genética, lo que trae como consecuencia una reducción drástica de la diversidad genética, que ha ocasionado el desarrollo de epifitotias devastadoras (Castaño-Zapata, 1992).

Uso intensivo de plaguicidas

El uso intensivo de plaguicidas se encuentra entre las principales causas de brotes de plagas en los sistemas agrícolas modernos. Al menos, son los insecticidas los que mayor influencia tienen sobre los brotes de plagas de insectos (Dent, 1993). Esta influencia viene dada porque se aplican y fallan en el control del organismo hacia el cual se dirigió la aplicación o porque inducen la creación de nuevas plagas. En el estudio del problema, entre los múltiples factores analizados, hay dos considerados claves: el efecto de los plaguicidas sobre los enemigos naturales (Croft, 1990; Trichilo y Wilson, 1993) -al que ya se hizo referencia- y el desarrollo de resistencia de las plagas a los productos usados.

La rápida aparición de plagas en los bananales de Golfito, en Costa Rica, en los años 50 del siglo pasado, es un ejemplo de esto. En 1950 existían dos plagas claves, el picudo negro *Cosmopolites sordidus* (Germar) y el piojillo raspador rojo *Chaetanaphothrips orchidii* (Moulton); después de las aplicaciones masivas de dieldrín, en 1954 aparecieron dos organismos más como plagas primarias, y en 1958, seis. En menos de una década ocho plagas secundarias se convirtieron en primarias, debido al efecto de dieldrín sobre sus enemigos naturales (Stephens, 1984, 1992).

Pero el caso más espectacular no es precisamente el del banano. Cuando se pretende analizar la influencia de las aplicaciones intensivas de plaguicidas sobre las poblaciones de organismos nocivos, uno de los ejemplos más completos y alarmantes que se encuentra es el del algodón. La historia de la crisis ecológica producida se desarrolló de forma muy similar en las plantaciones de Texas, Centroamérica, Perú y Egipto. A fines de los años 40 del siglo pasado comienzan a introducirse en las plantaciones de algodón los nuevos insecticidas clorados. La producción de algodón aumentó aceleradamente. En Centro América, al cumplirse la primera década de la introducción, los rendimientos habían ascendido de 1 550 a 2 270 kg/ha (aumentaron 1.46 veces). En los años 60 del siglo XX la producción de algodón crecía a un ritmo anual de 7.8 % (Murray, 1994), por lo que dicho cultivo se convirtió en el eje del desarrollo económico de la región. Las condiciones climáticas prevalecientes en la mayor parte de las regiones algodonerías del mundo favorecen el desarrollo de las plagas. Muchos de los insectos que se alimentan de esta planta nacen dentro del capullo o se introducen en éste inmediatamente después de su nacimiento por lo que permanecen protegidos de la mayoría de las aplicaciones de plaguicidas. Con la intención de reducir esas poblaciones insectiles no expuestas se recomendaban múltiples aplicaciones.

La consecuencia principal de los desequilibrios provocados por los plaguicidas es la necesidad de aplicar más plaguicidas. Los efectos secundarios de un producto crean la necesidad de un segundo producto, haciendo que los productores caigan en el denominado *pesticide treadmill* (círculo de los plaguicidas). En 1978, la cantidad de plaguicidas aplicados en Centro América ascendió a 32 552 018 kg de ingrediente activo y los insecticidas representaban el 85 % del total aplicado (Leonard, 1987). A la par que se ampliaba la superficie sembrada y la disponibilidad de nuevos insecticidas, aumentaba la cantidad de aplicaciones y crecía el número de especies de insectos plaga (tabla 2.2).

Entre las explicaciones que se han dado a este problema y otros similares está la disminución de las poblaciones de enemigos naturales. En Arkansas (U.S.A.) se han informado más de 600 especies de depredadores y parasitoides que habitan en las plantaciones de algodón, capaces de realizar una eficaz labor al mantener a la mayoría de las plagas de insectos a niveles poblacionales por debajo del umbral económico. Pero el valor de éstos en el control biológico natural fue apreciado sólo después de la introducción de los insecticidas sintéticos (Metcalf y Luckman, 1990).

Tabla 2.2 Uso de insecticidas y especies de insectos plagas en algodónero en Centro América (ICAITI, 1977; van den Bosch, 1978)

Año	1950	1955	1960	1978
Aplicaciones	0-5	5-10	25-30 (hasta 50)	30 (hasta 50)
Plagas principales	Picudo <i>Alabama</i>	Picudo <i>Alabama</i>	Picudo <i>Alabama</i>	15 especies de plagas persistentes Más de 9 especies ocasionales
	Langosta medidora	<i>Heliothis</i> Áfidos Falso gusano rosado <i>Creontiades</i> Chinches (tres especies)	<i>Heliothis</i> <i>Spodoptera</i> spp. Mosca blanca <i>Trichoplusia</i> <i>Creontiades</i>	

Al efecto de los insecticidas se suma la exigencia de mantener los campos de cultivo libres de malezas, por las necesidades de la mecanización, lo cual hace que se incremente el uso de herbicidas, esto afecta aún más el hábitat de los depredadores y parasitoides; se produce así una disminución de los sitios de refugio y de nidada, y de las fuentes de alimento. Entre los organismos benéficos que pueden ser afectados por las aplicaciones de plaguicidas en general, están los que forman parte de la población microbiana del suelo; la disminución de las cuales puede provocar impactos negativos impredecibles sobre la sanidad de las plantas ya que las poblaciones de organismos benéficos precisan de mucho más tiempo para recuperarse que las poblaciones de las plagas; éstas últimas lo logran más rápidamente a causa de determinadas características de la población, como por ejemplo, un elevado número de individuos y su habilidad para desarrollar resistencia.

Las explosiones de plagas secundarias en algodónero comenzaron en los años cincuenta del siglo pasado y se asociaron con el uso del DDT, el toxafeno y el endrín, para el control de la chinche *Lygus hesperus* Knight. Al principio se establecieron estrategias para reducir el número de aplicaciones de insecticidas que dieron resultados, pero después fueron infructuosas. En 1965, año en que ocurren las primeras invasiones de *Pectinophora gossypiella* Saunders, se establece un programa de erradicación que incluía la aplicación de insecticidas de amplio espectro cada seis días. Hasta 1990 el cultivo había

recibido aproximadamente la mitad de los insecticidas agrícolas usados en el Valle Imperial de California. El aumento de la frecuencia de las aplicaciones hizo que se acelerara la aparición del fenómeno de resistencia.

¿Cómo se produce la resistencia? Teóricamente, las aplicaciones de plaguicidas eliminan temporalmente las plagas en la región donde son aplicados, pero lo que sucede en realidad es que raramente matan a todos los miembros de una población. En la región donde se realiza la aplicación, unos pocos individuos pueden sobrevivir, bien porque de algún modo evitan el contacto con la sustancia tóxica o porque pequeñas diferencias en su metabolismo le permiten tolerar ésta. Los sobrevivientes serán los progenitores de la próxima generación y al reproducirse pasan los genes de resistencia a la descendencia. Las aplicaciones continuas del plaguicida no logran suprimir la población de la plaga, pero sí eliminan de ésta los individuos susceptibles, a la vez que seleccionan los capaces de tolerar la aplicación. La resistencia es considerada como una consecuencia de procesos evolutivos básicos (NRC, 1986). Dado el caso en que el plaguicida sea utilizado constantemente, en una región extensa, puede llegar el momento en que resulte inefectivo para el control de la plaga.

Las aplicaciones continuas de insecticidas en algodónero provocaron, ya en 1968, que *Helicoverpa zea* Boddie (= *Heliothis*) y *Heliothis virescens* Fabricius desarrollaran resistencia a todos los insecticidas existentes en aquel entonces (Metcalf y Luckman, 1990). La resistencia arruinó la industria del algodón (van den Bosch, 1978; NRC, 1986; Metcalf y Luckman, 1990). La producción de algodón se desplomó como resultado de una crisis ecológica en la que están involucrados todos los posibles elementos del conocido *pesticide treadmill*, a saber: resistencia a los plaguicidas, brotes de plagas secundarias inducidas, resurgimiento de plagas y eliminación de enemigos naturales.

Fertilización mineral intensiva

A unos escasos años del inicio de la producción y uso de los fertilizantes inorgánicos, comienzan a surgir brotes de plagas nunca antes vistos, esto ocurrió de forma semejante a como sucedió con los plaguicidas de síntesis química, aunque, claro está de una manera mucho menos espectacular. El hecho de que la utilización masiva de fertilizantes inorgánicos coincidiera en el tiempo con la aplicación por primera vez de plaguicidas sintéticos, hizo que los nuevos problemas de brotes de plagas se relacionaran justamente con la disminución de las poblaciones de enemigos na-

turales, desviando la atención de los fertilizantes, como una posible causa también. Aun hoy, a pesar de existir numerosas evidencias, este tema es poco discutido. En la década del 60, un grupo de investigadores al frente de los cuales se encontraba el científico francés Francis Chaboussou, comenzó a estudiar la relación existente entre la nutrición del cultivo y los brotes de plagas, además de los cambios que se producían en la fisiología de la planta, no sólo por la aplicación de fertilizantes, sino también por los plaguicidas de síntesis química. Estos estudios llevaron a Chaboussou a enunciar una nueva teoría, que denominó «Trofobiosis». Posteriormente se realizaron numerosos ensayos que la corroboraron (Chaboussou, 1987) y quedó demostrado que la nutrición del cultivo es también un elemento clave a manejar en la regulación de los organismos plaga. En el capítulo 3 se hace un análisis más detallado del efecto de la nutrición sobre el desarrollo de los organismos nocivos.

Introducción accidental o deliberada de organismos no nativos

El incremento sostenido del intercambio comercial, fundamentalmente en la segunda mitad del siglo pasado y la necesidad de importar alimentos y otros productos y materiales entre muchas naciones, son causa también de la introducción de especies exóticas. Generalmente, ocurre la introducción de organismos nocivos en áreas geográficas donde pueden existir condiciones ambientales muy favorables para el desarrollo de elevadas poblaciones sin la presencia de sus enemigos naturales. En esas condiciones, el organismo introducido puede alcanzar la categoría de plaga.

También puede darse el caso de que se realicen introducciones de organismos considerados beneficiosos y que lleguen a crear un problema más serio del que se pretende resolver, si no se tiene un conocimiento completo de éste. En Cuba se tiene un ejemplo clásico, que es además el primer caso de importación de un enemigo natural que recoge la historia de la Sanidad Vegetal, se trata de la introducción (probablemente entre los años 1885 y 1890) de la mangosta, *Herpestes auropunctatus auropunctatus* (Hodgson), desde Jamaica, para combatir las ratas que devastaban los cañaverales de la región habanera (Santos, 2002). El daño causado por la mangosta fue muy superior al que ocasionaban las ratas.

Para la implementación de sistemas agrícolas sostenibles es esencial el conocimiento de la causas que provocan la aparición de plagas, pues esto

permite diseñar estrategias de manejo preventivas para evitar el aumento de las poblaciones; a estas estrategias estará dedicado el siguiente capítulo. La política establecida en Cuba para el control de plagas toma en cuenta el diseño e implementación de estrategias de manejo preventivo, de otro modo no sería posible reducir la dependencia de los plaguicidas.

SITUACIÓN DE LA AGRICULTURA CUBANA RESPECTO AL CONTROL DE PLAGAS

Cuando se analiza de manera general las etapas por las que ha transitado la historia de la protección de plantas en Cuba, se aprecia que ha trascurrido de forma similar a como se desarrolló en otras partes del mundo, pero como es de suponer, con características muy propias. En sus inicios, que corresponde al siglo XVIII, bajo una marcada influencia de la ciencia europea. En el siglo XX cambia el escenario, en los primeros 60 años la mayor influencia se recibe de los hombres de ciencia de Estados Unidos de Norteamérica. A partir del triunfo de la Revolución comienza un intercambio intenso con los países de Europa del Este, que conformaban el ex-campo socialista, fundamentalmente con la ex-Unión Soviética.

Paradigma del Patogenicismo. Etapa anterior al triunfo de la Revolución (1959)

En ese período, el énfasis estuvo en la identificación y registro de organismos nocivos en general. La fundación el 1^o de abril de 1904, de la Estación Experimental Agronómica de Santiago de las Vegas, con sus Departamentos de Entomología y Patología Vegetal, se considera como el punto de partida de la Entomología y Patología Agrícola en Cuba. En 1914 se crea la Oficina de Sanidad Vegetal, que surge como una necesidad de enfrentar las rígidas reglamentaciones que se establecieron en la Florida respecto a las importaciones de frutas y vegetales procedentes de Cuba y Las Antillas en general, a causa de la aparición de la mosca prieta de los cítricos, *Aleurocanthus woglumi* Ashby y el mosaico de la caña de azúcar. En 1916 se crea una Comisión de Sanidad Vegetal, con la finalidad de que atendiera las labores de inspección de la Comisión de Fitopatología y el control de los organismos plaga que iban apareciendo. Entre las publicaciones que contribuyeron al conocimiento y desarrollo de la protección vegetal en esa primera etapa se destacan: En 1918, "Los Insectos y la Agricultura" de Reginald Hard y "The Uredinales of Cuba" de John Robert

Johnston, en esta última se enumeran 138 especies de roya. En 1939 Melville Thurston Cook publica «Enfermedades de las Plantas Económicas Tropicales»; y en 1945, Stephen Cole Bruner, L. C. Scaramuzza y A. R. Otero publican “Catálogo de los Insectos que atacan a las plantas económicas de Cuba” (Martínez, 1977).

Antes de 1959, las cantidades de plaguicidas sintéticos que se importaban eran insignificantes. Las estrategias para el control de plagas estaban basadas fundamentalmente en prácticas culturales y en el uso de plaguicidas de naturaleza inorgánica (Faz, 1987).

Predominio del paradigma del Quimicismo, con discretos avances hacia el control biológico. Década de los años 60 y mitad de los años 70 del siglo XX

En este período el control de las plagas estuvo basado casi exclusivamente en el uso de los plaguicidas sintéticos. Hasta mediados de los años 70 del siglo pasado las aplicaciones de plaguicidas en los diferentes cultivos se hacían por programas, y se incluían dentro de las normas técnicas como una medida más a considerar (Cuba, 1974). Las aplicaciones de productos químicos según calendario no consideraban la dinámica poblacional de las plagas, la presencia de sus estadios más nocivos, el umbral de daños y la acción de los enemigos naturales (Jiménez, 2003).

Lo más notable en esta etapa fue la creación del Sistema Estatal de Protección de Plantas, el cual tiene como componente fundamental las Estaciones Territoriales de Protección de Plantas (ETPP). En mayo de 1975 se fundó la primera ETPP del país en el Municipio de Calimete, provincia de Matanzas, en el local que ocupaba el laboratorio de producción de la mosca *Lixophaga diatraeae* Townsend (Torrent, 2002). Las ETPP se encuentran distribuidas en todo el territorio nacional y basan su trabajo en metodologías de señalización (seguimiento y decisiones), –las cuales se han ido perfeccionando en los últimos 25 años–, en procedimientos legales y en una intensa actividad de capacitación (Pérez y Vázquez, 2001). Con la creación de las mismas, se estableció un nuevo sistema para la protección de los cultivos basado en la observación regular de los campos, la determinación de los niveles de infestación y el aviso a los productores de aplicar o no un plaguicida. Este sistema, conocido como de señalización, abarca un grupo importante de cultivos para los que se han establecido métodos de monitoreo y aviso de plagas de insectos, ácaros y enfermedades fungosas (Murguido, 1997).

A sólo un año del establecimiento del Sistema Estatal de Protección de Plantas, se manifestaron los primeros beneficios que de éste se esperaban. Como se puede apreciar en la figura 2.1, las importaciones de plaguicidas disminuyeron de 1974 a 1975 en 55 %; en aquel momento no se podía tener una idea exacta de todo lo que esto podría significar. Mientras más tiempo transcurre, más extraordinario parece que en una fecha tan temprana como 1974 comenzaran a sentarse las bases de una agricultura más sana. Este es precisamente uno de los elementos que se tienen en cuenta cuando se asegura que en Cuba existen las bases para el establecimiento de sistemas de producción agroecológicos a escala nacional. Otro hecho importante ocurrido en esta misma década fue que se sentaron las bases técnicas y legales del actual sistema de cuarentena vegetal que funciona en el país.

Coexistencia del paradigma del Quimicismo con el desarrollo del Control Biológico y el Manejo Integrado de Plagas. Segunda mitad de los años 70 y década de los 80 del siglo XX

La disminución en el uso de plaguicidas a partir de la segunda mitad de los años 70 del siglo pasado fue posible por la puesta en práctica del manejo preventivo, el desarrollo del control biológico y los primeros programas de Manejo Integrado de Plagas.

Para sustentar metodológicamente el trabajo de las ETPP fue necesario realizar una intensa labor científica que tuvo como objetivos estudiar la biología, ecología, nocividad, umbrales y métodos de control de las plagas principales, lo que posibilitó desarrollar y consolidar el sistema de señalización, a la vez que estableció las bases científicas para el MIP, que fue establecido en fecha tan temprana como 1982 como política oficial del Estado Cubano. En esa década se comenzaron a integrar medidas de control cultural, químico y biológico, en las que el uso de depredadores, parasitoides, patógenos y antagonistas han constituido el elemento más notable (Pérez y Vázquez, 2001).

Como parte de esta estrategia, especialistas del Ministerio de Agricultura (MINAG) y del Ministerio del Azúcar (MINAZ) diseñaron un programa para el desarrollo del control biológico que tuvo como fundamento la creación de centros para la producción artesanal de agentes de control biológico, los que se denominaron Centros Reproductores de Entomófagos y Entomopatógenos (CREE). En 1988 se aprobó el Programa Nacional de Producción de Medios Biológicos. La implementación del programa na-

cional de control biológico es la característica más sobresaliente de esta etapa y una de las contribuciones más notables al MIP, a la agricultura sostenible y la agroecología, pues sin las alternativas desarrolladas en los 80 hubiera sido mucho más difícil superar la crisis de los 90 y avanzar en circunstancias tan complejas hacia la construcción de una agricultura ambientalmente segura.

Proceso de cambio hacia el paradigma del Ambientalismo. Años 90 del siglo XX

Dos hechos marcan la década de los 90, la consolidación de los programas de MIP y el cambio hacia el paradigma del Ambientalismo. ¿Cuáles fueron los factores que contribuyeron a la aceptación e implementación de los programas de MIP en el país? Primero, el éxito del sistema de señalización de plagas implementado en los años 70 y el hecho de que estaba sustentado sobre una sólida base científica, y en segundo lugar, la decisión de que el control biológico se introdujera a través de estos programas de MIP, para garantizar su integración en los mismos y que los medios biológicos que se estaban liberando masivamente fueran más efectivos (Pérez y Vázquez, 2001). En la etapa actual, el control de plagas se realiza básicamente en el contexto de programas de MIP, muchos de los cuales tienen un enfoque agroecológico. En varios de los programas establecidos se puede apreciar la tendencia a la integración de alternativas de control no químicas; en café, caña de azúcar, pastos, boniato y yuca no se aplican insecticidas para el control de las plagas; en col el uso es prácticamente nulo. En la mayoría de los cultivos bajo MIP, el uso de insecticidas es bajo o nulo y solamente en arroz, maíz, papa, tomate y frijol se mantiene un nivel de aplicación considerado medio (Pérez y Vázquez, 2001).

La política estatal cubana respecto al manejo de plagas quedó oficialmente declarada en la ley de Medio Ambiente (Cuba, 1997). En el Título Noveno de esta ley denominado "Normas Relativas a la Agricultura Sostenible", en el artículo 132, incisos b y d, se expresa: b) El uso racional de los medios biológicos y químicos, de acuerdo con las características, condiciones y recursos locales, que reduzcan al mínimo la contaminación ambiental, d) El manejo preventivo e integrado de plagas y enfermedades, con una atención especial al empleo con estos fines, de los recursos de la diversidad biológica. Esto significa que lo que actualmente se hace no es una simple sustitución de insumos químicos por biológicos y otras

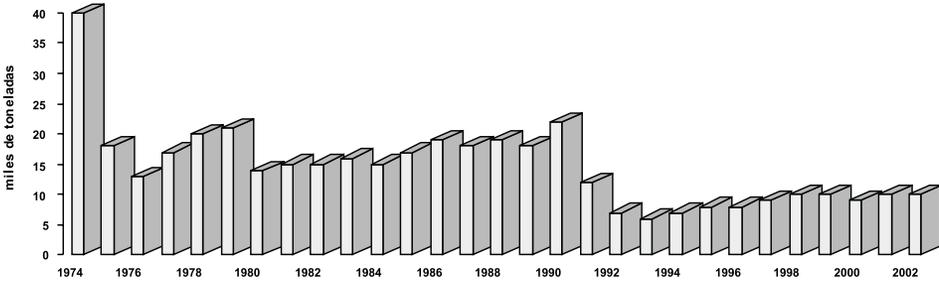


Figura 2.1. Importaciones de plaguicidas a partir de la creación de las ETPP

alternativas, si no que se está realizando una preparación para llegar a manejar sistemas de cultivos donde la diversidad biológica juegue el papel principal; para esto, claro está, aun falta un largo trecho por transitar.

La solidez de los logros alcanzados permite asegurar que Cuba no retrocederá al modelo anterior de aplicaciones por calendario de los 60 y principios de los 70, o al nivel de dependencia de los años 80 del siglo pasado. En el sistema de protección de plantas cubano hay muchos elementos positivos que hacen posible el cambio hacia el paradigma del ambientalismo, pues están desarrolladas muchas de las técnicas y medidas que hay que implementar para el manejo de plagas dentro de éste, aunque a pesar de todo lo que se ha avanzado aun falta mucho por hacer para continuar disminuyendo la dependencia de los químicos, ese es el gran reto de esta primera década del nuevo siglo.

ESTUDIO DE CASO: EFECTO DE PLAGUICIDAS SOBRE LARVAS Y HUEVOS DE *Chrysopa cubana* Hagen EN CONDICIONES CONTROLADAS

Los cítricos ocupan el segundo lugar en importancia económica en Cuba. Las especies más extendidas son *Citrus sinensis* (L.) (naranjas), *Citrus paradisi* Macf. (toronjas) y *Citrus latifolia* Tan (lima persa); como cultivos perennes pueden llegar a establecer un equilibrio biológico a nivel del agroecosistema, por lo que es importante estudiar el efecto de la lucha química sobre los enemigos naturales que inciden en éstos con la finalidad de que se afecte en la menor medida a los biorreguladores. Entre los insectos depredadores asociados a los cítricos se destacan los pertenecientes a la familia Chrysopidae, dentro de las especies más sobresalientes.

tes en Cuba están: *Chrysopa exterior* Navás, *Chrysopa cubana* Hagen, *Chrysopa habana* Navás, *Nodita dimidia* Navás y *Nodita firmini* Navás (Rijo, 2003; Almaguel, 2000). Los crisópidos se consideran depredadores altamente polívoros; se alimentan de áfidos, ácaros y de estadios inmaduros de otros insectos (Rijo *et al.*, 1997). La regulación natural que pueden ejercer los crisópidos reviste amplias perspectivas en el manejo de plagas en el cultivo de los cítricos, dada la magnitud que pueden alcanzar sus poblaciones. Este trabajo tuvo como objetivo determinar el efecto que ejercen cuatro plaguicidas y una mezcla, sobre huevos y larvas de *Chrysopa cubana* en condiciones controladas.

Se colectaron insectos adultos de la especie *C. cubana*, en el jardín de variedades de cítricos del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) y se colocaron en recipientes de vidrio para la oviposición según el método de Ridway *et al.* (1970). Para determinar el efecto ovicida se escogieron huevos de una puesta de 24 horas de acuerdo con su tamaño y color. La selección de los plaguicidas se hizo teniendo en cuenta los que más se aplican entre los que están autorizados en Cuba para su uso en cítricos (tabla 2.3). Se prepararon soluciones finales a las concentraciones que se indican en la tabla 2.4. Las aplicaciones se practicaron por el método de inmersión con un tiempo de exposición de 5 a 10 segundos (Izhevskii y Ziskinil, 1978); el control se trató con agua. La evaluación se realizó cuando los huevos en el control completaron la eclosión; se contaron los huevos no eclosionados. Se determinó la toxicidad según la escala de Bartlett (1964) (tabla 2.5). El diseño experimental fue completamente aleatorizado, con cinco tratamientos y cinco repeticiones. Por cada repetición se utilizaron 10 huevos; los datos se transformaron mediante la expresión $\sqrt{x+1}$ y las medias fueron comparadas según la Dócima de Rango Múltiple de Duncan (1955).

Se determinó el efecto de los plaguicidas sobre el primer, segundo y tercer estadio larval. Una vez obtenidos los huevos, se procedió a colocarlos en frascos de vidrio y se realizaron observaciones diarias hasta que se completó la eclosión. Las larvas fueron alimentadas con huevos de *Sitotroga cerealella* (Oliver). Se prepararon soluciones finales a las concentraciones que aparecen en la tabla 2.4. Las aplicaciones se llevaron a cabo sobre papel de filtro por el método de contacto residual (Brettell, 1979). El papel de filtro se situó en cada frasco de modo tal que cubriera toda la superficie.

En cada recipiente se colocó una larva y cantidad suficiente de alimento; el control fue tratado con agua. Las evaluaciones se practicaron a las

Tabla 2.3 Plaguicidas autorizados en aspersiones foliares en cítricos en Cuba (Cuba, 2002)

Organismos a controlar	Productos	Dosis i.a. (%)
Ácaros	Azufre	0.400
	Bromopropilato	0.005
Ácaros tetránicos	Dicofol	0.04-0.06
Picudos (<i>Pachnaeus</i> , <i>Lachnopus</i> y <i>Diaprepes</i>)	Carbaryl	0.200
	Fenchlorphos	0.5-1.5
Cóccidos	Ethion+aceite	0.075+1.0
Áfidos, aleiródidos y cóccidos	Malation+aceite	0.08-0.5
Chinchas, aleiródidos, ácaros y áfidos	Dimetoato ^a	0.04
Como acaricida, insecticida, fungicida	Aceite mineral	0.5-1.5
<i>Mycosphaerella citri</i>	Benomyl	0.300
	Dinobuton	0.5-0.7
	Omatoate	0.05
	Metil tiofanato	0.021-0.031
	Tridemorf	0.75
Enfermedades fungosas	Maneb	0.25
	Oxicloruro de cobre	0.10
<i>Phyllocoptruta oleivora</i> y enfermedades fungosas	Zineb	0.2-0.25

^aSe recomienda aplicar solo o en mezcla con aceite mineral emulsionable al 0.5%.

24, 48 y 72 horas después de efectuados los tratamientos y se contó el número de larvas muertas. Se determinó la toxicidad según la escala de Bartlett (1964). El diseño experimental fue completamente aleatorizado

Tabla 2.4 Plaguicidas aplicados sobre huevos y larvas de *C. cubana*

Plaguicidas	Concentración (%)
Malation 57% CE+	0.15
Carbaryl 85 % PH	0.25
Dimetoato 38 % CE	0.1
Dicofol 25 % CE	0.2
Citol 95% CE+Malation 57% CE	0.5+0.15

Tabla 2.5 Escala para evaluar la toxicidad de los plaguicidas en insectos del género *Chrysopa* (Bartlett, 1964)

Mortalidad (%)	Escala de Toxicidad
>66.7	Alta
>33.3<66.7	Media
<33.3	Baja
0 Nula	

con cinco tratamientos y cuatro repeticiones. Por cada ensayo se utilizaron 10 larvas. La transformación y comparación de medias fue igual que en el ensayo anterior.

Los resultados mostraron que hubo efecto ovicida (tabla 2.6). Hubo diferencias entre el control y los plaguicidas probados, así como entre estos últimos. Se obtuvieron diferencias entre la mezcla citol + malation y el resto de los plaguicidas; los resultados de los tratamientos con dimetoato, carbaryl, y dicofol fueron similares. La mayor eclosión se presentó para el control, seguido de los tratamientos con carbaryl, dicofol y dimetoato, respectivamente. El menor porcentaje de eclosión correspondió a la mezcla citol + malation.

Con relación al primer estadio larval hubo diferencias entre todos los plaguicidas probados y el control. No se constataron diferencias entre los tratamientos realizados con la mezcla citol + malation, y carbaryl, los cuales difieren del resto (tabla 2.7). Los resultados obtenidos con dimetoato a las 24 horas no difieren de los obtenidos con dicofol en los tres momentos de evaluación. Los mayores porcentajes de mortalidad se

Tabla 2.6 Efecto ovicida de cinco plaguicidas sobre de *C. cubana*

Plaguicidas	X transf.	X orig	Mortalidad (%)
Citol + malation	3.006 a	0.80	80
Carbaryl	1.474 b	0.12	12
Dimetoato	1.556 b	0.16	16
Dicofol	1.490 b	0.14	14
Control	1.000 c	0.00	0
ESx	0.13**		
CV%	3.55		

Medias con letras iguales no difieren significativamente según Dócima de Rango Múltiple de Duncan para $P \leq 0.01$ (Duncan, 1955).

Tabla 2.7 Mortalidad en los diferentes estadios larvales de *C. cubana*

Plaguicidas	Estadios larvales									
	Primero			Segundo			Tercero			
	X t	Xo	% M	X t	Xo	% M	X t	Xo	% M	
Citol + malation	24 h	3.08 a	0.85	85	2.77 c	0.67	67	1.99 f	0.30	30
	48 h	3.31 a	1.00	100	3.08 ab	0.85	85	2.82 b	0.70	70
	72 h	3.31 a	1.00	100	3.16 a	1.00	100	3.07 a	0.85	85
Carbaryl	24 h	3.23 a	0.95	95	2.22 e	0.40	40	1.65 g	0.17	17.5
	48 h	3.31 a	1.00	100	2.99 b	0.80	80	2.49 cd	0.52	52
	72 h	3.31 a	1.00	100	3.23 a	0.81	95	2.63 bc	0.60	60
Dimetoato	24 h	1.86 de	0.25	25	1.71 f	0.20	20	1.71 g	0.20	20
	48 h	2.23 c	0.40	40	2.16 e	0.37	37.5	2.10 e	0.35	35
	72 h	2.59 b	0.42	42.5	2.43 d	0.50	50	2.27 de	0.42	42
Dicofol	24 h	1.71 e	0.20	20	1.20 gh	0.05	5	1.30 h	0.07	7.5
	48 h	1.79 de	0.22	22.5	1.30 g	0.07	7.5	1.30 h	0.07	7.5
	72 h	1.99 d	0.30	30	1.41 g	0.10	10	1.30 h	0.07	7.5
Control	24 h	1.00 f	0.00	0	1.20 h	0.05	5	1.00 i	0.00	0
	48 h	1.00 f	0.00	0	1.20 h	0.05	5	1.00 i	0.00	0
	72 h	1.00 f	0.00	0	1.20 h	0.05	5	1.00 i	0.00	0
ESx		0.07**			0.07**			0.08**		
CV %		2.05			3.04			2.09		

Medias con letras iguales dentro de cada columna no difieren significativamente según Dócima de Rango Múltiple de Duncan para $P \leq 0.01$ (Duncan, 1955).

obtuvieron con carbaryl y la mezcla citol + malation y los menores con dicofol.

Para el segundo estadio larval, el análisis estadístico arrojó diferencias entre los resultados obtenidos con los plaguicidas probados y el control, con excepción del dicofol a las 24 horas. Los resultados obtenidos con la mezcla citol + malation a las 24 y 48 horas no difieren de los obtenidos con carbaryl a las 72 horas. Hubo diferencias entre los tratamientos realizados con dicofol y el resto de los plaguicidas. Los mayores porcentajes de mortalidad correspondieron a los tratamientos con carbaryl a las 72 horas y citol + malation a las 48 y 72 horas; los menores porcentajes se obtuvieron con dicofol.

En el tercer estadio larval se apreciaron diferencias entre los tratamientos realizados con dicofol y el resto de los plaguicidas, al igual que en la mezcla citol + malation a las 72 horas. La mortalidad de las larvas de *C. cubana* se incrementó al aumentar el tiempo de contacto entre éstas y los plaguicidas evaluados. La tabla 2.8 muestra el grado de toxicidad de los plaguicidas sobre huevos y estadios larvales de *C. cubana*

En experimentos bajo condiciones controladas, Bartlett (1964) determinó la toxicidad de 60 plaguicidas sobre huevos y larvas de *Chrysoperla carnea* (= *Chrysopa*), entre los plaguicidas evaluados se encontraban los

Tabla 2.8 Toxicidad de los plaguicidas sobre *C. cubana* según escala de Bartlett (1964)

Plaguicidas	Huevos	Estadios larvales		
		Primero	Segundo	Tercero
Citol + malation	alta	alta	alta	alta
Carbaryl	baja	alta	alta	media
Dimetoato	baja	media	alta	media
Dicofol	baja	baja	baja	baja

probados en este ensayo, en el que se obtuvieron resultados similares, el autor concluyó que malation resultó muy tóxico sobre las larvas. Berlijin y Lach (1979) destacan que los aceites minerales tienen un alto poder ovicida. De Bach (1964) plantea que en aplicaciones realizadas con malation se produjo alta mortalidad de los crisópidos; en este ensayo se aplicó en mezcla con citol sobre una especie del género *Chrysopa* diferente, y los resultados fueron similares a los obtenidos por los investigadores antes citados.

Tabla 2.9. Toxicidad de productos usados en cítricos sobre enemigos naturales (Compilado por Almaguel, 2000)

Producto	Artrópodos			Hongos entomopatógenos				
	MT	MT-T	T	PT	MT	MT-T	T	PT
aceite mineral				x		x		
azufre	x				x			
<i>Bacillus thuringiensis</i>				x				x
benomyl						x		
bromopropilato					x			
carbaryl	x							x
dicofol			x					
dimetoato+aceite	x					x		
dinobuton				x				
fenchlorphos	x				x			
malation+aceite			x				x	
maneb					x			
ometoate	x							
zineb				x		x		

MT= muy tóxico, MT-T= muy tóxico a tóxico, T =tóxico, PT= poco tóxico

Está documentado que diferentes especies del género *Chrysopa* son susceptibles al carbaryl (Bartlett, 1964; Brettell, 1979; Rijo, 1984, Croft, 1990). El carbaryl, en general, en diferentes ensayos realizados en Cuba (tabla 2.9), ha demostrado ser muy tóxico a los depredadores y parasitoides que forman parte de la entomofauna beneficiosa característica de las plantaciones cítricas (Almaguel, 2000), pueden alcanzar el grado 4 en la escala de cinco grados de toxicidad y selectividad de los plaguicidas de mayor uso (Croft, 1990).

La toxicidad del dimetoato puede variar de media a alta; Bartlett (1964) y Vickerman y Sunderland (1977) comprobaron que éste presentó toxicidad media sobre larvas de crisópidos. Resultados semejantes fueron obtenidos en el presente trabajo; sin embargo, Brettell (1979, 1982) encontró que el dimetoato mostró una toxicidad alta. Hay que tener en cuenta que con mucha frecuencia las aplicaciones de dimeotato se realizan en mezcla con aceite mineral emulsionable (tabla 2.3) (Cuba, 2002). Cuando estos productos se mezclan el resultado es una acción muy nociva para los enemigos naturales en general y en especial para los artrópodos beneficiosos (Almaguel, 2000). Pero el efecto negativo no se limita a los artrópodos ya que solo es moderadamente compatible con los hongos entomopatógenos (Alves *et al.*, 1998), pero en mezcla con citol resulta de altamente tóxico a tóxico para estos (Almaguel, 2000).

Un comportamiento similar se presenta con el dicofol; Rijo (1984) en ensayos conducidos bajo condiciones de campo encontró que dicofol resultó tóxico para *Chrysopa* spp. En este ensayo se confirmó baja toxicidad en los tratamientos con dicofol, semejante a los resultados obtenidos en numerosas investigaciones (Barrikova, 1979; Bartlett, 1964; De Bach, 1964; Suter, 1978; Franz *et al.*, 1980).

BIBLIOGRAFÍA

- Allison, D. 2002. Agrow's Top 20. Pesticides News N° 57. Disponible en <http://www.pan-uk.org/pestnews/pn57/p23.htm>. Conectado el 10 de febrero de 2003.
- Almaguel, Lérica. 2000. Combate integral contra ácaros fitófagos. Boletín Fitosanitario 6(2): 80-114.
- Altieri, M. A. 1992. Biodiversidad, Agroecología y Manejo de Plagas. Ediciones CETAL. Valparaíso, Chile: 162 p.
- Altieri, M.A. 1997. Agroecología. Bases científicas para una Agricultura Sustentable. CLADES-ACAO, La Habana, Cuba: 249 p.

- Alves, S.B.; A. Moino Jr; J.E.M. Almeida. 1998. Produtos fitossanitários e entomopatógenos. p. 217-238. *En*: S.B. Alves (ed.), Controle Microbiano de Insetos. 2^{da} Edición, FEALQ, Piracicaba, Brasil.
- Barrikova, T. 1979. Pesticide effect on individual stages of the golden eyed fly *Chrysopa carnea* (S). *Rastenievdstvo Naouki* 8: 115.
- Bartlett, B. R. 1956. Natural predators ¿Can selective insecticides help to preserve biotic control? *Agric. Chem.* 11: 42-44.
- Bartlett, B.R. 1964. Toxicity of some pesticides to eggs, larvae and adult of the green lacewing, *Chrysopa carnea* (Stephens). *Journal of Economic Entomology* 57 (3): 366-369.
- Benbrook, C. M.; E. Groth; J. M. Halloran; M. K. Hansen; S. Marquardt. 1996. *Pest Management at the Crossroads*. Consumers Union, Yonkers, New York, U.S.A.: 276 p.
- Berlijin, J.D.; J.P. Lach. 1979. *Protección de cultivos*. Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria, Distrito Federal, México: 15 p.
- Brettell, J.H. 1979. Biology of *Chrysopa boninensis* (Okamoto) and toxicity of certain insecticides to the larvae green lacewing (Neuroptera: Chrysopidae) of cotton fields in control. *Zimbabwe Journal Agricultural Research* 17: 141-150.
- Brettell, J.H. 1982. Biology of *Chrysopa congrua* (Walker) and *Chrysopa pudica* (Navas) and toxicity of certain insecticides to their larvae green lacewing (Neuroptera: Chrysopidae) of the cotton fields in Central Zimbabwe. *Zimbabwe Journal Agricultural Research* 20: 77-84.
- Carson, Rachel. 1980. *Primavera Silenciosa*. Editorial Grijalbo. Barcelona, España: 344 p.
- Castaño-Zapata, J. 1992. Agroecosistemas: Intervención humana y desarrollo de enfermedades de plantas. p. 235-241. *En*: A. Pitty (ed.). *Memoria del IV Congreso Internacional de Manejo Integrado de Plagas*. Tegucigalpa, Honduras, 20-24 de Abril 1992,
- Chaboussou, F. 1987. *Plantas doentes pelo uso de agrotóxicos (A teoria da Trofobiose)*. Ed. L. y P.M., Porto Alegre, Brasil: 256 p.
- Colborn, T.; J. P. Myers; Dianne Dumanosky. 2001. *Nuestro Futuro Robado*. Editorial Ecoespaña, Madrid, España: 559 p.
- Croft, B. A. 1990. *Arthropod Biological Control Agents and Pesticides*. John Wiley and Sons, New York, U.S.A.: 235 p.
- Cuba. 1974. *Normas Técnicas de Sanidad Vegetal*. Dirección General de Sanidad Vegetal. Ministerio de la Agricultura, La Habana, Cuba: 416 p.
- Cuba. 1997. Ley No. 81 del Medio Ambiente. *Gaceta Oficial de la República de Cuba*. Edición extraordinaria, La Habana, 11 de julio de 1997,

Número 7: 47-96.

- Cuba. 2002. Lista Oficial de Plaguicidas Autorizados. Registro Central de Plaguicidas. Ministerio de Agricultura, La Habana, Cuba: 382 p.
- Cuba. 2003. Estadísticas. Centro Nacional de Sanidad Vegetal. Ministerio de la Agricultura. Ciudad de La Habana.
- De Bach, P. 1964. A summary of the selectivity associated with the different types of toxicants. p. 507-511. *In*: P. De Bach (ed.), Biological Control of Insect Pest and Weeds. California, U.S.A.
- Dent, D. 1993. Insect Pest Management. CAB International, Wallingford, UK: 604 p.
- Duncan, A. 1955. Multiple Range and Multiple F Test. *Biometrics* 11: 1-41.
- Faz, A.B. 1987. Principios de Protección de Plantas. 2^{da} Edición, Editorial Científico-Técnica, La Habana, Cuba: 601p.
- Franz, J.M.; H. Bogenschutz; S.A. Hassan; P. Huan; E. Naton; H. Suter; G. Viggiani. 1980. Result of a joint pesticide test programmed by the working group of Pesticides and Beneficial arthropods. *Entomophaga* 25(3): 231-236.
- ICAITI. 1977. An environmental and economic study of the consequences of pesticide use in Central American cotton production. Research Institute and Industrial Technology of Central American. UNEP 0205-73-002.
- Izhevekii, S.S.; L. A. Ziskinil. 1978. Métodos para determinar la toxicidad de los plaguicidas para los entomófagos. Traducción de: Sielkejo Josiasistrozarubezhes 1: 26-30.
- Jeger, M. J. 2000. Bottlenecks in IPM. *Crop Protection* 19: 787-792.
- Jiménez, S. F. 2003. Generación de metodologías de señalización de plagas. p. 20-28. *En*: L. L. Vázquez; Ingrid Paz (eds.), Memorias del Curso Taller para Agricultores y Extensionistas "Manejo integrado de plagas en la producción agraria sostenible". INISAV, La Habana, Cuba.
- Leonard, H. J. 1987. Natural Resources and Economic Development in Central America: A regional Environmental Profile. *Transactions Books International*, New Brunswick, U.S.A.: 226-227.
- Martínez Viera, R. 1977. 70 años de la Estación Experimental Agronómica de Santiago de las Vegas. Academia de Ciencias, La Habana, Cuba: 19 p.
- Metcalf, R. L.; W. H. Luckmann. 1990. Introducción al manejo de plagas de insectos. Ed. Limusa, Ciudad Mexico, México: 579 p.
- Murguido, C. 1997. Sistema de monitoreo y pronóstico de plagas en cultivos económicos. CID-INISAV. *Boletín Técnico* 1: 51-70.
- Murray, D. 1994. Cultivating Crisis: The Human Cost of Pesticides in

- Latin America. University of Texas, Texas, U.S.A.: 177 p.
- Murray, D.; Catharina Wesseling; M. Keifer; Marianela Corriols; S. Henao. 2002. Surveillance of Pesticide-related Illness in the Developing World: Putting the data to work. *International Journal of Occupational and Environmental Health* 8 (3): 15-22.
- NRC. 1986. Implementing management of resistance to pesticides. p. 371-387. *In: Pesticide Resistance: Strategies and Tactics for Management*. National Research Council, Academic Press, Washington D. C., U.S.A.
- Pérez, Nilda. 1996. Control Biológico: Bases de la experiencia cubana. p. 122-128. *En: Agroecología y Agricultura Sostenible, Módulo 2: Diseño y Manejo de Sistemas Agrícolas Sostenibles*. CEAS-UNAH, La Habana, Cuba.
- Pérez, Nilda; L.L. Vázquez. 2001. Manejo Ecológico de Plagas. p. 191-224. *En: F. Funes et al. (eds.), Transformando el campo cubano: Avances de Agricultura Sostenible*. ACTAF-CEAS-Food First, La Habana, Cuba.
- Pimentel, D. 1993. Cultural Control for Insect Pest Management. p. 35-38. *In: S. Corey et al. (eds.), Pests Control & Sustainable Agriculture*. CSIRO, Melbourne, Australia.
- Pimentel, D. 1998. Environmental and economic issues associated with pesticide use. p. 8-14. *In: International Conference on Pesticide Use in Development Countries: Impact on Health and Environment*. San José, Costa Rica, February 23-28, 1998.
- Ridway, L.R.; R.K. Morrison; M. Dadgley. 1970. Mass rearing of green lacewing. *Journal Economic Entomology* 63 (3): 834-838.
- Rijo, Esperanza. 1984. Susceptibilidad de *Chrysopa* spp. a insecticidas químicos en condiciones de campo. p. 18. *En: Resúmenes Primera Jornada Científico Técnica de Sanidad Vegetal*, Dirección Nacional de Sanidad Vegetal, Ministerio de la Agricultura, La Habana, Cuba.
- Rijo, Esperanza. 2003. Utilización de entomófagos en Cuba. p. 73-82. *En: L. L. Vázquez; Ingrid Paz (eds.), Memorias del Curso Taller para Agricultores y Extensionistas "Manejo integrado de plagas en la producción agraria sostenible"*. INISAV, La Habana, Cuba.
- Rijo, Esperanza; Nidia Acosta; Teresa Rodríguez. 1997. Aspectos de la biología de los crisópidos y su posible utilización como reguladores de fitófagos. XII Forum de Ciencia y Técnica. Ministerio de la Agricultura, La Habana, Cuba: 33p.
- Risch, S. J. 1987. Agricultural ecology and insect outbreaks. p. 217-238.

- In*: P. Barbosa; J. C. Schultz (eds.), *Insects Outbreaks*. Academic Press, San Diego, U.S.A.
- Rosenthal, Erika. 2002. Free Trade and Pesticides in Central America. *Global Pesticide Campaigner* 12 (3): 9-11.
- Rosset, P. 1999. La crisis de la agricultura convencional, la sustitución de insumos y el enfoque agroecológico. p. 2-12. *En*: *Agroecología y Agricultura Sostenible, Módulo I, Agroecología: Bases históricas y teóricas*. Segunda Edición, CEAS-UNAH-ACTAF, La Habana, Cuba.
- Santos, Adrid. 2002. El control biológico de la mosca prieta de los cítricos en Cuba. *Fitosanidad* 6 (4): 57-62.
- Sociedades Bíblicas Unidas. 1989. La plaga de las langostas, Exodo 10¹³. p. 60. *En*: *Dios habla hoy: La Biblia*. A.B.M. Tryck, Avestas.
- Stephens, C. S. 1984. Ecological upset and recuperation of natural control of insect pests in some Costa Rica banana plantations. *Turrialba* 34 (1): 101-105.
- Stephens, C. S. 1992. Control natural de las plagas del banano en algunas plantaciones de Centroamérica. p. 7-12. *En*: A. Pitty (ed.). *Memoria del IV Congreso Internacional de Manejo Integrado de Plagas, Honduras, 20-24 de Abril 1992*.
- Suter, H. 1978. The effect of pesticides on beneficial arthropods of *Chrysopa carnea* (S). *Schweizerich. Londwirtschatliche Forschung* 17 (1-2): 37-44.
- Torrent, J. J. 2002. Historia de la cuarentena de plantas en Cuba. *Fitosanidad* 6 (1): 61-68.
- Trichilo, P.J.; L.T. Wilson. 1993. An ecosystem analysis of spider mite outbreaks: Physiological stimulation or natural enemy suppression. *Experimental and Applied Acarology* 17: 291-314.
- van den Bosch, R. 1978. *The Pesticide Conspiracy*. Doubleday & Co., Garden City, New York, U.S.A.:125 p.
- Vickerman, G.P.; K.D. Sunderland. 1977. Some effects of dimethoate on arthropods in the winter sheath. *Journal Applied Ecology* 14 (3): 767-777.
- Zadocks, J. C. 1991. A hundred and more years of plant protection in the Netherlands. *Netherlands Journal of Plant Pathology* 97: 3-24.
- Zadocks, J. C. 1993. Antipodes on Crop Protection in Sustainable Agriculture. p. 3-12. *En*: S. Corey *et al.* (eds.), *Pests Control & Sustainable Agriculture*. CSIRO, Melbourne, Australia.

Capítulo III

CONTROL CULTURAL

INTRODUCCIÓN

Con el avance de la agricultura industrial las prácticas de control cultural quedaron en el olvido, y aún hoy en que ya se han hecho evidentes los perjuicios que ésta ha causado, en muchos círculos científicos, académicos y productivos se consideran prácticas anticuadas, tradicionales y atrasadas que se asocian con la pobreza y escaso desarrollo tecnológico. De hecho, gran parte de las investigaciones realizadas para estudiar el efecto de las prácticas culturales sobre las plagas han sido hechas en países en desarrollo. Un ejemplo de esto son las investigaciones sobre el efecto de las enmiendas orgánicas en el control de los patógenos de las plantas, en particular sobre nematodos (D' Addabbo, 1995) y el uso de cultivos trampa y barrera para la regulación de las poblaciones de moscas blancas. La necesidad de que se produzcan cambios en dicha concepción es incuestionable, dada la importancia crucial del control cultural en el manejo ecológico de plagas. Entre las prácticas culturales que más efecto tienen sobre la regulación de organismos nocivos y que serán discutidas aquí están: la preparación de suelos, la rotación de cultivos, los cultivos múltiples (cultivos trampa, cultivos barrera), las actividades de siembra y plantación (fecha, densidad, profundidad), el momento de cosecha, la nutrición y la solarización. En este capítulo se presenta un estudio de caso que sustenta una parte de los principios enunciados.

PRÁCTICAS CULTURALES Y REGULACIÓN DE ORGANISMOS NOCIVOS

El control cultural como método de regulación de organismos nocivos, consiste en la implementación de prácticas mediante las cuales se produ-

cen cambios en el ambiente que lo hacen menos favorable para el desarrollo de éstos y que benefician a la vez directa o indirectamente a sus enemigos naturales.

Los niveles de control obtenidos con el control cultural no son tan espectaculares como los que se alcanzan con otras técnicas, como por ejemplo, el control químico, método que se ha mantenido en el centro de la atención desde que aparecieron los primeros plaguicidas de síntesis química. A partir de ese momento, el gran objetivo de las investigaciones en Protección de Plantas ha sido desarrollar productos, la prueba de ello es la cantidad de plaguicidas nuevos que ingresan cada año al mercado. A la ejecución de proyectos para desarrollar técnicas o tecnologías que no consideren los productos químicos se ha prestado menos atención.

A pesar de esta tendencia, la preocupación cada vez mayor por los impactos negativos de los plaguicidas sobre la salud del hombre y el ambiente ha hecho que en los últimos años aumente el interés por las investigaciones en el campo del control cultural (Dent, 1993; Pimentel, 1993; Willink *et al.*, 1994; D' Addabbo, 1995; McQuilken, 1995; McLaughlin y Mineau, 1995; Ploper, 1995; Howard, 1996; Hall y Nasser, 1996; Bailey, 1997). Las medidas culturales pueden constituir una parte importante de los programas de manejo integrado de enfermedades de las plantas (Howard, 1996; Bailey, 1997) y de muchos de los programas de manejo integrado de plagas (MIP) de insectos, ácaros y malezas.

Las prácticas de control cultural son de naturaleza preventiva, se trata de medidas que se implementan para evitar que se presente un problema o retardar su aparición, y hacer que el daño sea el menor posible. Estas son técnicas que pueden ser usadas para estimular un desarrollo óptimo del cultivo y por tanto hacerlo más tolerante al ataque de plagas. La filosofía del control cultural está basada en la idea de que la solución al problema de las plagas hay que buscarla en las causas que lo provocan y no tratar de combatir el efecto, que es lo que se hace en la mayoría de los programas de manejo de plagas que se implementan actualmente, incluyendo el MIP.

Respecto a los insectos entre los objetivos del control cultural está hacer el ambiente menos atractivo y menos favorable para su supervivencia, dispersión, crecimiento y reproducción (Dent, 1993). Un programa de manejo cultural requiere en primer lugar de una planificación muy detallada y cuidadosa. El diseño de las estrategias tiene que estar basado en: hacer el hábitat del cultivo inaceptable para los insectos, por interferencia con sus preferencias para ovipositar y rechazo hacia el hospedante,

tanto por los adultos como por los estados inmaduros; hacer que el cultivo no esté disponible para éstos, en el espacio y en el tiempo, para lo cual se precisa utilizar todo el conocimiento que se tenga acerca de la historia de vida de la plaga, especialmente su dispersión y hábitos de hibernación y reducción de la supervivencia por estímulo de sus enemigos naturales o por cambios en la susceptibilidad del cultivo. Como puede apreciarse el control cultural requiere de más observación, conocimiento y habilidad por parte de los agricultores.

Esto puede lograrse en la medida que se establezcan las condiciones propicias para que funcionen los mecanismos naturales de regulación. Entre las causas principales de aparición de plagas se encuentra el monocultivo. Esta práctica trae como consecuencia la pérdida de la biodiversidad y por tanto la pérdida de las características de autorregulación de las comunidades naturales. En una comunidad natural funcionan mecanismos que van desapareciendo en la medida que esta comunidad se simplifica (tabla 3.1). El establecimiento de los mecanismos de regulación es posible aumentando la biodiversidad. Conociendo como funcionan se pueden implementar medidas con un aprovechamiento óptimo de éstos. Precisa-

Tabla 3.1 Mecanismos naturales de regulación de plagas y su aplicación

Mecanismos naturales de regulación	Medidas aplicables
Alimento	Variedades resistentes
Camuflaje	Nutrición equilibrada
Ambiente de la planta	Enmiendas orgánicas, abonos verdes, compost
Confusión	Rotación de cultivos
Repelencia	Prácticas de labranza conservacionista
Atracción	Fechas, densidad y profundidad de siembra
Toxicidad	Cultivos múltiples
Enemigos naturales	Manejo de la vegetación espontánea
Asincronía fenológica	Cultivos barrera, plantas trampa
Alelopatía	Productos naturales Lucha biológica Semillas y plantas sanas Trampas, barreras físicas Coberturas, mulch Solarización

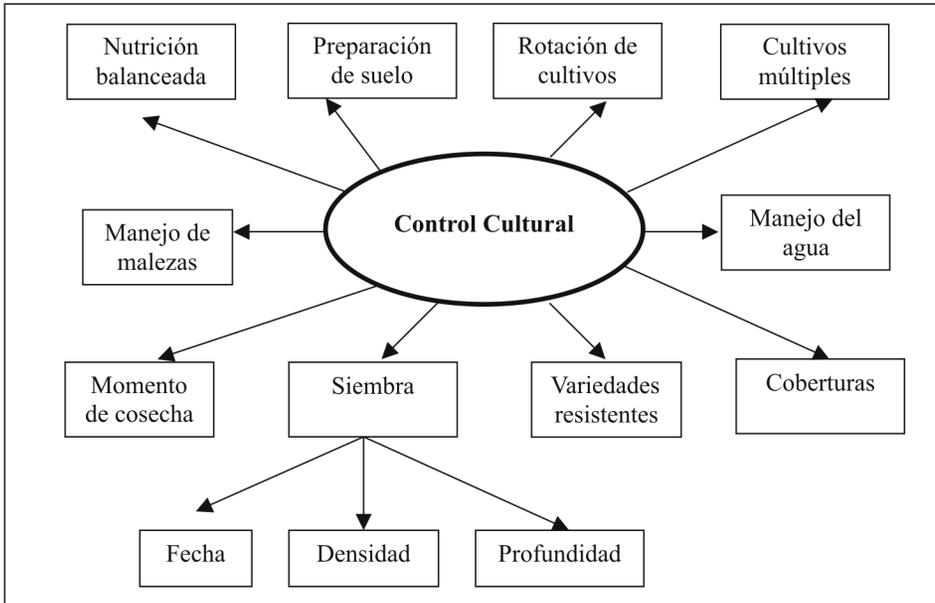


Figura 3.1 Medidas de control cultural

mente, ésta es la base del control cultural. Con la implementación del conjunto de prácticas (figura 3.1) que conforman dicho método se logra cultivar plantas más sanas y una planta sana soporta mejor el ataque de un organismo nocivo que una planta en estrés.

PRÁCTICAS DE PREPARACIÓN DE SUELO

Entre las prácticas culturales que más efecto tienen sobre la regulación de los organismos nocivos se encuentran las prácticas de labranza o de preparación de suelo. Las diferentes prácticas de labranza producen cambios en las propiedades físico-químicas de los suelos que influyen en su ambiente y tienen un marcado impacto sobre las poblaciones de las plagas. Este efecto puede ser indirecto, al crearse condiciones desfavorables para el desarrollo y reproducción de los organismos nocivos, o directos, por daños físicos producidos en el momento de realización de las labores.

Dentro de las diferentes prácticas de preparación de suelo que existen, hay un grupo en el cual se encuentran la mayor parte de las convencionales, como la quema de residuos y las labores que se realizan con el arado de cincel o con el arado de vertedera con inversión del prisma de suelo,

que son las que aparecen documentadas en parte de la literatura dedicada a este tema como las más efectivas en la disminución de los organismos que habitan en el suelo (Sumner *et al.*, 1986; Dent, 1993; Conway, 1996; Howard, 1996). Dentro de las prácticas de control cultural para el manejo de las poblaciones de babosas la más importante es el laboreo del suelo (Hammond *et al.*, 1999). Durante mucho tiempo el énfasis en la investigación se puso en estas prácticas que eran de amplio uso, pero que como se conoce ocasionan serias afectaciones en los agroecosistemas, entre las que se destacan los daños a la diversidad biológica y al suelo.

En los sistemas agrícolas sostenibles se recomienda el establecimiento de prácticas de labranza conservacionista, entre las que se encuentran la cero labranza. Los sistemas de labranza de conservación han sido definidos como sistemas de laboreo y plantación que garantizan al menos en 30 % la cobertura del suelo con los residuos de cultivo, después de la plantación (Anonymous, 1986; CTIC, 1995). La cero labranza es un sistema de cultivos donde no se utiliza ningún equipo (Sturny, 1998) y se define como un sistema de producción de cultivos económicamente viable, a prueba de erosión, en el cual las semillas se siembran directamente, en pequeñas hendeduras, dentro de los rastros del cultivo precedente, con un mínimo disturbio (Anonymous, 1991; CTIC, 1995).

La labranza mínima también se encuentra entre los sistemas de preparación de suelos recomendados en la agricultura sostenible. Un sistema de labranza mínima es aquel donde se reduce la pérdida de suelo y se conserva la humedad, en comparación con la labranza convencional (Mueller *et al.*, 1981). En este sistema se utiliza el menor número posible de equipos, tanto durante la fase de preparación de suelo, como durante todo el ciclo de desarrollo del cultivo. La labranza mínima se define como aquel sistema donde entre 15-30 % del suelo queda cubierto con residuos. A todas estas prácticas de preparación de suelos se le ha dado en llamar sistemas de manejo de residuos de cultivo (CTIC, 1995).

La conservación de la humedad es una de las principales ventajas de estos sistemas y se logra al dejar los residuos de cosecha sobre la superficie del suelo, sin incorporar. El hecho de que la superficie del suelo se mantenga cubierta permite una regulación de la temperatura, de esta forma se evita el sobrecalentamiento del suelo, lo que representa una ventaja para los países con clima tropical.

A partir del momento en que estos sistemas se ponen en práctica se inicia un período de transición, éste puede ser más o menos de cinco años, en ese tiempo se alcanza el "equilibrio dinámico" (Sturny, 1998).

La labranza mínima y cero labranza garantizan una estructura del suelo más estable, una población más alta de los microorganismos y mayor actividad (el aumento de esta actividad posibilita, con el curso del tiempo una velocidad de descomposición de los residuos más alta); mayor capacidad de infiltración, reducción de la compactación, erosión y de la costra superficial del suelo, reducción del lavado de los nitratos y de los herbicidas, reducción de la necesidad de uso del tractor y la fuerza de trabajo (Tebrugge *et al.*, 1994).

Las prácticas de laboreo mínimo y cero labranza representan un punto de partida para el establecimiento de los sistemas agrícolas sostenibles por lo que el papel de éstas en la protección de plantas necesita ser revisado y discutido. Las investigaciones realizadas acerca de la relación entre las prácticas de laboreo, las propiedades físico-químicas de los suelos y las plagas son insuficientes. La falta de conocimiento en este campo hace que no se pueda valorar en toda su magnitud la importancia de éstas en el manejo preventivo. Además, en muchos de los estudios se han obtenido resultados contradictorios que han impedido hacer generalizaciones.

Claro está, hay que tener en cuenta que parte de estos estudios han sido realizados en un período de tiempo muy breve y en sistemas donde predominan otras prácticas de manejo convencional. En los Estados Unidos de Norteamérica se han desarrollado sistemas de manejo de suelos que han hecho posible una agricultura de labranza de conservación y de cero labranza en latitudes templadas, pero la mayor parte de estos sistemas están basados en el monocultivo y en la fertilización inorgánica, lo que trae como consecuencia que se utilicen grandes cantidades de herbicidas.

Ocurre también que estas prácticas producen efectos distintos sobre los diferentes grupos de organismos plaga, como por ejemplo el caso de que una misma práctica pueda deprimir la población de un grupo de organismos a la vez que incrementa la de otros, tal como sucede con la labranza mínima y la cero labranza y el aumento de las poblaciones de caracoles y babosas (Hammond, 1996; Hammond *et al.*, 1996; Hammond *et al.*, 1999).

Aún dentro de un grupo particular de organismos pueden presentarse esas diferencias en la respuesta de la población, como ocurre en el grupo de los insectos fitófagos, lo cual está bien ilustrado en el ejemplo que a continuación se cita. Bortoli *et al.* (1994) al evaluar el efecto de tres prácticas de preparación de suelo (convencional, laboreo mínimo y éste último mínimo con una aplicación adicional de herbicidas 20 días después

de la plantación) sobre las poblaciones de artrópodos en el cultivo de la soya encontraron que el laboreo mínimo reduce las poblaciones de *Anticarsia gemmatalis* Hübner y de coleópteros defoliadores, pero no tuvo efecto sobre la densidad poblacional de *Omiodes indicata* F. (= *Hedylecta*) y *Epinotia aporema* Walsingham y provocó un incremento de la actividad de artrópodos depredadores. En la tabla 3.2 aparecen relacionados un grupo de casos en los que se manifiesta esa diferencia en la respuesta de la población, lo cual indica que cada caso ha de ser estudiado en detalle.

En campos de algodón cultivados bajo un sistema de laboreo mínimo combinado con cobertura de trébol rojo las poblaciones de trips, *Lygus hesperus* Knigh, *Helicoverpa zea* Boddie, *Heliothis virescens* F., *Chrysodeixis includens* Walker (= *Pseudoplusia*) y *Trichoplusia ni* Hübner fueron menores en comparación con el campo bajo manejo convencional (Ruberson *et al.*, 1995). Entre los mecanismos de regulación natural que pueden ser estimulados mediante estas prácticas están los enemigos naturales. Una de las explicaciones que se dio a la disminución de las poblaciones de los insectos fitófagos fue el aumento de los artrópodos beneficiosos, en este caso, la abundancia de *Solenopsis invicta* Buren (un depredador generalista) fue notable.

El aumento de la humedad y disminución de la temperatura del suelo pueden ofrecer condiciones más favorables para el desarrollo de determinados organismos que actúan como agentes de control natural, tales como los hongos entomopatógenos y antagonistas, así como un hábitat más propicio para los depredadores.

Los resultados contradictorios de estos estudios explican la percepción negativa de algunas personas acerca de los beneficios del laboreo conservacionista para la regulación de plagas. Existe la creencia generalizada en un amplio círculo de profesionales y productores de que las prácticas de cero labranza y laboreo mínimo, así como otras técnicas de preparación de suelo conservacionistas favorecen el desarrollo de los organismos nocivos que tienen este como hábitat (Conway, 1996; Hammond, 1996; Hammond *et al.*, 1999).

Está demostrado que una medida aislada no puede resolver un problema particular y mucho menos que pueda resolver problemas de tan diversa naturaleza, por eso se enfatiza tanto en la necesidad de establecer un manejo integrado donde las medidas de carácter preventivo tengan un lugar destacado. También ha de tenerse en consideración que el resultado obtenido cuando se establecen prácticas de labranza conservacionista no será el mismo si permanecen inmutables otras prácticas de manejo con-

Tabla 3.2 Efecto de diferentes prácticas de laboreo sobre las poblaciones de organismos nocivos

Organismo nocivo	Cultivo	Efecto de labranza		Referencias
		Conservación	Convencional	
<i>Diabrotica speciosa</i>	soya		Aumenta	Braga da Silva <i>et al.</i> , 1994
<i>Elasmopalpus lignosellus</i>			Aumenta	
Larvas de elatéridos		Aumentan		
<i>Ataenius</i> sp.		Aumenta		
<i>Spodoptera frugiperda</i>	maíz	Disminuye		Willink <i>et al.</i> , 1994
<i>Anticarsia gemmatalis</i>	soya	Disminuye		Bortoli <i>et al.</i> , 1994
Coleópteros defoliadores		Disminuye		
<i>Omiodes indicata</i>		Sin efecto		
<i>Epinotia aporema</i>		Sin efecto		
Pentatómidos	soya	Aumentan		Buntin <i>et al.</i> , 1995
<i>Heliothis armigera</i>	trigo		Disminuye	Shi, 1995
<i>Deroceras reticulatum</i>	soya	Aumenta		Hammond, 1996
	maíz			
<i>Arion subfuscus</i>		Aumenta		
<i>Ostrinia nubilalis</i>	maíz		Disminuye	Schaafsma <i>et al.</i> , 1996
<i>Pectinophora gossypiella</i>	algodonero	Disminuye		Antilla <i>et al.</i> , 1996
Babosas	maíz	Aumenta		Hammond <i>et al.</i> , 1996
<i>Diatraea saccharalis</i>	arroz	Disminuye		Ferreira <i>et al.</i> , 1996
<i>Plutella xylostella</i>	col		Aumenta	Mwaja <i>et al.</i> , 1996
<i>Pieris rapae</i>				
<i>Trichoplusia ni</i>				
<i>Leptinotarsa decemlineata</i>	tomate	Disminuye		Hunt, 1998
<i>Phyllotreta</i> spp.	canola	Disminuye		Dosdall <i>et al.</i> , 1999

vencional. Lo más recomendable es combinar las diferentes prácticas de preparación de suelo con otras medidas de control cultural. Diversos autores han destacado la necesidad de considerar la rotación como una práctica imprescindible en los sistemas bajo laboreo conservacionista (Braga da Silva, 1996; Bailey y Duczek, 1996; Bailey, 1997; Sturny, 1998).

Por ejemplo en relación con el comportamiento de las poblaciones de insectos en soya cultivada en sistemas de cero labranza, Braga da Silva (1996) propone establecer rotaciones con maíz, pues al determinar la influencia de ésta sobre *Sternechus subsignatus* Boheman encontró que la infestación por adultos, el número de larvas activas e invernantes y el porcentaje de daño a las plantas de soya fue significativamente menor en la rotación. Concluyó que la rotación maíz-soya es una medida importante en el manejo de *S. subsignatus* en áreas infestadas debido al hecho de

que ni se alimenta ni oviposita sobre las plantas de maíz. Una rotación adecuada (alternando granos y cultivos de follaje) es crucial para el éxito de los sistemas de cero labranza (Sturny, 1998).

Las prácticas conservacionistas de preparación de suelos constituyen uno de los componentes principales en el desarrollo de los sistemas agrícolas sostenibles, donde los organismos nocivos, tales como los insectos, se consideran una variable del proceso. Para estimular la sostenibilidad de los sistemas bajo laboreo conservacionista, se necesita mucho más conocimiento acerca del efecto de los residuos de cultivo sobre los organismos fitófagos y sus enemigos naturales, así como conocer las interacciones insecto-planta-enemigo natural en los diferentes ambientes que se crean en estos sistemas. Se necesita desarrollar investigaciones en este sentido, donde participen profesionales de diferentes disciplinas y sectores.

ROTACIÓN DE CULTIVOS

Entre las prácticas culturales que pueden implementarse con la finalidad de crear un ambiente menos favorable para el desarrollo de los organismos nocivos se encuentra la rotación de cultivos. La misma es un sistema en el cual éstos se siembran en una sucesión reiterativa y en una secuencia determinada sobre una misma superficie.

La rotación de cultivos es posiblemente el método de control de plagas y enfermedades más antiguo que se conoce y necesita ser redescubierto en la era del monocultivo y de la agricultura especializada e intensiva (Cook y Veseth, 1991). Esta medida fue practicada en China durante la dinastía Han, hace ya más de 3 000 años (MacRae y Mehuys, 1985). Con la modernización de la agricultura, la aparición de los fertilizantes inorgánicos y los plaguicidas sintéticos disminuyó el interés en la rotación a medida que aumentó en el cultivo continuo. La necesidad del establecimiento de sistemas agrícolas sostenibles ha hecho que esta práctica sea tomada en consideración de nuevo. Con ésta se estimulan varios de los mecanismos de regulación natural, lo cual tiene un papel decisivo en el rendimiento de los cultivos por los beneficios que aporta. Tiene múltiples funciones, entre las más importantes están el manejo de los nutrientes y la protección integrada de los cultivos en los sistemas agrícolas sostenibles (Jordan y Hutcheon, 1996). La marcada influencia sobre la fertilidad del suelo y sus propiedades físico-químicas hace que mejore su respuesta ante los agentes causantes de la erosión y compactación, a la

vez que influye sobre las poblaciones de los organismos, tanto nocivos como beneficiosos, que tienen éste como hábitat.

Los factores y mecanismos responsables del incremento en los rendimientos no se conocen en su totalidad. Hay dos factores principales, que a su vez han sido los más estudiados, el primero es que el incremento en el suministro de nitrógeno es el responsable de la vasta mayoría de los beneficios obtenidos con la rotación y el segundo que la disminución de las poblaciones de malezas, insectos y de organismos que producen enfermedades también contribuye al aumento de los rendimientos. Pero estos dos factores no explican completamente, en todos los casos, el incremento de los rendimientos asociado con la rotación de los cultivos (Bullock, 1992).

En la rotación el principal factor de regulación natural a considerar es el alimento. El cambio estacional de la fuente de alimento (el cultivo) produce cambios en la población de los fitófagos e impide que se alcancen niveles poblacionales altos, pues se rompe el ciclo biológico de los diferentes organismos. Mientras mayores sean las diferencias botánicas entre los cultivos en una secuencia de rotación, mejor control puede esperarse (Altieri, 1997). En los sistemas de producción orgánicos las rotaciones constituyen la medida principal para el control de malezas, plagas y enfermedades (Lampkin, 1990). En la tabla 3.3 aparecen algunos ejemplos exitosos de la aplicación de esta medida en el control de plagas de insectos.

La rotación es una herramienta fundamental para el Manejo Integrado de Plagas (Bullock, 1992), pero si bien puede resultar una medida muy efectiva contra ciertas especies también puede ser totalmente ineficiente en el caso de otras. La efectividad de las rotaciones depende, entre otras cosas, del organismo que se pretende regular. Insectos polívoros y/o con alta movilidad son controlados con menos éxito que aquellos que tienen escasa capacidad de migración y rango de hospedantes limitado. Los insectos con alta movilidad son capaces de invadir y colonizar desde los campos vecinos y sitios más alejados. El mayor éxito se ha alcanzado en el control de insectos que habitan en el suelo, de nematodos que afectan las raíces de las plantas, de patógenos que se transmiten por el suelo (si éstos no producen esporas capaces de diseminarse por el aire) y de malezas que se propagan vegetativamente.

Otro aspecto a tener en cuenta es el rango de hospedantes de los fitófagos. Éste ha de ser estrecho, y por último, que las plagas sean incapaces de sobrevivir largos períodos en ausencia del hospedante vivo; aun-

que esto no es totalmente absoluto, hay situaciones en las que si se tiene un conocimiento profundo del organismo que se pretende controlar se pueden establecer rotaciones con resultados efectivos en menor o mayor grado, como en el caso de los trips.

Kawai (1990), en un ensayo realizado para determinar el efecto de los cultivos de verano sobre las poblaciones de *Thrips palmi* (Karny) en los cultivos de invierno encontró que en los distritos donde no se sembraron cultivos hospedantes durante el verano, las poblaciones en el cultivo de invierno fueron bajas; por el contrario, donde se cultivó berenjena o pepino, la población en el cultivo de invierno fue muy alta, estas dos plantas se encuentran entre los hospedantes preferidos de dicho insecto. *T. palmi* tiene una capacidad de dispersión baja, su actividad de vuelo no es alta y por eso no es capaz de moverse a grandes distancias por sí mismo, pero tiene un rango de hospedantes muy amplio, incluyendo numerosas malezas. Por eso es tan importante que los cultivos hospedantes más atractivos para este insecto -de tan difícil control- no sean cultivados nunca sucesivamente. Ésta fue una de las primeras medidas adoptadas en Cuba para prevenir la dispersión y el aumento de sus poblaciones, a partir de su introducción en el país a finales de 1996.

La secuencia específica de cultivos que se empleen en la rotación depende de varios factores, entre los que se encuentran: el clima, las tradiciones, los hábitos alimentarios, consideraciones económicas y los posibles organismos plaga. Los esquemas de rotación no pueden mantenerse fijos o estables durante un tiempo prolongado, pues la repetición continua de los mismos cultivos puede dar lugar a la aparición de nuevas plagas.

La rotación maíz-soya, en muchas de las zonas productoras de maíz en Estados Unidos de Norteamérica y Canadá, ha sido durante muchos años la principal estrategia de manejo para el control de *Diabrotica virgifera virgifera* LeConte, una de las plagas del maíz de mayor importancia económica en esa región. A causa de la aceptación general de esta estrategia de manejo, el uso de insecticidas aplicados al suelo ha disminuido en 50 % en Illinois desde finales de los años 70 del siglo pasado (Gray *et al.*, 1996).

En 1995, los productores del Centro Este de Illinois y del Noroeste de Indiana sufrieron un daño severo por larvas de *D. v. virgifera* en maíz que había sido rotado rutinariamente con soya, en algunos casos durante décadas. Las investigaciones realizadas en 1994 y 1995 indicaron claramente que los adultos estaban poniendo al menos algunos de sus huevos en los campos de soya. Las consecuencias económicas y ambientales de este

cambio de comportamiento pueden ser enormes. Se sugiere que los productores pueden haber seleccionado inadvertidamente una nueva raza de *D. v. virgifera* a causa de la práctica rutinaria de rotar maíz con soya (Gray *et al.*, 1996).

La resistencia a los insecticidas del escarabajo de la papa, *Leptinotarsa decemlineata* Say, es uno de los problemas que enfrentan los productores de papa en Michigan. Las pérdidas han sido millonarias; en respuesta a esta situación, aproximadamente el 100 % de la superficie cultivada está bajo algún tipo de programa de MIP. La rotación es la práctica más común

Tabla 3.3 Ejemplos de rotaciones efectivas en la regulación de insectos plaga

Cultivo principal	Cultivo en rotación	Organismo nocivo	Referencias
papa	trigo	<i>Leptinotarsa decemlineata</i>	Wright, 1984
trigo	barbecho invierno trigo invierno	<i>Cephus pygmeus</i>	Glebov, 1995
soya	maíz	<i>Sternechus subsignatus</i>	Braga da Silva, 1996
melocotonero	trigo-sorgo	<i>Cricodemella xenoplax</i>	Nyczypir <i>et al.</i> , 1996

(78%) en los programas de MIP establecidos para el manejo de la resistencia (Grafius, 1997).

CULTIVOS MÚLTIPLES

Con los cultivos múltiples ocurrió algo semejante a lo que sucedió con la rotación. Con la modernización de la agricultura el monocultivo se intensificó y extendió. El creciente aumento de los problemas de plagas se ha relacionado experimentalmente con la expansión del monocultivo, ya que el proceso de simplificación de la biodiversidad alcanza una forma extrema en los monocultivos agrícolas, de ahí que una de las principales medidas a implementar en un programa de manejo agroecológico sea hacer desaparecer el monocultivo como estructura básica del sistema agrícola (Altieri, 1997). Para esto se precisa definir estrategias de diversificación. Un elemento clave de éstas lo constituyen los cultivos múltiples.

Los sistemas de cultivos múltiples constituyen sistemas agrícolas diversificados en el tiempo y en el espacio, por eso se definen como siste-

mas en los cuales dos o más cultivos, se siembran o plantan simultáneamente, lo suficientemente cercanos como para que se presenten interacciones entre ellos. En la definición dada por Andrews y Kassam (1976) se enfatiza, “desarrollo de dos o más cultivos en el mismo campo durante el mismo ciclo”, que es el caso de los que se clasifican como intercultivos. Estos sistemas consisten en combinaciones espaciales y temporales de los diferentes cultivos en una superficie dada (Altieri, 1992).

Los cultivos pueden ser sembrados o plantados en diferentes arreglos espaciales. De acuerdo con Andrews y Kassam (1976) estos se clasifican como: intercultivos mezclados, no existe un arreglo espacial en hileras que pueda distinguirlo; intercultivo en surcos, se refiere al desarrollo de dos o más cultivos simultáneamente, donde uno o más cultivos son sembrados en surcos; intercultivos en franjas, desarrollo de dos o más cultivos simultáneamente en diferentes franjas, con un ancho que permita el cultivo independiente, pero que a su vez estén tan cerca como para que exista interacción; e intercultivos en relevo, desarrollo de dos o más cultivos simultáneamente durante parte del ciclo de vida de cada uno de ellos, un segundo cultivo después que el primero ha llegado a su estado de crecimiento reproductivo, pero antes de la cosecha de éste.

Entre los mecanismos de regulación natural que pueden ser estimulados en los policultivos están: alimento, camuflaje, ambiente de la planta, confusión, repelencia y enemigos naturales, entre otros (tabla 3.1). En la etapa de búsqueda, invasión y colonización de los insectos fitófagos sobre un cultivo dado tienen que existir estímulos atrayentes que garanticen el éxito. Esta atracción está gobernada por una relación química entre la planta hospedante y los insectos y por estímulos visuales y puede ser interferida al estar ubicados en un mismo espacio cultivos de diferente naturaleza que provocan una ocultación o dilución del estímulo atrayente. Pero este mecanismo no está actuando solo. Las plantas de las diferentes especies que están sembradas juntas provocan también un efecto de enmascaramiento, a la vez que constituyen barreras físicas que limitan la colonización. El desarrollo poblacional y sobrevivencia resultan afectados por la disminución de la dispersión que provocan las barreras físicas, y la falta de estímulos para la colonización interfiere en los procesos de reproducción y alimentación.

Otro mecanismo de regulación natural muy importante son los enemigos naturales. Existen numerosos estudios en los que se ha demostrado que el aumento en las tasas de mortalidad de insectos fitófagos en los sistemas de cultivos múltiples tiene su causa en el aumento de las pobla-

ciones de enemigos naturales (Andow, 1991). Ejemplos de sistemas de cultivos múltiples que disminuyen la incidencia de plagas fueron compilados por Altieri (1992). De los 33 casos presentados, en 13 se hace referencia a los enemigos naturales como mecanismo de regulación.

El comportamiento de los insectos en los sistemas policulturales ha tratado de explicarse a través de cuatro hipótesis ecológicas: resistencia asociacional, enemigos naturales, concentración de recursos y apariencia de las plantas. Altieri (1992) resumió los argumentos fundamentales de estas cuatro hipótesis y discutió los dilemas teóricos que el planteamiento de las mismas ha generado.

Hipótesis de la resistencia asociacional. Plantea que los ecosistemas en los cuales están entremezcladas plantas de diferentes especies poseen una “resistencia asociacional” a los herbívoros además de la resistencia que puedan tener las plantas individuales (Root, 1975). La resistencia asociacional se expresa a través de la interferencia de las respuestas olfatorias y/o visuales que produce confusión y limita el éxito de la búsqueda del hospedante.

Hipótesis de la concentración de recursos Fue formulada por Root (1973). Se fundamenta en que las poblaciones de insectos fitófagos pueden ser influidas directamente por la dispersión espacial de sus plantas hospedantes. Una característica común del comportamiento de un grupo numeroso de herbívoros (en especial aquellos con un rango de hospedantes estrecho) es encontrar y permanecer sobre hospedantes que crecen en grupos densos o casi puros que pueden garantizar recursos concentrados y condiciones físicas homogéneas (Root, 1973). En los cultivos múltiples la homogeneidad de las condiciones físicas se rompe y la concentración de recursos disminuye por los efectos perturbadores de las plantas no hospedantes.

Hipótesis de los enemigos naturales. También fue formulada por Root (1973). Se sustenta en la idea de que en los policultivos debe existir una mayor cantidad y diversidad de enemigos naturales que en los monocultivos, debido a que los primeros pueden proporcionar presas y hospedantes alternativos, una mejor distribución espacial y temporal de fuentes de polen y néctar que atraen un mayor número de enemigos naturales y aumentan el potencial reproductivo de éstos y ofrecen sitios de refugio y para la nidada. Por otra parte, el aumento de la cobertura del suelo favorece las poblaciones de depredadores que tienen éste como hábitat, tal es el caso de las hormigas depredadoras de diferentes géneros como *Pheidole* y *Tetramorium*, que son tan comunes en las plantaciones con

una cobertura densa. Un elevado número de especies de depredadores tiene hábitos polípagos, a la vez que amplios requerimientos de hábitat, lo que les permite explotar un número grande de fitófagos en los más diversos micro hábitat. En una revisión realizada por Andow (1991) a 209 artículos que abordaban la relación entre la diversidad vegetal y las poblaciones de artrópodos herbívoros en los agroecosistemas, se encontró que en los policultivos 52 % de los herbívoros estudiados eran menos abundantes, mientras que 53 % de los enemigos naturales eran más abundantes.

Hipótesis de la apariencia de las plantas. La hipótesis fue formulada en el mismo año por Feeny (1976) y Rhoades y Cates (1976). En su teoría acerca de la defensa química de las plantas plantearon una clasificación que tiene como base la susceptibilidad de éstas a las plagas. La clasificación establecida divide a las plantas en dos grupos: “aparentes o predecibles” y “no aparentes o impredecibles”. El término “aparente” se aplica a aquellas plantas que han perdido parte de sus defensas naturales a causa de determinadas prácticas agrícolas. Según Feeny (1976) la “apariciencia” de una planta de cultivo aumenta por su asociación cercana con especies relacionadas, por lo que es de esperar que las plantas en monocultivo presenten defensas químicas y físicas debilitadas. El conocimiento de esta teoría permite estimular mediante determinadas prácticas agrícolas las defensas naturales de las plantas. Entre las prácticas que pueden aumentar o disminuir la “apariciencia” de un cultivo está el policultivo. En los cultivos múltiples pueden presentarse otros efectos que no siempre encuentran una explicación en las hipótesis antes señaladas, como es el caso de los cultivos trampa.

Efecto de los cultivos trampa

Una crítica esgrimida por Vandermeer (1992) a las hipótesis que tratan de explicar las relaciones entre la diversidad vegetal y el ataque de plagas es que no han considerado el efecto denominado “cultivo trampa”. El principio de éstos parte del hecho de que las plagas a menudo muestran preferencia por determinadas plantas. Dada esta preferencia, la presencia de un segundo cultivo en la vecindad del cultivo principal podría atraer una plaga que de otra manera atacaría este último (Hokkanen, 1991; Vandermeer, 1992). El conocimiento de estas preferencias permite diseñar opciones de manejo más seguras desde el punto de vista económico y ambiental de modo que disminuyan los costos de producción y se reduzca la dependencia de los plaguicidas. De ahí que el uso de los cultivos

Tabla 3.4 Ejemplos de cultivos trampa

Cultivo Principa	Cultivo Trampa	Plagas	País	Referencias
tomate	frijol común	<i>Spodoptera sunia</i>	Nicaragua	Rosset <i>et al.</i> , 1986
tomate	frijol común	<i>Bemisia tabaci</i>	Guatemala	Salguero, 1993
tomate	frijol común	<i>B. tabaci</i>	Costa Rica	Arias e Hilje, 1993
tomate	crotalaria	<i>Bemisia argentifolii</i>	Puerto Rico	Pantoja y Cabrera, 2001
algodonero	garbanzo	<i>Heliothis armigera</i>	Australia	Scholz <i>et al.</i> , 2000 Murray <i>et al.</i> , 2000
algodonero	dolicho	<i>H. armigera</i>	Australia	Scholz <i>et al.</i> , 2000
algodonero	alfalfa	Miridos	Australia	Scholz <i>et al.</i> , 2000
col	mostaza de la India	<i>Plutella xylostella</i>	Sud Africa	Charleston y Kfir, 2000

trampa tenga una especial importancia para la agricultura de subsistencia en los países en desarrollo. En la tabla 3.4 se presentan algunos ejemplos de cultivos trampa que han resultado efectivos en el control de determinados insectos.

Efecto del cultivo barrera

Otro mecanismo de regulación natural que se pone de manifiesto en los sistemas de cultivos múltiples es la interferencia. Los cultivos secundarios pueden actuar como un obstáculo físico que impide o limita el acceso de los organismos nocivos al cultivo que se quiere proteger, de ahí la denominación que se utiliza frecuentemente de “cultivo barrera” para los cultivos secundarios que cumplen esta función.

Un cultivo barrera es aquel que sembrado o plantado en asociación con el cultivo principal impide, limita, obstaculiza, interfiere o dificulta el reconocimiento y colonización de los insectos que en circunstancias normales concurren a éste. Éste no sólo se limita a funcionar como un obstáculo físico, los mecanismos a través de los cuales transcurre su acción son variados y además de la interferencia están: la atracción, la repelencia y la facilitación del control biológico.

Varias plantas de patrón de crecimiento alto, fundamentalmente en la familia Poaceae, han sido evaluadas como cultivo barrera. El maíz y el sorgo se encuentran entre las más utilizadas. Las características botánicas, un tallo alargado y recto, de muchas de las variedades de estas dos plantas, las hacen muy apropiadas como cultivos barrera. Está también el

hecho de que pueden soportar una población relativamente alta de insectos fitófagos de diferentes especies sin que sufran un daño apreciable, los que a su vez atraen a un elevado número de enemigos naturales y por otra parte, a causa de la producción de determinados compuestos secundarios pueden actuar además como “planta trampa”. Los dos cultivos se utilizan en México como barreras para proteger a los cultivos de chile y melón de la invasión de áfidos y de esta forma reducir la dispersión de los virus que éstos transmiten, y en Centro América para el control de mosca blanca (Hilje, 1993; Salguero, 1993). En Cuba, el uso de barreras de maíz y sorgo forma parte de las medidas de manejo integrado de *T. palmi*, su función principal es la preservación y aumento de las poblaciones de enemigos naturales, fundamentalmente de los géneros *Orius*, *Chrysopa* y *Franklinothrips* (Murguido *et al.*, 2000).

El efecto barrera de un determinado cultivo no es una característica que se manifieste sólo en función de éste. En el momento de diseñar un plan de manejo donde se considere aprovechar dicho mecanismo de regulación natural hay que considerar sobre que grupo de insectos puede un cultivo ejercer esta acción con mayor efectividad. Quiere esto decir, que hay que conocer muy bien las interacciones planta-insecto. Las moscas blancas, por ejemplo, son débiles voladoras y necesitan de las corrientes de aire para emigrar tanto a distancias largas como cortas (Byrne *et al.*, 1996), de ahí que se pueda aprovechar su baja capacidad de vuelo para controlarlas mediante el uso de barreras. En Puerto Rico, entre las medidas implementadas en el programa de MIP para el control de la mosca blanca (*B. argentifolii*), en tomate, está el uso de la caña de azúcar como cultivo barrera (Pantoja y Cabrera, 2001).

De hecho los resultados de numerosas investigaciones han demostrado que las poblaciones de moscas blancas y áfidos pueden ser reguladas con éxito implementando esta estrategia (Salguero 1993; Nelson y Natarajan, 1994; Avilla *et al.*, 1996; Pantoja y Cabrera, 2001). Aunque no se puede generalizar, pues a pesar de existir una amplia evidencia experimental y de que los cultivos barrera están considerados dentro de las estrategias para el manejo de la mosca blanca y otras plagas en varios países en desarrollo, en ocasiones se obtienen resultados que no se corresponden con la práctica establecida. Smith y McSorley (2000) evaluaron, durante dos años consecutivos, el efecto del maíz como cultivo barrera para el control de *B. argentifolii* en frijol común y concluyeron que tuvo muy poco efecto.

En el caso de los áfidos el mecanismo de funcionamiento del cultivo barrera es bastante curioso; los áfidos limpian su estilete al succionar la

savia de la planta que está sirviendo de barrera y cuando llegan al cultivo que se quiere proteger éste va libre de virus (Salguero, 1993). A esta misma conclusión llegaron Avilla *et al.* (1996) quienes determinaron la efectividad del maíz, sorgo y girasol como cultivo barrera para áfidos en pimiento. Para evaluar las poblaciones de áfidos que aterrizaraban sobre cada tipo de parcela experimental se colocaron trampas. En el ensayo quedó demostrado que este método puede llegar a reducir o retrasar la enfermedad producida por los virus que transmiten los áfidos. Al examinar las trampas se comprobó, que el número de áfidos que llegaban al campo de pimiento protegido por la barrera era similar al que llegaba al campo no protegido, por lo que se explicó la reducción en la incidencia de la enfermedad como resultado de una disminución en la infectividad de los vectores, que aterrizaron en los cultivos barrera antes de alcanzar las parcelas de pimiento. Salguero (1993) recomienda sembrar las barreras en forma perpendicular a la dirección principal de los vientos, y hacerlo preferentemente alrededor del cultivo. La distancia entre barreras dependerá del interés económico de cada agricultor y del cultivo a proteger.

En estudios de campo realizados en la India, para determinar el efecto de los cultivos barrera sobre la incidencia de plagas de insectos en chile, se encontró que numerosas plagas (Lepidoptera, Thripidae, Aphididae y Acari) fueron mucho más bajas en parcelas bordeadas por sesbania que en las otras variantes probadas (Nelson y Natarajan, 1994). Jeyakumar y Uthamasamy (1996) al evaluar la posibilidad de utilizar el cultivo del arroz como barrera viva para limitar la migración de *Liriomyza trifolii* Burgess in Comstock hacia los campos de algodón encontraron que la incidencia e intensidad de la plaga fue baja (2-4%), por lo que concluyeron que el arroz actuó como una barrera efectiva para *L. trifolii*.

SIEMBRA O PLANTACIÓN

Fechas de siembra o plantación

Otra práctica de manejo cultural crucial para el desarrollo de un cultivo sano es la siembra. En esta actividad hay que considerar la fecha buscando el momento óptimo. El manejo del momento de siembra o plantación es una medida que permite lograr la asincronía fenológica, haciendo que se presente la fase más susceptible del cultivo en el momento en que el nivel poblacional de la plaga es más bajo. No basta sólo con la elección de la fecha más apropiada, hay que considerar también la

realización de ésta en un corto período de tiempo. La base del control cultural del picudo del algodónero, *Anthonomus grandis* Boheman, en Texas, es la plantación uniforme entre fines de mayo y principios de junio (Slosser, 1996).

La polilla de la col, *Plutella xylostella*, es uno de los insectos que más daño produce en el cultivo de las crucíferas en muchas regiones del mundo, llegando al punto de llegar a perderse más del 90 % de la cosecha si el nivel de infestación es muy alto (Verkerk y Wright, 1996). El estimado de los costos para su control ascendía a un billón de dólares americanos anualmente en la década de los 80 y principios de los 90 del siglo pasado (Talekar y Shelton, 1993). La resistencia a gran parte de los insecticidas más comunes, además de consideraciones ambientales y de salud, hace que en casos como éste sea aún más importante el diseño de estrategias de manejo que consideren medidas de carácter preventivo. El efecto de la fecha de siembra sobre el nivel de daño producido por *P. xylostella*, en col, fue estudiado por Viraktamath *et al.* (1994). Las fechas de siembra en las que se presentó el porcentaje más alto de hojas dañadas fueron las tardías, primera semana de enero (98.83 %), seguida por la primera semana de diciembre (48.18 %) en ambos casos; los repollos cosechados no fueron comercializables. El menor porcentaje de daño (16.87 %) y el rendimiento medio más alto por parcela (12.2 kg) se obtuvo en el cultivo plantado en fecha temprana (primera semana de octubre).

Helicoverpa armigera (Hübner) es una plaga clave del garbanzo en la India. La población más pequeña y el rendimiento mayor de grano se ha observado en los campos sembrados en fecha temprana (octubre) (Chaudhary y Sachan, 1995).

Estudios en Assam, India, en los cuales fue plantado chile mensualmente desde el 20 de octubre de 1992 hasta el 20 de febrero de 1993, demostraron que la incidencia y el porcentaje de infestación más bajo de *Scirtothrips dorsalis* Hood (1.2 trips/planta, 8.4 %) y el rendimiento más alto (3.7 t/ha) se alcanzó para el cultivo plantado el 20 de octubre. La incidencia de trips se incrementó y el rendimiento decreció progresivamente con la fecha de plantación, para el cultivo plantado el 20 de febrero fue 2.7 trips/planta y 11.8 % de infestación y el rendimiento 2.9 t/ha (Borah y Langthasa, 1995). Un comportamiento similar presentó *Thrips tabaci* Lindeman, en cebolla. Dawood y Haydar (1996), al determinar el efecto de cinco fechas de plantación (a principio, mediados y finales de diciembre y mediados y finales de enero) sobre los niveles de infestación de trips y su relación con el rendimiento del cultivo, concluyeron que las fechas de plantación más apropia-

das fueron a principios y mediados de diciembre. En los campos plantados en fecha tardía, *T. tabaci* alcanzó niveles altos de infestación.

Aunque, de manera general, se recomienda en muchos cultivos la siembra temprana para evitar altos niveles de infestación, se da el caso de cultivos en los que la recomendación válida es no sembrar en fecha temprana; Murguido (1995) determinó que cuando el frijol se siembra muy temprano en la temporada (junio, julio, agosto) aumenta la incidencia y el daño por el saltahoja *Empoasca kraemeri* Ross y Moore, el efecto sobre la disminución del rendimiento fue mayor debido al adelanto de la floración, el cultivo del frijol es más susceptible a pérdidas por defoliación en las etapas de floración y de formación de las vainas que en el periodo vegetativo. Das (1996), al determinar el efecto de la fecha de siembra sobre la incidencia de *Polyphagotarsonemus latus* Banks en yute, observó que en general, en la fecha más temprana de siembra (cuarta semana de marzo) se encontró el nivel de infestación más alto, mientras que las plantas sembradas más tarde (cuarta semana de abril) tuvieron un nivel de infestación bajo.

La respuesta ante la fecha de siembra o plantación de las diferentes plagas que concurren a un cultivo puede ser diferente. En un estudio realizado en arroz se encontró que el transplante tardío favoreció densidades poblacionales elevadas de *Nilaparvata lugens* Stal, *Sogatella furcifera* (Horváth), *Laodelphax striatellus* (Fallén) y *Nephotettix cincticeps* (Uhler), mientras que las poblaciones de *Chilo suppressalis* (Walker) y *C. medinalis* se incrementaron con el transplante temprano (Ma y Lee, 1996). Este hecho también fue observado por Kagungi *et al.* (2000) en un ensayo realizado para evaluar la influencia del momento de siembra y la densidad de plantación sobre los niveles de infestación de las plagas del caupí, ellos encontraron que la siembra temprana en cada estación redujo las infestaciones de áfidos (*Aphis craccivora* Koch), de trips (*Megalurothrips sjostedti* Trybom) y del complejo de chinches que se alimentan de las vainas, pero no redujo la infestación por *Maruca vitrata* F.; la explicación que se le dio a este comportamiento fue que las lluvias intensas que tienen lugar al principio de la estación lavaron los áfidos de las plantas. Las precipitaciones abundantes favorecieron el crecimiento del caupí y éstas desarrollaron un follaje más denso. La mayor densidad foliar favoreció la reproducción y supervivencia de *M. vitrata*, pues protegió a los estados inmaduros de los depredadores y de la luz del sol que puede causar deshidratación.

Estos resultados indican que cuando se trata de buscar una fecha óptima para la siembra o plantación de un determinado cultivo, en re-

lación con el control de plagas, hay que tomar en consideración el conjunto de los organismos, no vaya a suceder que tratando de evadir la presencia de uno en particular, se provoque un daño mayor por otro que no fue considerado. Como se ha visto, la respuesta del conjunto de organismos que concurren a un cultivo ante esta medida de control cultural es diferente, ya que será dada en función de múltiples características, entre las que hay que considerar además de la fenología del cultivo, el comportamiento, hábitos, biología y ecología de los organismos nocivos.

Densidad de siembra o plantación

La densidad de siembra tiene un efecto variable sobre las poblaciones de los diferentes organismos que concurren a un cultivo en particular. Según Zadoks (1993), “*puede tener cualquier efecto*”. En general, la humedad dentro de un cultivo es favorecida a densidades altas, de modo que las enfermedades foliares pueden incrementarse, en tanto que los insectos que se alimentan del follaje pueden disminuir (Zadoks, 1993), tal como sucede con los áfidos (*A. craccivora*) en caupí (Kagungi *et al.*, 2000).

En un ensayo realizado en Alberta, Canadá, se evaluó el efecto de cuatro densidades de siembra sobre los niveles de infestación de *Delia radicum* L. y *Delia floralis* (Fallén), en canola y col china. El aumento en la densidad de plantación causó una disminución del diámetro basal del tallo; por el contrario, a densidades menores crecieron plantas con un diámetro basal del tallo mayor y un aumento significativo de la población de huevos de *Delia* spp. y del daño causado por las larvas al alimentarse. Estos datos indican que las hembras de *Delia* spp. prefieren para ovipositar las plantas con tallos más desarrollados, los que se logran a densidades de siembra más bajas y por consiguiente el daño es más grande que en las plantas pequeñas (Doddall *et al.*, 1996).

La teoría de la defensa química de las plantas desarrollada por Feeny (1976) y Rhoades y Cates (1976) plantea que la “apariencia” de un cultivo puede ser aumentada o disminuida por cultivos de alta densidad. En el caso anterior parece ser que una densidad de plantación mayor desarrolló plantas “no aparentes o impredecibles” para *Delia* spp. Un comportamiento diferente se encontró para *Chilo auricilius* Dudgeon, en el cultivo de la caña de azúcar donde el daño máximo se observó a una densidad de siembra mayor, cuando la distancia entre surcos era de 60 cm, seguido por 90 y 120 cm (Singla *et al.*, 1995).

El cultivo del caupí también se hace más "aparente o predecible" para algunas de sus plagas claves cuando se siembra a densidades altas. Kagungi *et al.* (2000) encontraron que las poblaciones del trips de las flores, *M. sjostedti*; del perforador de la vaina, *M. vitrata* y del complejo de chinches que se alimentan de las vainas, eran más abundantes a densidades de siembra mayores, debido probablemente a que una densidad mayor de plantas facilita la colonización y el encuentro con el hospedante más próximo. Sin embargo, no hubo en este caso, una afectación notable del rendimiento, que resultó ser más alto que en los campos sembrados a una densidad menor. Esto último es uno de los aspectos a tener en cuenta cuando se hacen evaluaciones de distancia de siembra o plantación. Puede permitirse un cierto nivel de daño al cultivo sin que se perjudique el rendimiento; la calidad cosmética de determinados productos agrícolas no debe ser lo que determine una u otra medida de control.

Profundidad de siembra o plantación

Al igual que la densidad, la profundidad de siembra tiene un efecto variable sobre el desarrollo de los organismos nocivos. La profundidad a la cual se coloca las semillas y el material de propagación pueden afectar la incidencia y severidad del ataque de determinados organismos, lo que debe investigarse para diseñar la estrategia de su manejo. Generalmente, la plantación poco profunda es una práctica efectiva para disminuir el riesgo que representan las enfermedades, ya que las plantas emergen del suelo rápidamente, lo contrario ocurre cuando se trata de insectos que atacan las raíces, como es el caso del tetúan del boniato, *Cylas formicarius* F. Para la regulación de ese insecto se recomienda hacer aporques continuos para que el tubérculo profundice en el suelo y así disminuir las posibilidades de ataque.

Esta recomendación también es válida para la regulación de *Phthorimaea operculella* (Zeller) (polilla de la papa). En el campo, los huevos son puestos en la zona de tuberización, en las grietas del suelo, cerca de la base del tallo de la planta; la altura del aporque debe estar entre 20-25 cm, de esta forma se construye una barrera que dificulta el desplazamiento de las larvas recién emergidas a los tubérculos en formación.

MOMENTO DE COSECHA

La elección del momento óptimo de cosecha es clave para limitar el aumento de las poblaciones de insectos que aparecen en las fases tardías de

desarrollo del cultivo, tanto como para aquellos que aparecen en fases más tempranas y lo acompañan hasta el final. Esta elección es aún más importante cuando se trata de insectos que hacen su aparición en el campo y que constituyen plagas de almacén, como los gorgojos de los granos y para aquellos que se alimentan de los frutos como *Heliothis* en tomate y pimiento. Las medidas de control cultural constituyen el centro de diferentes programas de MIP para el control de la polilla de la papa, entre éstas se encuentra la cosecha temprana de los tubérculos, la polilla es plaga de campo y de almacén. Se recomienda realizar el corte del follaje en cuanto se observe el amarilleo típico que indica la madurez fisiológica del cultivo, de este modo se limita el refugio de los adultos en el campo de papa, una semana después del corte debe realizarse la cosecha, mientras más tiempo permanezcan en el campo los tubérculos, mayores riesgos se corren de nuevas infestaciones.

MANEJO DE LA NUTRICIÓN

La nutrición del cultivo es también un elemento clave a manejar en la regulación de los organismos plaga. Lamentablemente es insuficiente la atención que se presta a la relación entre la nutrición del cultivo y el control de plagas. La fertilización es una práctica agrícola que generalmente no se relaciona con la protección del cultivo (Katan, 1996). En la mayor parte de los programas de manejo de plagas esta relación no se tiene en cuenta, aunque desde hace cientos de años los agricultores aprendieron a relacionar los brotes de plagas con la pérdida natural de la fertilidad de los suelos. Por otra parte, muchas de las investigaciones realizadas para estudiar las interacciones nutrición-planta-organismo nocivo se han centrado en microorganismos patógenos, especialmente hongos (Palti, 1981; Thurston, 1992; Huber, 1997) y en menor medida se han dedicado al estudio de esta interacción para el caso de insectos y ácaros.

El estado nutricional de las plantas puede determinar su respuesta ante la presencia de plagas. Un estado nutricional óptimo confiere a las plantas determinadas condiciones y características físico-químicas que las protegen de un posible ataque de fitófagos. Entre esas condiciones y características están, según Palti (1981): aumento del vigor de crecimiento, cutícula y epidermis más gruesas, aumento de la lignificación de tejidos, estímulo de reacciones de defensa, aumento de la tasa de crecimiento (se acorta el tiempo de los estados tempranos más susceptibles) y mejor economía del agua.

La teoría de la Trofobiosis explica la relación existente entre la nutrición de las plantas y los organismos plaga. Se han realizado numerosos ensayos que la corroboran (Chaboussou, 1987). Las bases que la sustentan pueden resumirse como sigue:

- Las plantas sanas son capaces de resistir el ataque de diferentes organismos nocivos.
- La resistencia está relacionada con la síntesis de proteína por parte de la planta.
- La síntesis de proteína puede ser alterada por el efecto directo de los plaguicidas o por una nutrición desbalanceada del cultivo.
- La interrupción de la síntesis de proteína provoca que se acumulen y circulen en el tejido de las plantas, azúcares solubles, compuestos nitrogenados y aminoácidos libres.
- Los azúcares solubles, compuestos nitrogenados y aminoácidos libres constituyen una fuente de nutrientes para las plagas que favorece su reproducción y supervivencia.

El desbalance nutricional de la planta puede ocurrir cuando se usan fertilizantes minerales en dosis elevadas. Ese desbalance ocurre a causa de la toma excesiva de nutrientes tales como los nitratos que pueden ser almacenados en las células de las plantas o por la presencia de altas cantidades de iones en la solución del suelo que bloquea la liberación y toma de otros nutrientes. Esta teoría da una explicación al por qué la naturaleza y la cantidad de fertilizante utilizado tanto inorgánico como orgánico influye en las poblaciones de diferentes organismos asociados al cultivo.

Los insectos herbívoros relacionan el contenido de nitrógeno de las plantas con su calidad (Jauset *et al.*, 2000). En la literatura científica aparece ampliamente documentado el hecho de que el contenido de nitrógeno de la planta hospedante influye marcadamente en la supervivencia, desarrollo y reproducción de ácaros y de insectos de diferentes órdenes, pero en particular, sobre homópteros (Minkenberg y Fredix, 1989; Patriquin *et al.*, 1995; Jauset *et al.*, 1998; Jauset *et al.*, 2000).

El efecto de los fertilizantes nitrogenados sobre los organismos nocivos está determinado por la naturaleza de éstos más que por la cantidad. Se ha demostrado que hay un comportamiento diferenciado de las plagas ante los nitratos y el nitrógeno amoniacal. Las hojas de las plantas fertilizadas con nitrógeno amoniacal presentan en sus tejidos y exudados concentraciones más elevadas en aminoácidos (tres a cuatro

veces más) y en azúcares, que las plantas fertilizadas con nitrógeno nítrico (Chaboussou, 1987).

El efecto de los fertilizantes está también determinado por la especie de organismo nocivo, lo cual puede apreciarse en la tabla 3.5. Aún dentro de una misma familia de insectos la respuesta a la fertilización nitrogenada puede ser variable. Las poblaciones de la mosca blanca de los invernaderos, *Trialeurodes vaporariorum* Westwood, son muy sensibles a los cambios en el contenido de nitrógeno de la planta hospedante (Jauset *et al.*, 1998). El contenido de nitrógeno de las plantas está directamente relacionado con el nivel de fertilización nitrogenada y éste afecta la distribución de los adultos de *T. vaporariorum* entre y dentro de las plantas de tomate. El incremento en la fertilización nitrogenada aplicada en tomate estimula su desarrollo. Este estímulo se manifiesta en una frecuencia de oviposición más alta, en una menor mortalidad de los huevos y en un tamaño mayor de ninfas y adultos (Jauset *et al.*, 2000).

Los sistemas agrícolas basados en un manejo de la nutrición a partir de fuentes orgánicas son menos propensos al ataque de plagas que aquellos cuyo manejo está basado en el uso de los fertilizantes inorgánicos convencionales. Esta es una idea que está en discusión, a pesar de que existen evidencias empíricas de que puede ser así (Patriquin *et al.*, 1995). Los productores orgánicos han afirmado durante mucho tiempo que las plagas y enfermedades son indicadores de problemas de fertilidad del suelo.

Tabla 3.5 Respuesta de insectos a la fertilización nitrogenada

Organismo	Tipo de respuesta	Referencia
<i>Brevicoryne brassicae</i>	Aumento de la reproducción	Chaboussou, 1987
<i>Myzus persicae</i>	Aumento de la reproducción	Chaboussou, 1987
<i>M. persicae</i>	Aumento de la población	Edwards <i>et al.</i> , 1996
<i>Panonychus ulmi</i>	Crecimiento de la población	Chaboussou, 1987
<i>Trialeurodes vaporariorum</i>	Estimulación del desarrollo	Jauset <i>et al.</i> , 2000
<i>Bemisia argentifolii</i>	Aumenta velocidad de desarrollo larval	Blua y Toscano, 1994
<i>Bemisia tabaci</i>	Aumento de la reproducción	Jauset <i>et al.</i> , 1998
<i>Macrosiphum euphorbiae</i>	Aumento de la población	Edwards <i>et al.</i> , 1996
<i>Nilaparvata lugens</i>	Incremento de poblaciones	Ma <i>et al.</i> , 1996
<i>Sogatella furcifera</i>	Incremento de poblaciones	Ma <i>et al.</i> , 1996
<i>Laodelphax striatellus</i>	Incremento de poblaciones	Ma <i>et al.</i> , 1996

Los mecanismos que podrían explicar esta relación han sido demostrados (Patriquin *et al.*, 1995). Por ejemplo *Ostrinia nubilalis* (Hübner) prefiere para ovipositar plantas de maíz que crecen en suelos con un manejo de la nutrición convencional. Las puestas de huevos de ese insecto fueron 18 veces más altas en plantas de maíz sembradas en suelos manejados convencionalmente que en los manejados orgánicamente, independientemente de la fuente de nutrición que se utilizó en el momento de la siembra (Phelan *et al.*, 1995).

Claro está que la preferencia de un insecto por una planta en particular está gobernada por un sin número de factores y en una circunstancia dada unos prevalecen sobre otros y determinan el comportamiento. También puede darse el caso de que el nivel poblacional de una plaga, o el daño que ésta cause no guarde relación con la historia previa del manejo de la nutrición del cultivo. Letourneau *et al.* (1996) realizaron una investigación con el fin de detectar si diferentes prácticas de manejo de suelo tenían impacto sobre el cultivo del tomate, en términos de contenido de nitrógeno en los tejidos y por consiguiente si éste influía sobre el daño causado por herbívoros. En las evaluaciones realizadas en 17 fincas encontraron que el contenido de nitrógeno en los tejidos de las plantas de tomate varió ampliamente entre las muestras tomadas de fincas con esquemas de manejo orgánico y en las de esquemas de manejo convencional. Sin embargo, el daño al follaje no aumentó con el incremento del contenido de nitrógeno, lo cual demuestra que la preferencia de los insectos por una planta con un contenido de nitrógeno elevado puede tener una respuesta diferenciada.

SOLARIZACIÓN DEL SUELO

La solarización es un proceso hidrotérmico, natural, de desinfección del suelo que se logra a través del calor solar (Stapleton, 2000). El método consiste en cubrir el suelo, húmedo y desnudo, con un material que permita el paso de los rayos solares, generalmente polietileno transparente. Esta es una técnica de desinfección relativamente nueva, a la que también se le denomina calentamiento solar. La sencillez del método contrasta con la complejidad de los mecanismos (físicos, químicos y biológicos) a través de los cuales transcurre la desinfección. En el suelo tratado se producen varios procesos interrelacionados, que resultan en una mayor sanidad, crecimiento, rendimiento y calidad de los cultivos (Stapleton, 1997, 2000).

El control de las plagas del suelo es más complejo que el de las plagas foliares, lo que ha influido en el hecho de que se hayan desarrollado menos alternativas para su control, en comparación con las plagas foliares. Esta situación ha creado una dependencia de los desinfectantes químicos, más exactamente del Bromuro de Metilo. La eliminación del Bromuro de Metilo, que plantea el Protocolo de Montreal, obliga a la búsqueda en un plazo breve de alternativas para su sustitución. Entre esas alternativas está la solarización (Katan, 1999).

La solarización es efectiva para la reducción de las poblaciones de un grupo numeroso de organismos que tienen el suelo como hábitat, entre los que están: hongos, bacterias, nematodos, insectos y malezas. Aunque el radio de acción es amplio, la mayor parte de las investigaciones que se han realizado para determinar su efectividad han tenido como objetivo central a organismos patógenos, especialmente hongos y nematodos (Katan, 1987; Stapleton, 1997).

PAPEL DEL CONTROL CULTURAL EN EL MANEJO DE PLAGAS EN CUBA

La tendencia seguida en Cuba respecto al uso del control cultural durante la época de mayor auge de la agricultura convencional, fue la misma que se siguió en otras partes del mundo y aunque desde hace más de una década se vienen implementando programas de MIP, con una sólida base ecológica, sólo recientemente es que aumenta el uso de otras alternativas ecológicas que complementan lo que hasta ahora se venía haciendo en el campo del control biológico.

La rotación de cultivos, al dejar de ser una necesidad para el mantenimiento de la fertilidad del suelo por la disponibilidad de fertilizantes inorgánicos y además por la disponibilidad de numerosos plaguicidas, fue una de las primeras prácticas en ser desechadas, a pesar de formar parte de las más arraigadas tradiciones campesinas. Tanto es así, que al producirse la disminución en la disponibilidad de plaguicidas y fertilizantes inorgánicos, es una de las primeras en ser rescatadas por el sector campesino. Hay que destacar que fue justamente en ese sector donde se inicia la recuperación después del advenimiento de la crisis y el brusco descenso de los rendimientos agrícolas. Esta concepción ha cambiado sustancialmente, en estos momentos la rotación de cultivos es una de las prácticas de control cultural que forma parte obligada de muchos de los programas de MIP que se ejecutan en el país.

Para algunos cultivos se hizo evidente que la rotación era un elemento clave en el manejo integrado de determinados organismos, tal es el caso de los nematodos (Fernández, 2000). En tabaco, para el control de *Meloidogyne* se recomienda rotar con maíz, maní, millo, frijol terciopelo, y ajonjolí (Fernández *et al.*, 1990; Fernández *et al.*, 1998). En el cultivo del boniato está establecido un programa de MIP para *C. formicarius* que tiene como uno de los componentes fundamentales la rotación, al menos durante uno o dos años, constituyendo ésta una de las medidas principales en el manejo de ese insecto especialista de tan difícil control. Éste se encuentra entre los programas de MIP que mayores éxitos han tenido. Prácticamente en el 100% de los sitios que se dedican al cultivo del boniato, se implementa esta medida. Entre las rotaciones más comunes están: boniato-papa, boniato-maíz, boniato-frijol y boniato-maní. Para el control de mosca blanca en tomate y frijol está establecido un programa de rotación que considera en primer lugar a las poaceas (sorgo, maíz y pastos) (Murguido *et al.*, 2001).

Como ya se explicó al inicio del capítulo, la efectividad de las rotaciones depende, entre otras cosas, del organismo que se pretende regular. El mayor éxito se ha alcanzado en el control de malezas y nematodos que atacan las raíces de las plantas, por lo que la rotación de cultivos es una medida utilizada en Cuba en programas de manejo alternativo de malezas, en la regulación de nematodos y en menor magnitud para el manejo de insectos y patógenos (tabla 3.6).

Con los cultivos asociados ocurrió algo semejante a lo sucedido con la rotación. La modernización de la agricultura hizo que el monocultivo se intensificara y extendiera. Esta situación ha cambiado, pero aún se precisa continuar definiendo y estableciendo estrategias de diversificación. Un elemento clave dentro de las estrategias de diversificación lo constituyen precisamente los cultivos múltiples. En la situación actual de la agricultura cubana esta diversificación ha representado un desafío, pues históricamente la base de nuestra agricultura ha sido el monocultivo, aunque en el pasado los cultivos asociados fueron una práctica bastante extendida, incluso en las áreas cañeras, pues, además de los pequeños productores, siempre precisados de aprovechar al máximo la tierra disponible, el asocio era utilizado por productores medianos y grandes, como pago a los obreros agrícolas por las labores que como el deshierbe realizaban en los cañaverales. De esta forma el obrero era autorizado a plantar frijoles y/o maní en los entresurcos -sobre todo en caña planta- y sólo se les pagaba con dinero los deshiebres adicionales después que recogieran la cosecha.

El uso de esta tradicional práctica agrícola fue disminuyendo hasta quedar reducida a un pequeño grupo del sector campesino, quienes, al igual que en el caso de la rotación, fueron los primeros en rescatarla al producirse el déficit en la producción de alimentos a inicio de la década de los 90. En los últimos años se ha ido extendiendo (Casanova *et al.*, 2001) (tabla 3.7), de modo que ya es una práctica habitual entre los pequeños agricultores, los cooperativistas, y en los sistemas conocidos como “organopónicos” que tanto abundan en los terrenos dedicados a la agricultura urbana; el uso de la lechuga como cultivo acompañante es muy común (figuras 3.2, 3.3 y 3.4). Precisamente, en la agricultura urbana y periurbana es donde se aprecia uno de los mejores ejemplos del potencial de los policultivos en el manejo de plagas, pues en pequeñas superficies se cultivan diversidad de especies (Casanova *et al.*, 2001) (tabla 3.8). Las evaluaciones realizadas en estos huertos han reafirmado la idea de que es posible cultivar hortalizas sin utilizar plaguicidas químicos. El uso de plantas repelentes, entre las que se encuentran la albahaca y la flor de muerto es una práctica habitual en la agricultura urbana (figuras 3.5 y 3.6).

En comunidades agrícolas del Municipio montañoso “El Salvador”, en la provincia de Guantánamo, se realizó un estudio etnoecológico de policultivos con el objetivo de identificar las asociaciones de mejor comportamiento productivo y ambiental y de mayor aceptación por parte de los productores. Al concluir se encontró que dentro del subsistema de producción agrícola ascendía a 39 el número de asociaciones que habían sido trabajadas por los campesinos de la zona, dentro de las más frecuentes, estaban los sistemas agroforestal cafetalero y las asociaciones



Figura 3.2 Asociación de guayaba y lechuga. Parcela La Joya, patio de Referencia Nacional del movimiento de Agricultura Urbana. San José, La Habana



Figura 3.3 Asociación de lechuga y rabanito. CPA Gilberto León, San Antonio de los Baños, La Habana



Figura 3.4 Asociación de tomate y lechuga. CPA Gilberto León, San Antonio de los Baños, La Habana



Figura 3.5. Albahaca. **Figura 3.6.** Flor de muerto. El uso de plantas repelentes sembradas en la cabecera de los canteros, en las cercas o dispersas es una práctica común en los organopónicos, huertos hortícolas y patios.



Figura 3.7 Maíz intercalado con frijol. La Habana

Tabla 3.6 Efecto de rotaciones en el manejo de patógenos del suelo, nematodos y malezas

Cultivo principal	Cultivo en rotación	Plaga regulada	Referencias ^a
tabaco	maní	<i>Meloidogyne incognita</i> <i>Meloidogyne arenaria</i>	Fernández <i>et al.</i> , 1990
	Maíz	<i>M. incognita</i> <i>M. arenaria</i>	
	millo	<i>M. incognita</i> <i>Cyperus rotundus</i>	
	frijol terciopelo	<i>M. incognita</i> <i>Eleusine indica</i> <i>Rottboellia cochinchinensis</i>	
papa	col – boniato	<i>M. incognita</i>	Gandarilla, 1992
	boniato-frijol-maíz	<i>C. rotundus</i>	Fernández <i>et al.</i> , 1992
papa	frijol-maíz-boniato	<i>C. rotundus</i>	
	maíz o sorgo	Dicotiledóneas anuales	
tomate	ajonjolí	<i>Sorghum halepense</i> <i>M. incognita</i>	Fernández <i>et al.</i> , 1992
frijol	maíz + frijol terciopelo	<i>M. incognita</i>	Cea y Fabregat, 1993
maíz	maní	<i>M. incognita</i>	Rodríguez <i>et al.</i> , 1994
soya	papa – maíz – papa	<i>Corticium rolfsii</i>	Hernández <i>et al.</i> , 1997
	papa – boniato- papa		
hortalizas (organopónicos)	cebolla o habichuela	<i>M. incognita</i>	Rodríguez, 1998

^a Ver Pérez y Vázquez (2001) para referencias citadas

Tabla 3.7 Policultivos más utilizados en Cuba (Casanova *et al.*, 2001)

Policultivos	Momento de siembra o plantación
yuca + maíz	Simultáneo
yuca + frijol	+ 10 días frijol
yuca + tomate	Simultáneo
yuca + caupí	Simultáneo
yuca + tomate + maíz	Simultáneo yuca y tomate, maíz en relevo
maíz + maní	Simultáneo
maíz + frijol + calabaza	+20 días calabaza
maíz + canavalia	+20 a 30 días canavalia
maíz + pepino	Simultáneo
frijol + maíz	Simultáneo
calabaza + maíz	+ 20 días después
boniato + maíz	Simultáneo
boniato + girasol	Simultáneo
plátano + frijol	frijol en fomento del plátano
plátano + maní	maní en fomento del plátano
malanga + maíz	Simultáneo
cafeto + forestal	Simultáneo
cafeto + forestal + plátano	Simultáneo
cacao + forestal	Simultáneo
cafeto + plátano + coco	Simultáneo

maíz+ frijol y yuca+ frijol (Ros, 1998). Las poblaciones de los organismos nocivos se mantienen tan bajas que no constituyen un problema para la producción agrícola en esa región.

Profesionales de un numeroso grupo de instituciones científicas, académicas y productivas se ocupan actualmente de desarrollar investigaciones que validen y documenten esta práctica campesina. En la tabla 3.9 se resumen algunos de los resultados obtenidos. En muchos de los casos evaluados el principal mecanismo de regulación de plagas a los que se hace referencia es a los enemigos naturales, el aumento de las poblaciones de depredadores y parasitoides es el elemento común más notable en estas asociaciones. La planta más utilizada como cultivo secundario es el maíz (figura 3.7) (tabla 3.8). En la literatura científica está suficientemente argumentado el papel facilitador de ese cultivo en la actividad de los enemigos naturales, hecho que también se ha comprobado aquí para el cultivo de la yuca (Pérez, 1998; Mojena, 1998).

Tabla 3.8 Policultivos comunes en huertos hortícolas y organopónicos (Casanova *et al.*, 2001)

Cultivos en asociación	Cultivos en asociación
lechuga + rabanito	tomate + cilantro
lechuga + acelga	pimiento + habichuela corta
lechuga + aliáceas	pimiento + lechuga
col + acelga	pimiento + acelga
col + lechuga	pimiento + rabanito
col + aliáceas	pimiento + aliáceas
tomate + lechuga	habichuela arbustiva + lechuga
tomate + rabanito	habichuela arbustiva + aliáceas
tomate + aliáceas	habichuela arbustiva + acelga

Tabla 3.9 Asociaciones que pueden regular brotes de plagas de insectos (Pérez y Vázquez, 2001)

Sistema Asociado	Plaga(s) Regulada(s)	Referencias*
maíz + frijol terciopelo	<i>Meloidogyne</i> spp.	Cea y Fabregat, 1993
boniato + maíz	<i>Cylas formicarius</i>	Suris <i>et al.</i> , 1995
col + zanahoria	<i>Plutella xylostella</i>	Rodríguez, 1992
col + flor de muerto	<i>Bemisia tabaci</i>	Vázquez, 1995
col + ajonjolí	<i>Brevicoryne brassicae</i>	
melón + maíz	<i>Thrips palmi</i>	González <i>et al.</i> , 1997
pepino + maíz		
col + tomate + sorgo + ajonjolí	<i>P. xylostella</i>	Choubassi <i>et al.</i> , 1997
maíz + calabaza + ajonjolí	<i>Spodoptera frugiperda</i>	Serrano y Monzote, 1997
maíz + calabaza + vigna		
maíz + yuca + pepino		
calabaza + maíz	<i>Diaphania hyalinata</i>	Castellanos <i>et al.</i> , 1997
tomate + ajonjolí	<i>B. tabaci</i>	Vázquez <i>et al.</i> , 1997
pepino + ajonjolí		
frijol + girasol	<i>Empoasca kraemeri</i>	Álvarez y Hernández, 1997
	Crisomélidos defoliadores	
maíz + girasol	<i>E. kraemeri</i>	Álvarez y Hernández, 1997
	Crisomélidos defoliadores	
boniato + maíz	<i>C. formicarius</i>	Quintero <i>et al.</i> , 1997
yuca + frijol	<i>Erinnyis ello</i>	Mojena, 1998
	<i>Lonchaea chalybea</i>	
yuca + maíz	<i>E. ello</i>	Mojena, 1998
	<i>L. chalybea</i>	
maíz + tomate	<i>Bemisia</i> spp.	Murguido, 1995, 1996
	<i>Liriomyza</i> spp.	León <i>et al.</i> , 1998
maíz + frijol	<i>B. tabaci</i>	Murguido, 1995, 1996
	<i>E. kraemeri</i>	Pérez, 1998
	<i>Aphis spiraecola</i>	
	<i>S. frugiperda</i>	

* Ver Pérez y Vázquez (2001) para las referencias citadas

En la situación actual de la agricultura cubana se debe prestar mucha más atención al rol de los cultivos múltiples en el control de plagas. Los estudios realizados no son suficientes y hasta el momento poco se conoce de la dinámica de plagas de insectos, enfermedades, malezas y enemigos naturales en los policultivos en las condiciones del país, por lo que ésta es una de las principales tareas a desarrollar para el establecimiento de sistemas de producción sostenibles.

ESTUDIO DE CASO: COMPORTAMIENTO POBLACIONAL DE FITÓFAGOS Y ENEMIGOS NATURALES EN LA ASOCIACIÓN FRIJOL-MAÍZ

En Cuba el frijol y el maíz son dos cultivos importantes. El frijol es un alimento básico de la dieta diaria, y el maíz tiene múltiples usos. A pesar de su importancia y al hecho de que son cultivos tradicionales, la superficie que se dedica cada año a la siembra de ambos es pequeña y por otra parte generalmente se obtienen rendimientos de bajos a medios. Entre las causas de la afectación en los rendimientos está el elevado número de organismos nocivos que concurren a estos cultivos.

El número de especies de organismos que se alimentan del frijol es grande, pero no todos causan daño. Entre los fitófagos más nocivos están las moscas blancas, *Bemisia argentifolii* Bellows y Perring y *Bemisia tabaci* Gennadius, las cuales transmiten geminivirus que causan el mosaico dorado; el saltahojas, *Empoasca kraemeri* Roos y Moore, que produce encrespamiento del follaje; los crisomélidos, *Diabrotica balteata* LeConte y *Andrector ruficornis* (Oliv.), que causan perforaciones en la hojas y transmiten los virus del moteado amarillo y del mosaico del caupí; los gorgojos de los granos almacenados, *Acanthoscelides obtectus* Say y *Zabrotes subfaciatus* (Boheman) y para algunas regiones del país *Thrips palmi* (Karny) (Murguido, 1995; Murguido, 2000; Murguido *et al.*, 2002).

Al maíz también concurre un número elevado de fitófagos, pero muchos de éstos no causan un daño apreciable. Entre los insectos de mayor nocividad están la palomilla del maíz, *Spodoptera frugiperda* J. E. Smith, que se alimenta del follaje; el gusano de la mazorca, *Helicoverpa zea* Boddie, que se alimenta de los granos tiernos; y el peregrino, *Peregrinus maidis* (Ashmead), que produce daños en el follaje (Dueñas *et al.*, 1998; CAB, 2000).

Las estrategias y tácticas para el MIP en el frijol se basan en tres métodos: cultural, biológico y convencional y se presentan en un esquema flexible que permite la toma de decisiones por los agricultores (Murguido,

2000; Murguido *et al.*, 2002). Aunque los avances en el manejo integrado de plagas en frijol son notables aún se precisa del estudio y desarrollo de prácticas que contribuyan a la conservación y aumento de enemigos naturales. En la medida en que se conozca más acerca de dichas prácticas en mejores condiciones estarán los agricultores de sustituir insumos químicos por procesos de gestión que les permitan asegurar la producción de alimentos y la calidad ambiental. Las asociaciones de cultivo forman parte de esas prácticas, por lo que la determinación de su efecto sobre las poblaciones de fitófagos y enemigos naturales permitirá hacer recomendaciones para su manejo, teniendo en consideración los aspectos ecológicos y económicos del control de plagas.

Para determinar el comportamiento poblacional de fitófagos y enemigos naturales en la asociación frijol-maíz se realizó un ensayo en áreas agrícolas de la Universidad Agraria de La Habana, San José de las Lajas, La Habana, sobre un suelo Ferralítico Rojo hidratado (Hernández *et al.*, 1995), la primera siembra de enero a abril de 1998 y la segunda en igual período de 1999. La preparación de suelo se hizo con tracción animal. Se utilizó un diseño de bloques al azar con cuatro réplicas y tres variantes: 1. F, frijol monocultivo; 2. M, maíz monocultivo; 3. F+M, frijol y maíz en asociación. Las parcelas experimentales tenían un área de 400 m².

El frijol se sembró manualmente, 15 días después que el maíz, a una distancia de 0,70 x 0,05 m (aproximadamente 20 plantas por metro lineal); el maíz fue sembrado manualmente también, a una distancia de 0,70 x 0,30 m (dos plantas por nido y tres nidos por metro lineal). En la asociación se mantuvo la misma distancia de siembra para el frijol y el maíz que se sembró cada tres hileras sobre el mismo surco (2.10 x 0.50 m, dos nidos por metro lineal y dos plantas por nido). Las variedades utilizadas fueron: frijol CC-25-9 (N) y maíz "criollo". No se aplicaron productos fitosanitarios y se fertilizó con humus de lombriz. En abril de cada año se realizó la cosecha de forma manual, para el frijol seco y el maíz tierno. Se determinó el rendimiento en t/ha.

Evaluaciones en el cultivo de frijol. Los muestreos comenzaron a partir de la emergencia de las hojas primarias, con una frecuencia semanal, hasta los 63 días. Se evaluó el comportamiento poblacional de *E. kraemeri* y el complejo de trips que concurren al frijol. Para *E. kraemeri* se escogieron 25 plantas en 4 puntos (100 hojas por parcela, de la parte media de la copa de la planta) y se contó el número de inmaduros (Murguido, 1995). El muestreo de las poblaciones de trips se hizo seleccionando 20 plantas en cinco puntos en cada parcela, se observó el envés

de una hoja del nivel medio por planta y se anotó el número de inmaduros. Se contó el número de depredadores observados sobre las hojas, durante un minuto y las puestas de huevos de éstos. Para evaluar la acción de hongos entomopatógenos se llevaron al laboratorio las hojas colectadas con insectos vivos, insectos muertos con síntomas característicos de una patología fungosa e insectos muertos sin síntomas, los muertos se colocaron en cámara húmeda, por 72 horas, para estimular el crecimiento de los patógenos y los vivos se mantuvieron en observación. El diagnóstico fue realizado mediante las claves para identificación de entomopatógenos de Keller (1994) y Humber (1997). Se calculó el porcentaje de mortalidad causado por patógenos fungosos.

Evaluaciones en el cultivo del maíz. Los muestreos en maíz comenzaron a los 14 días de la siembra con una frecuencia semanal. Se seleccionaron 100 plantas al azar en cada parcela, caminando en diagonal, se determinó el porcentaje de plantas infestadas por *S. frugiperda*. La evaluación de los depredadores se hizo igual que en frijol. Para determinar la presencia de parasitoides se colectaron larvas y puestas de huevos, se llevaron al laboratorio y fueron colocadas en viales para su observación. Los datos climáticos fueron obtenidos en la Estación Meteorológica de Tapaste, San José de las Lajas.

Análisis de los datos. Los datos obtenidos en la determinación de los porcentajes de plantas de maíz atacadas por *S. frugiperda* fueron transformados por la fórmula $2\arcsen\sqrt{p}$. Los resultados de todas las evaluaciones (en frijol y maíz) fueron sometidos a un análisis de varianza de clasificación simple y las diferencias estadísticas se calcularon mediante la Prueba de Rango Múltiple de Duncan (Duncan, 1955). El Índice Equivalente de la Tierra (IET) se calculó según la fórmula recomendada por Vandermeer (1992).

Resultados. Los resultados mostraron que en las parcelas de frijol asociado con maíz, se presentaron poblaciones menores de todas las especies de insectos evaluados, esa tendencia se mantuvo durante todo el ciclo del cultivo, en las dos siembras. En los muestreos realizados se observó un retraso en la llegada de los adultos de *E. kraemeri* a las parcelas de frijol asociado con maíz, comparado con el momento en que hicieron su aparición en el monocultivo. En las dos variantes de cultivo los inmaduros se presentaron entre 7 y 8 días después de los adultos. Este comportamiento se mantuvo en las dos siembras. Las poblaciones de *E. kraemeri* se mantuvieron a valores menores en la variante asociada, durante todo el ciclo de cultivo y en las dos siembras; encontrándose diferen-

Tabla. 3.10 Comportamiento de *E. kraemeri* (inmaduros) en monocultivo y en asocio con maíz

ddg ^a	1998				1999			
	F	F+M	ESx	CV %	F	F+M	ESx	CV %
	X orig	X orig			X orig	X orig		
21	0.34 a	0.06 b	0.016**	16.25	0.45 a	0.7 b	0.011**	8.45
28	1.82 a	0.20 b	0.040**	7.98	1.85 a	0.19 b	0.44**	8.57
35	2.29 a	1.30 b	0.142*	15.82	2.50 a	1.24 b	0.144*	15.39
42	2.71 a	1.78 b	0.082**	7.28	2.84 a	1.48 b	0.084**	7.80
49	3.60 a	2.16 b	0.070**	4.88	3.17 a	2.19 b	0.137*	10.24
56	1.67 a	1.19 b	0.095*	13.28	1.70 a	1.13 b	0.086*	12.20
63	0.32 a	0.14 b	0.017**	15.22	0.33 a	0.16 b	0.018**	14.99

Medias con letras desiguales, dentro de cada fila y año, difieren significativamente según Dócima de Rango Múltiple de Duncan (Duncan, 1955).

a=días después de la germinación

cias significativas, en todos los momentos de evaluación, entre el número de insectos en la variante en el monocultivo y la asociada al maíz (tabla 3.10).

Una de las explicaciones que tiene el hecho del retraso en la llegada de los primeros adultos de *E. kraemeri* y de que las poblaciones hayan sido menores es que en las asociaciones funciona el mecanismo de regulación natural *interferencia* (Altieri, 1992; Altieri, 1997). El maíz se convirtió en un obstáculo físico y funcionó como un cultivo barrera que interfirió o dificultó el vuelo de los adultos, lo que tiene efecto sobre el reconocimiento y la colonización. Esta es una de las posibles explicaciones del retraso en la llegada de los adultos al cultivo asociado, este fenómeno fue observado en ensayos realizados por otros investigadores en Cuba (Murguido, 1995; Mederos, 2002).

La acción del maíz no se limita a la interferencia, existen otros mecanismos de regulación que funcionan en la asociación, el aumento de los enemigos naturales es uno de éstos (Altieri y Nicholls, 1998). Es motivo de discusión el hecho de que la diversidad de especies en la asociación frijol-maíz es muy similar a la de los monocultivos, pero las poblaciones de fitófagos generalmente son menores, en particular para el caso de *E. kraemeri* una de las explicaciones que sustenta la disminución de las poblaciones es la abundancia de depredadores generalistas (Coll y Brotell, 1995); ese es un elemento más a considerar para explicar los resultados alcanzados en el presente trabajo.

Otra condición desfavorable para *E. kraemeri* es que en la asociación disminuye la intensidad luminosa. En ensayos realizados por Lee (2001), en condiciones experimentales similares a las de la investigación descrita aquí, se determinó una disminución de la radiación solar del 28.38 % respecto al monocultivo. La disminución de la intensidad luminosa inhibe la alimentación en los cicadélidos (Altieri y Letorneau, 1982). Después de los 49 días ocurrió un descenso brusco en la población, en las dos siembras, en el año 1998 éste fue acompañado de la aparición de una enfermedad fungosa que produjo una mortalidad elevada.

Otro de los beneficios resultante de la asociación fue la disminución en las poblaciones de trips (tabla 3.11). Al frijol concurren varias especies de trips que necesitan ser identificadas, de hecho este orden requiere de una revisión sistemática en el país, ya que pueden existir numerosas especies que estén sin identificar. En los muestreos realizados la especie que se apreció en mayor abundancia fue *Thrip palmi* Karny. Una de las medidas recomendadas para su control es la preservación de los enemigos naturales como *Orius insidiosus* Say y *Franklinothrips vespiformis* (D. L. Crawford), los crisópidos y los ácaros de los géneros *Amblyseius* y *Phytoseiulus* (Murguido, 2000).

El maíz intercalado entre las plantas de frijol contribuyó a la presencia de algunos de esos enemigos naturales. Para el caso de dicho insecto de tan difícil control tal resultado es muy importante ya que en el país “no se

Tabla. 3.11 Comportamiento del complejo de trips (inmaduros) en frijol en monocultivo y en asocio con maíz

ddg ^a	1998				1999			
	F	F+M	ESx	CV %	F	F+M	ESx	CV %
	X orig	X orig			X orig	Xorig		
14	0.43 a	0.22 b	0.015**	9.23	0.06 a	0.03 b	0.002*	8.59
21	2.48 a	0.71 b	0.098**	12.27	2.57 a	1.14 b	0.158*	16.98
28	4.38 a	2.50 b	0.123**	7.16	3.26 a	1.52 b	0.154**	12.86
35	7.55 a	5.75 b	0.258*	7.76	7.22 a	5.37 b	0.392*	12.46
42	12.81 a	8.49 b	0.852*	16.00	11.56 a	7.86 b	0.749*	15.43
49	16.21 a	11.74 b	0.842*	12.04	10.49 a	6.58 b	0.491*	11.51
56	10.29 a	7.64 b	0.551*	12.28	8.77 a	6.58 b	0.293*	7.64
63	4.88 a	2.06 b	0.295*	17.00	3.12 a	1.78 b	0.189*	15.40

Medias con letras desiguales, dentro de cada fila y año, difieren significativamente según Dócima de Rango Múltiple de Duncan (Duncan, 1955)

a= días después de la germinación

realizan crías, ni liberaciones de parasitoides y depredadores en el cultivo del frijol" (Murguido, 2000) y hay que tener en cuenta que en el control convencional se incluyen los insecticidas químicos; en Cuba están registrados 15 productos para el control de plagas de insectos y ácaros en frijol (Cuba, 2002), algunos de los cuales son incompatibles con diferentes enemigos naturales, además tres de éstos se ubican en la categoría de extremadamente tóxicos o altamente tóxicos (tabla 3.12), y se encuentran en la lista

Tabla 3.12 Insecticidas y acaricidas registrados para el control de plagas en frijol (Cuba, 2002)

Insecticida	Toxicidad humanos ^b	Docena sucia	Toxicidad a enemigos naturales
cipermetrin+diazinon ^a	II		
endosulfan ^a	IB	x	
fenitotrin+fenvalerato ^a	II		
malation ^a	III		Incompatible con <i>B. thuringiensis</i> ^c
metamidofos ^a	IB	x	Incompatible con <i>B. thuringiensis</i> ^c Ligeramente tóxico a <i>V. lecanii</i> ^f
paration metilo ^a	IA	x	Incompatible con <i>B. thuringiensis</i> ^c
carbarilo ^a	II		Muy tóxico a entomófagos ^d
fenvalerato ^a	II		Incompatible con <i>B. thuringiensis</i> ^c
ciflutrin	III		
dicofol	II		Tóxico a entomófagos ^d
triclorfon	II		
dimetoato	II		Tóxico a <i>V. lecanii</i> ^f
etion	II		
imidacloprid	II		

^a Insecticidas registrados para control de salta hojas

^b Significado de la clasificación de toxicidad, IA: extremadamente tóxico, IB: altamente tóxico, II: moderadamente tóxico, III: ligeramente tóxico.

^c Compatibilidad a las concentraciones recomendadas en campo (Jiménez, 1995).

^d Compilado por Almaguel (2000).

^e Muiño y Larrinaga (1998).

de la Nueva Docena Sucia (Rosenthal, 2002), y el endosulfán está entre los Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs) (Schafer, 2002).

Como se aprecia en la asociación maíz-frijol se manifestó un efecto marcado sobre las poblaciones de diferentes plagas del frijol, el comportamiento fue diferente para el maíz. El porcentaje de plantas afectadas por *S. frugiperda* fue muy similar en los dos sistemas de cultivo, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos en ningún momento de evaluación. La tendencia mostrada durante las dos siembras

Tabla. 3.13 Comportamiento de *S. frugiperda* en monocultivo y en asocio con frijol

dds ^a	1998							1999						
	M		F+M					M		F+M				
	Xo	Xt	Xo	Xt	ESx	CV %	Xo	Xt	Xo	Xt	ESx	CV %		
14	2.25	0.31	5.25	0.46	0.036 NS	18.37	3.25	0.36	2.75	0.33	0.018 NS	10.61		
21	4.25	0.41	6.00	0.49	0.028 NS	12.52	5.00	0.45	5.00	0.45	0.014 NS	6.35		
28	10.00	0.64	9.25	0.61	0.046 NS	14.75	10.00	0.64	11.00	0.68	0.036 NS	11.09		
35	17.00	0.85	19.25	0.87	0.066 NS	15.30	13.00	0.73	18.50	0.88	0.036 NS	8.97		
42	30.25	1.16	26.75	1.09	0.081 NS	14.45	27.00	1.09	28.75	1.12	0.109 NS	19.76		
49	37.25	1.32	32.25	1.20	0.006 NS	10.40	43.75	1.45	48.75	1.34	0.040 NS	5.77		
56	43.25	1.43	44.25	1.45	0.044 NS	6.10	55.25	1.68	46.50	1.50	0.052 NS	6.53		

a= días después de la siembra

fue una ligera disminución en el porcentaje de plantas afectadas en la asociación. En investigaciones realizadas durante varios años en campos de agricultores de la provincia La Habana se manifestó un comportamiento análogo (Pérez, 1999; Mederos, 2002). Resultados diferentes han sido hallados por otros investigadores trabajando con la misma asociación o con otras especies (Pérez, 1998; Creacht, 1993)

Los enemigos naturales. La mayor abundancia de depredadores generalistas se presentó en las parcelas cultivadas con maíz en monocultivo y en asocio con frijol, éstos fueron *Zelus longipes* (L.), *Cycloneda limbifer* Casey (figura 3.11, 3.12, 3.13), *Coleomegilla cubensis* Casey, moscas sírfidas



Figura 3.11 Larva de *Cycloneda limbifer* Casey



Figura 3.12 Pupa de *C. limbifer*

y crisópidos (tabla 3.14), de esta última familia, el género más abundante fue *Chrysopa*, se llegó a encontrar como máximo 12 huevos de crisopas por planta de maíz.

Se ha demostrado que las chinches del género *Zelus* resultan muy efectivas en la regulación de las poblaciones de *S. frugiperda* cuando su población es elevada, el aumento puede lograrse mediante liberaciones. La liberación a dosis de 489 individuos/ha en campos de maíz provocó una reducción en el índice de infestación de la plaga desde 80% hasta 10 % (Villavicencio y Lorenzo, 2000).

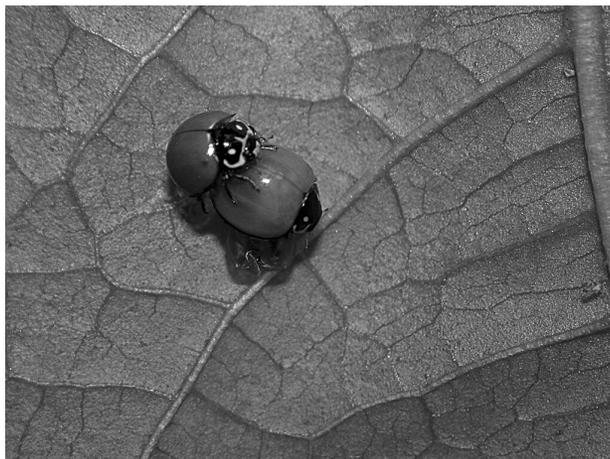


Figura 3.13 adultos de *C. limbifer*

Tabla 3. 14 Enemigos naturales encontrados en los dos sistemas de cultivos

Grupo	Orden	Superfamilia/familia	Género	Especie
Depredadores	Coleoptera	Coccinellidae	<i>Coleomegilla</i>	<i>C. cubensis</i>
			<i>Cycloneda</i>	<i>C. limbifer</i>
			<i>Chilocorus</i>	<i>Chilocorus</i> spp.
	Hemiptera	Reduviidae	<i>Zelus</i>	<i>Z. longipes</i>
		Anthocoridae	<i>Orius</i>	<i>O. insidiosus</i>
	Neuroptera	Chrysopidae	<i>Chrysopa</i>	<i>Chrysopa</i> spp.
	Thysanoptera	Aeolothripidae	<i>Frankliniopsis</i>	<i>F. vespiformis</i>
	Diptera	Syrphidae	<i>Bacha</i>	<i>B. clavata</i>
			<i>Allograpta</i>	<i>Allograpta</i> spp.
			<i>Archytas</i>	<i>Archytas</i> spp.
Dermaptera	Forficulidae			
	Proctotrupoidea	<i>Telenomus</i>	<i>Telenomus</i> spp.	
Parasitoides	Scellionidae			
	Hymenoptera	Braconidae	<i>Rogas</i>	<i>Rogas</i> spp.
Entomopatógenos	Entomophthorales		<i>Zoophthora</i>	<i>Z. radicans</i>

El patógeno sobre *E. kraemeri* se presentó a los 49 días después de la siembra, cercano al pico poblacional y alcanzó niveles epizoóticos en un plazo de 10 días aproximadamente, a los 56 días se produjo una mortalidad del 92 % en ninfas y adultos en la asociación, esta fue ligeramente inferior en el monocultivo (87,7%). Las condiciones de humedad prevalentes en la primera decena de marzo fueron óptimas para el desarrollo de éste, el día 9 de marzo cayeron 102 mm de lluvia. El agente causal fue identificado como *Zoophthora radicans* Brefeld (Humber) (= *Erynia radicans*) (Zygomycetes: Entomophthorales). *Z. radicans* es uno de los patógenos que con mayor frecuencia se encuentra ocasionando epizootias naturales sobre *E. kraemeri* en frijol (Galaini-Wraight, 1991; Leite, 1991; Leite *et al.*, 1996 a, b; Wraight, 2003). En 1995 se notificó por primera vez en Cuba la presencia de un hongo del género *Entomophthora* sobre *E. kraemeri* (Murguido, 1995).

La presencia de la mayor parte de estos enemigos naturales asociados al cultivo del maíz y del frijol ha sido observada por otros investigadores en Cuba (Vázquez, *et al.*, 1999; Murguido, 2000; Suris *et al.*, 2000; Rojas, 2000; Lee, 2001; Mederos 2002).

Índice Equivalente de la Tierra. En la tabla 3.15 se presenta el comportamiento del rendimiento y del IET. En el frijol se observa que no existieron diferencias significativas entre el monocultivo y la asociación. Resultados similares fueron obtenidos por Pérez (1999), Lee (2001) y Mederos (2002). El comportamiento del rendimiento del maíz fue diferente. Como se aprecia en la tabla 3.15 existieron diferencias significativas entre el monocultivo con un valor de 7.05 t/ha y en la asociación donde el rendimiento disminuyó hasta 4.52 t/ha. El IET alcanzó el valor de 1.61 lo cual confirma la factibilidad de utilizar la asociación, esto significa que para obtener la misma cantidad de alimento en monocultivo es necesario sembrar al menos en una superficie 1.6 veces mayor. Estos resultados son semejantes a los obtenidos por Pérez (1998), Pérez (1999), Mederos y Pozo (2002) y Mederos (2002).

Tabla 3.15 Índice Equivalente de la Tierra (IET) (media de los dos años)

Tratamientos	Rendimientos t/ha			
	Frijol	Maíz	Total	IET
Frijol monocultivo	0.77	-	0.77	-
Maíz monocultivo	-	7.05 a	7.05	-
F + M	0.75	4.52 b	5.27	1.61
ESX	0.014 ns	0.38***	-	-
CV	4.295	14.97	-	-

Medias con letras desiguales difieren significativamente según Dócima de Rango Múltiple de Duncan para $P \leq 0.001$ (Duncan, 1955).

BIBLIOGRAFÍA

- Almaguel, Lérida. 2000. Combate integral contra ácaros fitófagos. Boletín Fitosanitario 6 (2): 80-114.
- Altieri, M. 1997. Agroecología: Bases Científicas para una Agricultura Sostenible. CLADES- ACAO. La Habana, Cuba: 249 p.
- Altieri, M.A. 1992. Biodiversidad, Agroecología y Manejo de Plagas. Ediciones CETAL, Valparaíso, Chile: 162 p.
- Altieri, M.A.; Clara I. Nicholls. 1998. Enfoques indígenas y modernos del MIP en América Latina. LEISA 13 (4): 6-7.
- Altieri, M.; K. Letourneau. 1982. Vegetation management and biological control in agroecosystem. Crop Protection 1: 405-430.

- Andow, D.A. 1991. Vegetational diversity and arthropod population response. *Ann. Rev. Entom.* 36: 561-586.
- Andrews, D.J.; A.H. Kassam. 1976. The importance of multiple cropping in increasing world food supplies. p. 1-10. *In: R.I. Papendick et al.* (eds.), Multiple cropping. Amer. Soc. Agron. Special Publication, New York, U.S.A.
- Anonymous. 1986. National Survey: Conservation Tillage Practices. Conservation Tillage Information Center, Lafayette, Indiana, U.S.A.: 136 p.
- Anonymous. 1991. Zero-Tillage. Production Manual. Manitoba North Dakota Zero Tillage Farmers Associations, Dakota, U.S.A.: 42 p.
- Antilla, L.; M. Whitlow; R.T. Staten; O. El Lissy; F. Myers. 1996. An integrated approach to areawide pink bollworm management in Arizona. p. 1083-1085. *In: Proceedings Beltwide Cotton Conferences*, Nashville, TN, U.S.A., 9-12 January 1996.
- Arias, R.; L. Hilje. 1993. Uso del frijol como cultivo trampa y de un aceite agrícola para la incidencia de virosis transmitida por *Bemisia tabaci* (Gennadius) en el tomate. *Manejo Integrado de Plagas* 27: 27-34.
- Avilla, C.; J. L. Collar; M. Duque; P. Hernaiz; B. Martín; A. Fereres. 1996. Cultivos barrera como método de control de virus no persistentes en pimiento. *Boletín de Sanidad Vegetal. Plagas* 22 (2): 301-307.
- Bailey, K.L. 1997. IPM Practices for Reducing Fungicide Use in Field Crops. p. 293-316. *In: D. Pimentel* (ed.), *Techniques for Reducing Pesticide Use*. Jhon Wiley & Sons Ltd, New York, U.S.A.
- Bailey, K.L.; L.J. Duczek. 1996. Managing cereal diseases under reduced tillage. Annual meeting of the Canadian Phytopathological Society, Edmonton, Alberta, Canada, 30 Jul.- 3 Aug., 1994. *Canadian Journal of Plant Pathology* 18 (2): 159-167.
- Blua, M.J.; N.C. Toscano. 1994. *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae) development and honeydew production as a function of cotton nitrogen status. *Environmental Entomology* 23 (2): 316-321.
- Borah, R.K.; S. Langthasa. 1995. Incidence of thrip (*Scirtothrips dorsalis* Hood) in relation to date of planting on chilli in the Hill Zone of Assam. *PKV Research Journal* 19 (1): 92-96.
- Bortoli de, S.A.; J.R. Marconato; L.A. Daniel. 1994. Effects of tillage methods on populations of some arthropods in soybean cultivation. *Cientifica Jaboticabal* 22 (1): 9-14.
- Braga da Silva, M.T. 1996. Influence of crop rotation on *Sternechus subsignatus* (Boheman) (Coleoptera: Curculionidae) infestation and

- damage under no-tillage. *Ciencia Rural* 26 (1): 1-5.
- Braga da Silva, M.T.; A.D. Grutzmacher; J. Ruedell; D. Link; E.C. Costa. 1994. Influence of soil and crop management systems on subterranean insects. *Ciencia Rural* 24 (2): 247-251.
- Bullock, D.G. 1992. Crop Rotation. *Critical Review in Plants Sciences* 11 (4): 309-326.
- Buntin, G.D.; W.L. Hargrove; D.V. McCracken. 1995. Populations of foliage-inhabiting arthropods on soybean with reduced tillage and herbicide use. *Agronomy Journal* 87 (5):789-794.
- Byrne, D.N.; R.J. Rathman; T.V. Orum; J.C. Palumbo. 1996. Localized migration and dispersal by the sweet potato whitefly, *Bemisia tabaci*. *Oecologia* 105: 320-328.
- CAB. 2000. Crop Protection Compendium. Global Module. CPC Global 2. London, CD.
- Casanova, A.; A. Hernández; P.L. Quintero. 2001. Policultivos. p. 225-234. *En: F. Funes et al. (eds.), Transformando el campo cubano: Avances de Agricultura Sostenible*. ACTAF-CEAS-Food First, La Habana, Cuba.
- Chaboussou, F. 1987. Plantas doentes pelo uso de agrotóxicos (A teoria da Trofobiose). Ed. L. y PM. Porto Alegre, Brasil: 256 p.
- Charleston D.S.; R. Kfir. 2000. The possibility of using Indian mustard *Brassica juncea* as trap crop for the diamondback moth, *Plutella xylostella* in South Africa. *Crop Protection* 19 :455-460.
- Chaudhary, R.R.P.; R.B. Sachan. 1995. Influence of sowing dates and use of insecticide on the infestation of gram pod borer in chickpea in western plain zone of Uttar Pradesh. *Bhartiya Krishi Anusandhan Patrika* 10 (3): 143-150.
- Coll, M.; G. Botrell. 1995. Predator-prey association in mono and dicultures: effect of maize and bean vegetation. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 54 (1-2): 115-125.
- Conway, K.E. 1996. An overview of the influence of sustainable agricultural systems on plant diseases. *Crop Protection* 15 (3): 223-228.
- Cook, R.J.; R.J. Veseth. 1991. *Wheat Health Management*. APS Press, Minnesota, U.S.A.: 152 p.
- Creach, R.I. 1993. Rotación e intercalamiento de cultivos económicos de ciclo corto en la Caña de Azúcar (*Saccharum* spp.). Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. Ministerio de Educación Superior. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. San José, La Habana, Cuba: 112 p.

- CTIC. 1995. Conservation Impact. Conservation Technology Information Center 13: 1-6.
- Cuba. 2002. Lista Oficial de Plaguicidas Autorizados. Registro Central de Plaguicidas. Ministerio de Agricultura, La Habana, Cuba: 382 p.
- D'Addabbo, T. 1995. The nematicidal effect of soil amendments: a review of the literature. *Nematologia Mediterranea* 23 (Suppl.): 121-127.
- Das, B. B. 1996. Effect of date of sowing and seasonal variations on the incidence of yellow mite (*Hemitarsonemus latus* Bank) infesting different varieties of jute. *Journal of Entomological Research* 20 (3): 229-232.
- Dawood, M.Z.; M.F. Haydar. 1996. Onion planting dates and chemical control measures in relation to *Thrips tabaci* Lind., infestation levels and the onion yield. *Annals of Agricultural Science* 34 (1): 365-372.
- Dent, D. 1993. Insect Pest Management. CAB International, Wallingford, UK: 604 p.
- Dosdall, L.M.; M.J. Herbut; N.T. Cowle; T.M. Micklich. 1996. The effect of seeding date and plant density on infestations of root maggots, *Delia* spp. (*Diptera: Anthomyiidae*), in canola. *Canadian Journal of Plant Science* 76 (1): 169-177.
- Dosdall, P.M.; M.G. Dolinsky; N.T. Cowle; P.M. Conway. 1999. The effect of tillage regime, row spacing, and seeding rate on feeding damage by flea beetles, *Phyllotreta* spp. (Coleoptera: Chrysomelidae) in canola in Central Alberta, Canada. *Crop Protection* 18: 217-224.
- Dueñas, Marta C.; Ana Rodríguez; Carmen Martín. 1998. Manejo Integrado en maíz. p. 39. *Err. Resúmenes de Ponencias Forum Tecnológico sobre Manejo Integrado de Plagas*. Matanzas, Cuba, 12-13 de septiembre de 1998.
- Duncan, D. B. 1955. Multiple Range and Multiple F Tests. *Biometrics* 11: 1-42.
- Edwards, C.A.; M.F. Huelsman; E.N. Yardim; W.D. Shuster. 1996. Cultural inputs into integrated crop management and minimizing losses of processing tomatoes to pests in the U.S. p. 597-602. *In: Proceedings Brighton Crop Protection Conference: Pests & Diseases*, Brighton, UK, 18-21 November 1996.
- Feeny, P.P. 1976. Plant apparency and chemical defenses. p. 1-40. *In: J. Wallace; R. Mansel (eds.), Biochemical Interactions Between Plants and Insects*. Rec. Adv. Phytochem. 10.
- Fernández, E. 2000. Manejo integrado de nematodos. *Boletín Fitosanitario* 6(2): 4-29.
- Fernández, E.; Hortensia Gandarilla; E. Vinent. 1990. Manejo integrado

- de las plagas del tabaco en plantaciones. Informe de Resultado. Programa de Tabaco. Ministerio de la Agricultura, La Habana, Cuba: 18 p.
- Fernández, E.; M. Pérez; Hortensia Gandarilla; R. Vázquez; Marina Fernández; Marta Paneque; Oneida Acosta; Mercedes Basterrechea. 1998. Guía para disminuir infestaciones de *Meloidogyne* spp. mediante el empleo de cultivos no susceptibles. Boletín Técnico (3): 1-18.
- Ferreira, E.; J. Kluthcouski; P.M. da Silveira; A.B. dos Santos. 1996. Effects of cultural practices and insecticides on upland rice insect pests. Anais da Sociedade Entomologica do Brasil 25 (1): 131-135.
- Galaini-Wraight, S.; S. P. Wraight; R. I. Carruthers; B. P. Magalhães; D. W. Roberts. 1991. Description of a *Zoophthora radicans* (Zygomycetes: Entomophthoraceae) epizootic in a population of *Empoasca kraemeri* (Homoptera: Cicadellidae) on beans in Central Brazil. J. Invertebr. Pathol. 58: 311-326.
- Glebov, A.I. 1995. Enhancing efficacy of wheat protection from cereal sawflies. Zashchita Rastenii Moskva 11: 30-35.
- Grafius, E. 1997. Economic impact of insecticide resistance in the Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) on the Michigan potato industry. Journal of Economic Entomology 90 (5): 1144-1151.
- Gray, M.E.; E. Levine; K.L. Steffey. 1996. Western corn rootworms and crop rotation: have we selected a new strain?. p. 653-660. *In*: Proceedings Brighton Crop Protection Conference: Pests & Diseases, Brighton, UK, 18-21 November 1996.
- Hall, R.; L.C.B. Nasser. 1996. Practice and precept in cultural management of bean diseases. Canadian Journal of Plant Pathology 18 (2): 176-185.
- Hammond, R.B. 1996. Conservation tillage and slugs in the U.S. corn belt. p. 31-38. *In*: BCPC Symposium Proceedings No 66: Slug and snail pests in agriculture. University of Kent, Canterbury, UK, 24-26 September 1996.
- Hammond, R.B.; J.A. Smith; T. Beck. 1996. Timing of molluscicide applications for reliable control in no-tillage field crops. Journal of Economic Entomology 89 (4): 1028-1032.
- Hammond, R.B.; T. Beck; J.A. Smith; R. Amos; J. Barker; R. Moore; H. Siegrist; D. States; B. Ward. 1999. Slugs in Conservation Tillage Corn and Soybeans in the Eastern Corn Belt. J. Entomol. Sci. 34 (4): 467-468.
- Hernández, A. *et al.*, 1995. Nueva versión de la clasificación genética de los suelos de Cuba. Instituto de Suelos. Ministerio de la Agricultura. La Habana: 175 p.

- Hilje, L. 1993. Un esquema conceptual para el manejo integrado de la mosca blanca (*Bemisia tabaci*) en el cultivo del tomate. *Manejo Integrado de Plagas* 29: 51-57.
- Hokkanen, H. M. 1991. Trap cropping in pest management. *Annual Review Entomology* 36: 119-138.
- Howard, R.J. 1996. Cultural control of plant diseases: a historical perspective. *Canadian Journal of Plant Pathology* 18 (2): 145-150.
- Huber, M. 1997. Manejo de la nutrición para el combate de patógenos de las plantas. *Agronomía Costarricense* 21 (1): 99-102.
- Humber, R. 1997. Fungi: Identification. p. 153-185. *In*: L.A. Lacey (ed.), *Manual of Techniques in Insect Pathology*, Academic Press, San Diego, USA.
- Hunt, D.W.A. 1998. Reduced tillage practices for managing the Colorado potato beetle in processing tomato production. *HortScience* 33 (2): 279-282.
- Jauset, A.M.; M.J. Sarasúa; J. Avilla; R. Albajes. 1998. The impact of nitrogen fertilization on feeding site selection and oviposition by *Trialeurodes vaporariorum*. *Entomology Experimental Applied* 86:175-182.
- Jauset, A.M.; M.J. Sarasúa; J. Avilla; R. Albajes. 2000. Effect of nitrogen fertilization level applied to tomato. *Crop Protection* 19: 255-261.
- Jeyakumar, P.; S. Uthamasamy. 1996. Ecological barrier for *Liriomyza trifolii* (Burgess). *Insect Environment* 2 (2): 55-56.
- Jiménez, J. 1995. Lucha biológica contra *Heliothis virescens* (Fabr.) (Lepidoptera: Noctuidae) con biopreparados de *Bacillus thuringiensis* Berliner en Cuba. Tesis en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. Ministerio de Educación Superior. La Habana, Cuba: 95 p.
- Jordan, V.W.L.; J.A. Hutcheon. 1996. Multifunctional crop rotation: the contributions and interactions for integrated crop protection and nutrient management in sustainable cropping systems. *Aspects of Applied Biology* 47: 301-308.
- Kagungi, J.; E. Adipala; M.W. Ogenga-Latigo; S. Kyamanywa; N. Oyobo. 2000. Pest Management in cowpea. Part 1. Influence of planting time and plant density on cowpea field pests' infestation in eastern Uganda. *Crop Protection* 19: 231-236.
- Katan, J. 1987. Soil solarization. p. 77-105. *In*: I. Chet (ed.), *Innovative approaches to plant disease control*. Wiley & Sons, New York, U.S.A.
- Katan, J. 1996. Cultural practices and soil-borne disease management. p. 100-122. *In*: R. Utkhede; V.K. Gupta (eds.), *Management of soil-bor-*

- ne diseases. Kalyami Publishers, New Delhi, India.
- Katan, J. 1999. The methyl bromide issue: problems and potential solutions. *Journal of Plant Pathology* 81 (3): 153-159.
- Kawai, A. 1990. Control of *Trips palmi* Karny in Japan. *JARQ* 24: 43-48.
- Keller, S. 1994. Working with arthropod-pathogenic. *Entomophthorales*. *In: H. Smits (ed.), Microbial control of pest, 4th European Meeting*. IOBC wprs Bulletin 17 (3): 287-307.
- Lampkin, N. 1990. Rotation Design for Organic Systems. p. 125-160. *In: Organic farming*. Farming Press Book, London, UK.
- Lee, B. 2001. Evaluación de algunos factores bióticos y abióticos en agroecosistemas de cultivos asociados de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y maíz (*Zea mays*). Tesis en opción al título de Master en Agroecología y Agricultura Sostenible. Universidad Agraria de La Habana, La Habana, Cuba: 67 p.
- Leite, L.G. 1991. Efeito de alguns fatores que afetam a epizootia de *Zoophthora radicans* e utilização do fungo para o controle de *Empoasca* spp. Dissertação de Mestrado, ESALQ/USP, Piracicaba: 118 p.
- Leite, L.G.; S.B. Alves; S.P. Wraight; S. Galaini-Wraight; D. W. Roberts. 1996a. Habilidade de infecção de isolados de *Zoophthora radicans* sobre *Empoasca kraemeri*. *Sci. Agric.* 53 (1): 29-34.
- Leite, L.G.; S.B. Alves; S.P. Wraight; S. Galaini-Wraight; D. W. Roberts. 1996b. Processos de germinação de isolados do fungo *Zoophthora radicans* sobre *Empoasca kraemeri*. *Sci. Agric.* 53 (1): 35-40.
- Letourneau, D.K.; L.E. Drinkwater; C. Shennan. 1996. Effects of soil management on crop nitrogen and insect damage in organic vs. conventional tomato fields. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 57 (2-3): 179-187.
- Ma, KyoungChul; S.C. Lee. 1996. Occurrence of major rice insect pests at different transplanting times and fertilizer levels in paddy field. *Korean Journal of Applied Entomology*. 35 (2): 132-136.
- MacRae, R.J.; G.R. Mehuys. 1985. The effect of green manuring on the physical properties of temperate area soils. *Advances Soil Sciences* 3: 71-75.
- McLaughlin, A.; P. Mineau. 1995. The impact of agricultural practices on biodiversity. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 55 (3): 201-212.
- McQuilken, M.P. 1995. Promoting natural biological control of soil-borne plant pathogens. p. 59-66. *In: Proceedings Integrated crop protection: towards sustainability?*, Edinburgh, Scotland, 11-14 September 1995.

- Mederos, D. 2002. Evaluación de organismos asociados e indicadores productivos en el sistema frijol-maíz con diferentes manejos de enmalezamiento. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. Universidad Agraria de La Habana, La Habana, Cuba: 98 p.
- Mederos, D.; E. del Pozo. 2002. Comportamiento de la asociación frijol-maíz y los organismos que concurren a ella. p. 235-253. *En*: L. Gome-ro; Milagros Tazza (eds.), Innovación de Tecnologías Ecológicas para el Agro en América Latina. Resultados del Primer Concurso Latinoamericano. Red de acción en Plaguicidas y sus Alternativas para América Latina. Lima, Perú.
- Minckenberg, O.P.; M.J. Fredix. 1989. Preference and performance of an herbivorous fly, *Liriomyza trifolii* (Diptera: Agromyzidae), on tomato plants differing in leaf nitrogen. *Annals Entomological Society American* 82 :350-354.
- Mojena, M. 1998. Arreglos espaciales y cultivos asociados en yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Modificaciones en algunas variables del agroecosistema y su influencia en los rendimientos totales. Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias. Universidad Agraria de La Habana, San José, La Habana, Cuba: 96 p.
- Mueller, D.H.; T.C. Daniel; R.C. Wendt. 1981. Conservation tillage: best management practice for nonpoint runoff. *Environmental Manage* 5: 33-53.
- Muiño, Berta Lina; Loreta Larrinaga. 1998. Efecto de los plaguicidas sobre *Verticillium lecanii*. *Fitosanidad* 2 (1-2): 33-35.
- Murguido, C. A. 2000. Manual sobre manejo integrado de plagas, enfermedades y malezas en frijol. Proyecto PROFRIJOL. MINAG. CIDI-NISAV. La Habana. 42 p.
- Murguido, C.; L. L. Vázquez; Olimpia Gómez. 2001. Informe sobre el alcance del programa de manejo integrado de la mosca blanca y los geminivirus en tomate y frijol en Cuba. p. 179-183. *En*: Resúmenes del X Taller Iberoamericano y del Caribe sobre Moscas Blancas y Geminivirus. Matanzas, Cuba, junio del 2002.
- Murguido, C.A.; L. Vázquez; Ana I. Elizondo; M. Neyra; Yissel Velázquez; Elsy Pupo; Sonia Reyes; I. Rodríguez; Cecilia Toledo. 2002. Manejo integrado de plagas de insectos en el cultivo del frijol. *Fitosanidad* 2 (1-2): 33-35.
- Murguido, C; L. Vázquez; Ana I. Elizondo. 2000. *Thrips palmi* Karny en Cuba. Sistemas de control. *Boletín Fitosanitario* 6 (2): 57-68.

- Murguido, Carlos A. 1995. Biología, ecología y lucha contra el salta hojas *Empoasca kraemeri* Ross y Moore (Homoptera: Cicadellidae) en el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Tesis presentada en opción al título de Doctor en Ciencias Agrícolas. Ministerio de Educación Superior. La Habana, Cuba:100 p.
- Murray, D.; M. Miles; J. Boddington. 2000. Area-Wide Management of *Heliiothis* Results of Current Studies. p. 38: *In*: Proceeding 10th Australian Cotton Conference, Australia, 16-18 August 2000.
- Mwaja, V.N.; J.B. Masiunas; C.E. Eastman. 1996. Rye (*Secale cereale* L.) and hairy vetch (*Vicia villosa* Roth.) intercrop management in fresh-market vegetables. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 121 (3): 586-59.
- Nelson, S. J.; S. Natarajan. 1994. Influence of barrier crops on pests of chili under semi-dry condition. *South Indian Horticulture* 42 (6): 390-392.
- Nyczepir, A.P.; P.F. Bertrand; B.M. Cunfer. 1996. Suitability of a wheat-sorghum, double-crop rotation to manage *Criconebella xenoplax* in peach production. *Plant Disease* 80 (6): 629-632.
- Palti, J. 1981. Cultural practices and infections crop diseases. Springer-Verlag, Berlín, Germany: 243 p.
- Pantoja, A.; Irma Cabrera. 2001. Informe de Puerto Rico. p. 177-179. *En*: Resúmenes del X Taller Iberoamericano y del Caribe sobre Moscas Blancas y Geminivirus. Matanzas, Cuba, junio de 2002.
- Patriquin, G.; D. Baines; A. Abboud; H.F. Cook; H.C. Lee. 1995. Soil fertility effects on pests and diseases. Soil management in sustainable agriculture. p. 161-174. *In*: Proceedings Third International Conference on Sustainable Agriculture, Wye College, University of London, London, UK, 31 August to 4 September 1993.
- Pérez, L. A. 1998. Regulación biótica de fitófagos en sistemas integrados de agricultura-ganadería. Tesis en opción al título de Master en Agroecología y Agricultura Sostenible. Universidad Agraria de La Habana, San José, La Habana, Cuba: 87 p.
- Pérez, Nilda. 1999. Manejo de plagas en fincas agroecológicas. Informe de Resultado. Proyecto SANE-PNUD-INT/93-201. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, San José; La Habana, Cuba: 12 p.
- Pérez, Nilda; L. L. Vázquez. 2001. Manejo Ecológico de Plagas. p. 191-224. *En*: F. Funes *et al.* (eds.), Transformando el campo cubano: Avances de Agricultura Sostenible. ACTAF-CEAS-Food First, La Habana, Cuba.

- Phelan, P.L.; J.F. Mason; B.R. Stinner. 1995. Soil-fertility management and host preference by European corn borer, *Ostrinia nubilalis* on *Zea mays* L.: a comparison of organic and conventional chemical farming. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 56 (1): 1-8.
- Pimentel, D. 1993. Control Cultural for Insect Pest Management. p. 35-38. *In: S. A. Corey et al. (eds.). Pest Control & Sustainable Agriculture*; CSIRO, Melbourne, Australia.
- Ploper, L.D. 1995. Plant diseases in conservation systems. *Avance Agroindustrial* 15 (60): 21-24.
- Rhoades, D.F.; R. G. Cates. 1976. Toward a general theory of plant anti-herbivore chemistry. *Recent Advances in Phytochemistry* 10: 1325-1340.
- Rojas, J. A. 2000. *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) en maíz; enemigos naturales, empleo de ellos en la lucha contra esta plaga dentro de una agricultura de bajos insumos. Resumen de tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. Ministerio de Educación Superior. La Habana, Cuba: 32 p.
- Root, R. B. 1975. Some consequences of ecosystem texture. p. 210-235. *In: S.A. Levin (ed.), Ecosystem: Analysis and Prediction*. Ind. Appl. Math., Philadelphia, U.S.A.
- Root, R.B. 1973. Organization of a plant-arthropod association in simple and diverse habitats: the fauna of collards (*Brassica oleracea*). *Ecological Monographs* 43: 95-124.
- Ros, L.E. 1998. Estudio etnoecológico de policultivos en comunidades del municipio "El Salvador", Provincia de Guantánamo. Tesis en opción al título de Master en Agroecología y Agricultura Sostenible. Universidad Agraria de La Habana, La Habana, Cuba: 75 p.
- Rosenthal, Erika. 2002. Free Trade and Pesticides in Central America. *Global Pesticide Campaigner* 12 (3): 9-11.
- Rosset, P.; J. Vandermeer; M. Cano; P.G. Varela; A. Snook; C. Hellpap. 1986. El frijol como cultivo trampa para el combate de *Spodoptera sunia* Guenée (Lepidoptera: Noctuidae) en plántulas de tomate. *Agro-nomía Costarricense* 9: 99-102.
- Ruberson, J.R.; W.J. Lewis; D.J. Waters; O. Stapel; P.B. Haney. 1995. Dynamics of insect populations in a reduced-tillage, crimson clover/cotton system. Part 1: pests and beneficials on plants. p. 814-817. *In: Proceedings Beltwide Cotton Conferences*, San Antonio, Texas, U.S.A, 4-7 January 1995.
- Salguero, V. 1993. Perspectivas para el manejo del complejo mosca

- blanca-virosis. p. 20-26. *En*: CATIE (ed.), Las moscas blancas (Homoptera: Aleyrodidae) en América Central y el Caribe. Serie Técnica. Informe Técnico 205. San José, Costa Rica.
- Schaafsma, A.W.; F. Meloche; R.E. Pitblado. 1996. Effect of mowing corn stalks and tillage on overwintering mortality of European corn borer (Lepidoptera: Pyralidae) in field corn. *Journal of Economic Entomology* 89 (6): 1587-1592.
- Schafer, K.S. 2002. From the Dirty Dozen to POPs. *Global Pesticide Campaigner* 12 (1): 12-16.
- Scholz, B.C.G.; A.J. Cleary; R.J. Lloyd; D.A.H. Murray. 2000. An evaluation of lablab as a summer trap crop for *Heliothis*, and nursery crop for beneficial arthropods, in dryland cotton. p. 39. *In*: Proceeding 10th Australian Cotton Conference, Australia, 16-18 August 2000.
- Shi, Y.S. 1995. Controlling *Heliothis armigera* with agricultural measures. *Bulletin of Agricultural Science and Technology* 10: 33-36.
- Singla, M.L.; M.S. Duhra; Z.S. Dhaliwal. 1995. Effect of variable row spacing on the incidence of stalk borer, *Chilo auricilius* Dudgeon, in sugarcane. *Indian Journal of Ecology* 22 (1): 61-62.
- Slosser, J.E. 1996. Cultural control of the boll weevil-a four season approach. p. 800-803. *In*: Proceedings Beltwide Cotton Conferences, Nashville, TN, USA, 9-12 January 1996.
- Smith, A.; R. McSorley. 2000. Potential of field corn as a barrier crop and eggplant as a trap for management *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae) on common bean in North Florida. *Florida Entomologist* 83 (2): 145-150.
- Stapleton J.J. 2000. Soil solarization in various agricultural production systems. *Crop Protection* 19: 837-841.
- Stapleton, J.J. 1997. Solarization: An implementable alternative for soil disinfestations. p. 1-6. *In*: C. Canaday (ed.), Biological and cultural test for control of plant diseases, vol 12. APS Press, St. Paul, Minnesota, U.S.A.
- Sturny, W.G. 1998. Zero tillage - an element of a different cultivation system. *Agrarforschung* 5 (5): 233-236.
- Sumner, D.R.; E.D. Threadgill; D.A. Smittle; S.C. Phatak; A.W. Johnson. 1986. Conservation tillage and vegetable diseases. *Plant Disease* 70: 906-911.
- Surís, Moraima; L. Plana; M. E. Martínez; M. López; Felicia Piedra; S. Jiménez; Zoila Trujillo; J. Cortinas; M.L. Chiang; M. González. 2000. Ecología de *Thrips palmi* Karny (Thysanoptera: Thripidae). Informe

- final del Proyecto Diagnóstico, biología, daños y métodos de lucha contra *Thrips palmi* en las condiciones de Cuba. Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria, La Habana, Cuba: 40 p.
- Talekar, N.S.; A.M. Shelton. 1993. Biology, ecology and management of the diamondback moth. *Annual Review Entomology* 38: 275-301.
- Tebrugge, F.; U. Gross; M. Borin; M. Sattin. 1994. Interrelation of tillage intensity and the environment. p. 842-843. *In: Proceedings of the Third Congress of the European Society for Agronomy*, Padova University, Albano Padova, Italy, 18-22 September 1994.
- Thurston, H.D. 1992. Sustainable practices for plant disease management in traditional farming systems. Westview Press, Boulder, U.S.A.
- Vandermeer, J. 1992. The Ecology of Intercropping. Cambridge University Press, New York: 238 p.
- Vázquez, L.L.; E. Rodríguez; E. Blanco; P. de la Torre; Esperanza Rijo. 1999. Ocurrencia de enemigos naturales de *Thrips palmi* Karny (Thysanoptera: Thripidae) en cultivos agrícolas. *Fitosanidad* 3 (3): 113-114.
- Verkerk, R.H.J.; D.J. Wright. 1996. Multitrophic interaction and management of the diamondback moth: a review. *Bulletin Entomological Research* 86: 205-216.
- Villavicencio, Eusebia; Mayelín Lorenzo. 2000. Análisis preliminar de la efectividad de *Zelus longipes* "chinche asesina" (Hemiptera: Reduviidae) en el control de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) en las gramíneas. p. 24. *En: Resúmenes Forum Tecnológico sobre Manejo Integrado de Plagas*. La Habana, Cuba. 27-28 de mayo del 2000.
- Viraktamath, S.; B.S. Reddy; M. G. Patil. 1994. Effect of date of planting on the extent of damage by the diamondback moth, *Plutella xylostella* on cabbage. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences* 7 (2): 238-239.
- Willink, E.; A. Fornis; V.M. Osoreo. 1994. Pests in conservation production systems: generalizations and their effects on maize crop. *Avance Agroindustrial* 14 (56): 25-28.
- Wright, S.P.; S. Galaini-Wright; R.I. Carruthers; D.W. Roberts. 2003. *Zoophthora radicans* (Zygomycetes: Entomophthorales) conidia production from naturally infected *Empoasca kraemeri* and dry-formulated mycelium under laboratory and field conditions. *Biological Control* 28 (1): 60-77.
- Wright, R. J. 1984. Evaluation of crop rotation for control of colorado potato beetles (Coleoptera: Chrysomelidae) in commercial potato fields on long Island. *Journal of Economic Entomology* 77: 1254-1259.

Manejo ecológico de plagas

Zadoks, J.C. 1993. Crop Protection: why and how. p. 48-60. *In:* D. J. Chadwick; J. Marsh (eds.), Crop Protection and Sustainable Agriculture. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, England.

Capítulo IV

CONTROL BIOLÓGICO: ESTRATEGIAS PARA SU IMPLEMENTACIÓN

INTRODUCCIÓN

El papel que juega el control biológico en el manejo de plagas en la agricultura sostenible y en los sistemas agrícolas orgánicos es indiscutible. Dada la situación que se presenta con el control químico se hace necesario desarrollar métodos de manejo de plagas compatibles con el ambiente, uno de éstos es el control biológico. Durante los últimos 25 años, el interés en esta técnica se incrementó grandemente a causa de los serios problemas de contaminación ambiental y daños a la salud humana que provoca el uso intensivo de los plaguicidas sintéticos (Carson, 1980; Murray, 1994; Rozas, 1995; Colborn *et al.*, 1997; Nivia, 2003). En este capítulo se discuten los diferentes conceptos de control biológico, se exponen las estrategias para su implementación y se hace énfasis en la conservación de los enemigos naturales por ser la táctica que más valor tiene para la agricultura sostenible. Se describen momentos importantes de la historia del control biológico en Cuba y se presenta un estudio de caso como hecho que corrobora que la conservación y aumento de los enemigos naturales es la piedra angular del manejo ecológico de plagas.

CONCEPTO DE CONTROL BIOLÓGICO

El concepto de control biológico, tal como se conoce hoy, fue definido por primera vez por Harry S. Smith en 1919 como “*el uso de los enemigos naturales, ya sea introducidos a una zona nueva o manipulados con el objetivo de controlar las plagas*” (Huffaker, 1971). En la definición se pone énfasis en la posibilidad de la manipulación de los enemigos naturales por parte del hombre.

Desde entonces el concepto ha sido muy discutido y aún hoy los científicos y académicos no se han puesto de acuerdo para ofrecer una definición única. Al revisar la literatura científica comprobamos que la definición del concepto está en función del campo de la ciencia de la cual proviene. Los entomólogos, especialistas en malezas y fitopatólogos, explican de formas diversas lo que significa el control biológico, de modo que un mismo término puede llegar a tener más de un significado, como ocurre, por ejemplo con el concepto de hiperparásito que se utiliza en fitopatología y entomología para explicar fenómenos muy diferentes, aunque, claro está que el control biológico de los patógenos vegetales tiene diferencias sustanciales con el de otros grupos de organismos.

DeBach (1964) lo definió como “*la acción de parásitos, depredadores y patógenos en el mantenimiento de la densidad poblacional de otro organismo a niveles más bajos que los que podrían ocurrir en su ausencia*”. Él discutió la semántica del término control biológico y concluyó que puede referirse a un fenómeno natural, a un campo de estudio o a la aplicación de una técnica para el control de plagas que involucra la manipulación de los enemigos naturales (van den Bosch y Messenger, 1973).

Por su parte DeBach y Rosen (1991) lo definen como “*la regulación por medio de los enemigos naturales (parasitoides, depredadores y patógenos) de la densidad de población de otra especie a un promedio menor del que existiría en ausencia de ellos*”, nótese que en esta definición se considera al control biológico tal como existe en la naturaleza.

La Organización Internacional de Lucha Biológica (OILB) define el control biológico como “*la utilización de organismos vivos, o de sus productos, para evitar o reducir las pérdidas o daños causados por los organismos nocivos*”. Desde este punto de vista, se incluye no sólo el uso de parasitoides, depredadores y patógenos de insectos y ácaros, sino también el de fitófagos y patógenos de las malezas y antagonistas de los organismos fitopatógenos, así como el de feromonas, hormonas juveniles, técnicas autocidas y las manipulaciones genéticas. Esta definición mucho más amplia, que incluye feromonas, hormonas juveniles, técnicas autocidas y manipulaciones genéticas es objeto de debate entre los especialistas en control biológico. Estos últimos son métodos de control no químicos, pero no por eso deben ser considerados dentro del campo del control biológico.

La mejora de plantas, el control cultural y el uso de semioquímicos tienen una influencia directa sobre las plagas, pero no son controles biológicos (Van Driesche y Bellows, 1996). Aunque es indiscutible que son técnicas que pueden jugar un papel importante en el control biológico,

por ejemplo en la conservación y aumento de los enemigos naturales y actuar así, de una manera indirecta sobre las poblaciones de los organismos nocivos.

Los extractos químicos de las plantas o de los microorganismos usados para el control de plagas no son controles biológicos. La esencia del concepto está en que el control biológico es un proceso a nivel poblacional, en el cual la población de una especie baja el número de otra especie por mecanismos tales como la depredación, parasitismo, patogenicidad o competencia (Van Driesche y Bellows, 1996).

En este libro utilizaremos la definición enunciada por Van Driesche y Bellows (1996): “*El control biológico es el uso de parasitoides, depredadores, patógenos, antagonistas y poblaciones competidoras para suprimir una población de plagas, haciendo esta menos abundante y por tanto menos dañina que en ausencia de éstos*”. Como se aprecia en esta definición, que es bastante amplia, se incluyen todos los grupos de organismos con capacidad para el mantenimiento y regulación de la densidad poblacional de organismos plaga a un nivel más bajo del que existiría en su ausencia. Todos estos organismos son considerados como agentes de control biológico y están incluidos en la categoría de enemigo natural.

ANTECEDENTES HISTÓRICOS DEL USO DE ENTOMÓFAGOS

La idea de que los insectos podían ser utilizados intencionalmente para suprimir las poblaciones de otros insectos plaga surgió hace miles de años en China, fue una consecuencia de la observación directa, por parte de los agricultores, de la acción de hormigas depredadoras. Las colonias de hormigas (*Oecophylla smaragdina* F.) eran trasladadas hasta las plantaciones de naranjo para reducir el número de insectos que se alimentaban del follaje (McCook, 1882 y Clausen, 1956 citados por van den Bosch y Messenger, 1973). En la Arabia medieval también se trasladaban colonias de hormigas depredadoras desde las montañas donde presumiblemente, se encontraban sus reservorios naturales hasta los oasis donde crecía la palma datilera que era atacada por hormigas fitófagas. Esta práctica constituye el primer ejemplo conocido de traslado, por el hombre, de enemigos naturales para propósitos de control biológico (van den Bosch y Messenger, 1973).

Transcurrieron cientos de años para que los europeos pusieran en práctica lo que para los asiáticos era una actividad común. Uno de los primeros documentos que recomienda el uso de insectos depredadores para el

control de plagas fue escrito en 1752, por el naturalista sueco Carl von Linné (1707-1778), en éste se enfatizaba “*cada insecto tiene su depredador, el cual lo destruye. Dichos insectos depredadores deben ser capturados y utilizados para desinfectar las plantas de cultivo*”. Pero no fue hasta principios de 1800 que Erasmus Darwin (médico y naturalista inglés, abuelo de Charles Darwin) hizo sugerencias concretas de utilizar moscas sírfidas y coccinélidos para controlar áfidos en invernaderos (Van Driesche y Bellows, 1996).

El primer traslado internacional de un depredador, que recoge la historia del control biológico, fue el envío a Francia, en 1873 por el entomólogo norteamericano Charles Valentin Riley (1843-1898), del ácaro *Tyroglyphus phylloxerae* Riley para el control de la filoxera de la vid (*Daktulosphaira vitifoliae* [Fitch]), plaga nativa de Norte América que fue introducida accidentalmente en Europa, a principios de siglo (van den Bosch y Messenger, 1973), si bien el ácaro depredador logró establecerse, la introducción no tuvo éxito (Van Driesche y Bellows, 1996).

No fue hasta finales de 1880 que el primer proyecto de introducción de un depredador tuvo éxito. En 1868 se detectó por primera vez, en California, la escama algodonosa *Icerya purchasi* Maskell infestando cítricos y otras plantas, en 1886 esta plaga amenazaba con destruir la producción cítrica del sudeste de California. Al conocerse que *I. purchasi* era una plaga nativa de Australia y que allí no causaba daño, se decidió que el entomólogo norteamericano Albert Koebele viajara hasta allá e identificara y colectara los enemigos naturales más efectivos para proceder a su traslado a California. En 1888 se introdujeron dos insectos: un díptero parasitoide, *Crytochetum iceryae* (Williston) y el coccinélido depredador *Rodolia cardinalis* Mulsant, el éxito de la cotorrita australiana fue tal que en poco tiempo la escama algodonosa dejó de ser un problema (Caltagirone y Douth, 1989). Pero la importancia del hecho fue más allá del control de esta plaga en particular, pues quedó demostrado que los insectos depredadores podían ser manipulados y resolver serios problemas de plagas a la vez que se obtenían grandes beneficios económicos. En este ejemplo se exhibieron todas las características de los rasgos básicos del método de control biológico. Para más detalle se recomienda la lectura de van den Bosch y Messenger (1973) y DeBach y Rossen (1991).

El descubrimiento, interpretación y explicación del parasitismo fue un proceso que transcurrió más lentamente, razón obvia pues la acción de parasitismo no es un hecho tan visible como la depredación. A continuación se enumeran los hechos que contribuyeron al conocimiento de los

parasitoides y su mecanismo de acción tal como se describen en DeBach y Rossen (1991) y Van Driesche y Bellows (1996):

- La primera observación de un parasitoide emergiendo de una larva de lepidóptero fue realizada por Aldobrandi en 1602, el cual interpretó erróneamente el hecho.
- La primera interpretación correcta del fenómeno de parasitación fue publicada en 1685, por el físico británico Martin Lister, en ésta se describe la emergencia de una avispa (Ichneumonidae) de una oruga.
- En 1700 Antoni van Leeuwenhoek describió e interpretó correctamente el parasitismo de los áfidos por avispas del género *Aphidius*.
- El siglo XIX se caracterizó por un desarrollo vertiginoso de las investigaciones científicas sobre taxonomía, biología y ecología de insectos parasitoides y depredadores en las que tuvieron una participación destacada: M. M. Spinola, J. W. Dalman, J. L. C. Gravenhorst, J. O. Westwood, Francis Walker, C. Rondani, A. Förster y J. T. C. Ratzeburg, entre otros.
- La primera sugerencia de importar parasitoides fue realizada por Asa Fisher, en 1855, quien propuso trasladar parasitoides desde Europa para el control de la plaga del trigo, *Sitodiplosis mosellana* (Géhin), pero la importación no tuvo lugar.
- La introducción de un parasitoide de un país a otro se produce por primera vez en 1883. *Cotesia glomerata* (Linnaeus) (= *Apanteles glomeratus* Linnaeus) fue introducido desde Inglaterra hasta Estados Unidos.

ORÍGENES DEL CONTROL BIOLÓGICO EN CUBA

Detección de *Lixophaga diatraeae* (Townsend), 1914. Cuando se pretende abordar la evolución histórica del control biológico en Cuba es obligado comenzar por el cultivo de caña de azúcar y su plaga principal, *Diatraea saccharalis* F., este insecto es un perforador del tallo conocido comúnmente como bórer. Muchos aspectos históricos del desarrollo agrícola cubano están indisolublemente ligados a la caña de azúcar.

A principios de siglo pasado se produjeron pérdidas importantes a causa del ataque del bórer que afectaron notablemente las exportaciones. Fue en esos años que un grupo de entomólogos norteamericanos se reunieron en Cuba para estudiar la plaga. En 1914 Wolcott observó por primera

vez un parasitoide del bórer con una amplia dispersión, pues fue encontrado en cañaverales de las provincias de La Habana, Matanzas, Santa Clara y Oriente. El parasitoide fue identificado como una mosca taquinida y clasificado como *Lixophaga diatraeae* Townsend. Wolcott realizó colectas en las provincias visitadas y envió pupas a Puerto Rico (Fernández, 2002).

Este suceso despertó el interés de los productores de caña de azúcar en Estados Unidos (Florida y Louisiana), México y Las Antillas, y a partir de 1914 se inicia la exportación de pupas del parasitoide (colectadas en los campos) hacia varios países. En 1915 viajó a Cuba el entomólogo Loftin, procedente de Estados Unidos, enviado por el Departamento de Agricultura con la misión de coleccionar y enviar pupas de *L. diatraeae* para introducir las en Louisiana. Con el mismo fin llegaron al país Holloway (1918) y Barber (1919-1920), estos enviaron 6 650 pupas a la Sugar Experiment Station de Louisiana. La introducción a México se produce en el período de 1920 a 1929, época de gran expansión de la industria azucarera (Badii *et al.*, 2000). Durante 1926 y 1927, Plank y Myers, coleccionaron y enviaron pupas de la mosca cubana a Barbados y Antigua. En los años 20 todos los esfuerzos se concentraron en coleccionar pupas en los campos de caña y enviarlas a otros países.

No es hasta la década del 30 que Luis Scaramuzza, inició investigaciones con la mosca cubana conducentes al estudio de su biología, reproducción y liberación (Fernández, 2002). Esa década marcó el punto de partida del desarrollo del control biológico aplicado en Cuba. En Octubre de 1945 se inauguró el primer laboratorio de control biológico en el batey del Central “Mercedes” (hoy “Seis de Agosto”). En 1948 Scaramuzza expresó «*podemos afirmar que por medio del control biológico hemos logrado dominar el bórer o perforador de la caña para el desenvolvimiento normal de la industria*». Las metodologías desarrolladas por Scaramuzza sirvieron de punto de partida para el establecimiento de los procesos mecanizados actuales, los cuales permitieron aumentar la eficacia y humanizar el trabajo de producción de la mosca cubana (Castellanos, 1995).

Introducción de *Rodolia cardinalis* Mulsant, 1928. La primera importación a Cuba de un enemigo natural data de 1928. En junio de 1926 se detecta en Cuba la presencia de la guagua acanalada de los cítricos *I. purchasi*, al igual que ocurrió en otros países de la región, la diseminación dentro del país se produjo de forma muy rápida y con una efectividad muy escasa de las medidas de control que en aquel entonces era factible aplicar.

Teniendo en cuenta las experiencias de California y la Florida, los entomólogos S. C. Bruner y Oscar Arango de la Estación Agronómica de Santiago de las Vegas recomendaron la introducción de la cotorrita roja

de Australia o vedalia (nombre común mas generalizado), *R. cardinalis*. El 28 de Junio de 1928 llegó el primer envío, procedente del State Plant Board de La Florida, los insectos se reprodujeron en la Estación Agronómica de Santiago de las Vegas y las primeras liberaciones se realizaron en plantaciones del municipio San Antonio de los Baños, la introducción fue exitosa ya que el insecto logró establecerse y realizó un control efectivo. Desde entonces la guagua acanalada se mantiene bajo control, se pueden observar brotes esporádicos en cítricos, rosales y casuarinas, pero pasado un tiempo desaparece bajo la acción de *R. cardinalis* (Faz, 1987). La importancia histórica y económica de este suceso es muy marcada pues se trata de la primera introducción. Además fue uno de los casos de mayor éxito en la región (Vázquez y Castellanos, 1997).

Introducción de *Eretmocerus serius*, 1930. El primer reporte de la presencia en Cuba de la mosca prieta de los cítricos, *Aleurocanthus woglumi* Ashby, data de 1916. Entre 1916 y 1928 se invirtieron centenares de miles de pesos para el control de esta plaga, sin lograr resultados apreciables (Santos, 2002). Al comprobar que con la aplicación de insecticidas no se producía un control eficiente, el Dr. S. C. Bruner recomendó la introducción de parasitoides. El 21 de abril de 1930 llegó procedente de Singapur, Península de Malaca (Sureste de Asia), el primer embarque de moscas parasitadas sobre plántulas y hojas de mango. Se introdujeron dos parasitoides: *Eretmocerus serius* Silvestri (avispita amarilla de la India) y *Prospaltella divergens* Silvestri (Santos, 2002).

El personal científico de la Estación Experimental Agronómica de Santiago de las Vegas fue el responsable de su reproducción y liberación. De estos dos parasitoides, *E. serius* resultó ser el más efectivo, al año de su liberación en las plantaciones cítricas las poblaciones de la plaga descendieron a niveles tales que dejaron de ser un problema. El parasitoide se estableció de forma permanente, de modo que *A. woglumi* no alcanzó más la categoría de plaga, se le denomina "insecto reliquia" (Faz, 1987). Hoy en día sobrevive, pero en poblaciones tan bajas que su daño es insignificante.

MÉTODOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL BIOLÓGICO

Control biológico por conservación de enemigos naturales

La conservación o preservación es una estrategia de control biológico fundamental para la agricultura sostenible y el corazón de los programas de

manejo ecológico de plagas. Las investigaciones de control biológico necesitan poner énfasis en las estrategias de conservación, pues lamentablemente en los últimos años la tendencia mundial es investigar sobre nuevos agentes de control biológico que puedan ser formulados como un producto comercial, almacenados, vendidos y aplicados de manera similar a un plaguicida químico (Pérez y Vázquez, 2001).

La «sustitución de insumos agroquímicos por otras alternativas de baja energía y de carácter biológico» es una de las fases del proceso de conversión de la agricultura convencional a la agricultura sostenible (Altieri, 1994). Lo cierto es que en este proceso los productos biológicos tienen un determinado valor, pero una vez superado ese momento el manejo ha de estar basado en la regulación natural, en la cual, como se ha visto, los enemigos naturales juegan un rol significativo

La conservación es válida para la regulación de plagas nativas, en especial, si se estimulan los mismos enemigos naturales que regulan a los herbívoros en su ambiente original. La actividad humana puede tener una gran influencia sobre el potencial de los enemigos naturales para controlar las plagas y la conservación es el estudio y aplicación de tales influencias (Van Driesche y Bellows, 1996). Consiste en la eliminación de medidas que destruyen a los enemigos naturales a la vez que se estimula el uso de las que favorecen su presencia; lo que significa la manipulación del hábitat a favor de la efectividad de los organismos benéficos en la supresión de las plagas, para cuidar del balance ecológico (Gautam, 1996).

El énfasis de la estrategia por conservación está en el manejo del agroecosistema y tiene como finalidad proveer un ambiente favorable para la actividad, sobrevivencia y reproducción de los enemigos naturales que habitan en una región determinada. Pero los beneficios no se limitan a las especies locales, el hecho de crear un ambiente más favorable a los enemigos naturales aumenta las posibilidades de establecimiento de especies introducidas y la eficiencia de aquellas que se reproducen en los laboratorios y liberan en los campos y esto es sumamente importante en los sistemas agrícolas en transición hacia la agricultura sostenible.

Para lograr el éxito es necesario conocer cuales son las prácticas de cultivo que tienen un efecto marcado sobre las poblaciones de los enemigos naturales y a partir de ese conocimiento diseñar estrategias de manejo que den prioridad a las que tengan un impacto positivo. Se tiene la apreciación de que los cambios en el manejo de los cultivos para lograr esto pueden resultar complejos y no es exactamente así, muchas veces es suficiente con eliminar las aplicaciones de plaguicidas

para comenzar a observar la recuperación de las poblaciones de enemigos naturales (Gómez *et al.*, 1997; Gómez y Grillo, 1999; Pérez y Gómez, 1999).

En un estudio realizado durante tres años en papa, en el que se evaluaron las poblaciones de enemigos naturales y la relación depredador-presa y el porcentaje de parasitoidismo en campos bajo MIP y bajo manejo convencional, se encontró un número más elevado de controles biológicos en las localidades bajo MIP que en las que recibieron solamente tratamientos químicos, aún cuando en éstas últimas las aplicaciones se realizaron bajo señal o aviso. El porcentaje de parasitoidismo de *Aphis gossypii* Glover por *Lysiphlebus testaceipes* (Cress.) en campos bajo MIP alcanzó valores entre 14.5 % y 25.92 %, mientras que en los campos bajo manejo convencional fue de 0 % a 7.43 % (Elizondo *et al.*, 2002).

Varias de las prácticas que se implementan para el manejo de los cultivos constituyen prácticas de control cultural de plagas que fueron discutidas en el capítulo 3 de este libro, muchas de éstas tienen un determinado efecto positivo sobre las poblaciones de los enemigos naturales. Las prácticas de cultivo con efecto sobre los enemigos naturales pueden ser agrupadas en cinco categorías: uso de plaguicidas; manejo del suelo, agua y residuos de cultivo; patrones de cultivo; manipulación de la vegetación dentro y en los alrededores de los campos de cultivo y provisión directa de alimento o refugios para los enemigos naturales o control de sus antagonistas (Van Driesche y Bellows, 1996).

El uso de plaguicidas se encuentra entre las prácticas más nocivas a los enemigos naturales (Croft, 1990), el efecto perjudicial abarca a todas las categorías de biorreguladores, aunque éste puede ser mayor o menor en dependencia de la clase de plaguicidas de que se trate y de la categoría del biorregulador.

Los insecticidas y acaricidas afectan a la mayoría de los depredadores y parasitoides (Pérez *et al.*, 1987; Croft, 1990; Gómez *et al.*, 1997), y aunque muchos de los estudios sobre conservación se han limitado a evaluar el impacto de esta clase, resulta importante no desestimar el posible impacto del resto. Un efecto directo y por tanto fácil de apreciar a simple vista es la mortalidad de entomófagos producida durante la aplicación, o por los residuos que quedan sobre las diferentes partes de las plantas tratadas y por el arrastre que se produce por el viento hacia zonas no tratadas.

Otros de los efectos producidos son: reducción de la longevidad, reducción de la fertilidad, repelencia, pérdida de hospedantes o presas y

hormoligosis¹ en la población plaga (Croft, 1990). En el capítulo 2 se analizaron algunos de esos efectos. La regulación en el uso de los plaguicidas ha de ser uno de los componentes principales en los programas de conservación.

Un caso notable de lo expuesto hasta aquí fue estudiado por Gómez *et al.* (1997). En los años 90 del siglo pasado en regiones cañeras de la provincia de Villa Clara aparecieron brotes intensos de defoliadores de la caña de azúcar del género *Leucania*. La respuesta inmediata de muchos productores fue la aplicación de insecticidas, pero en los agroecosistemas cañeros cubanos no es usual la aplicación de éstos. En dicha región se realizó un estudio durante 4 años para determinar el efecto de los insecticidas utilizados en el control de *Leucania* sobre algunas especies de moscas taquínidas parasitoides naturales de ésta. Los dos primeros años se utilizaron insecticidas y después fueron sustituidos por la lucha biológica. Se pudo determinar que en el caso de *Eucelatoria* sp. el parasitismo natural sobre *Leucania incospicua* (H. S.) y *L. cinereicollis* se mantuvo entre 14 % y 15 % mientras los productores aplicaron insecticidas químicos y aumentó a 33 % y 48 % en los dos años posteriores a la supresión de esas dañinas aplicaciones. Las aplicaciones de insecticidas químicos hicieron también daño a los taquínidos parásitos larvo-pupales de los defoliadores, manteniendo sus niveles de parasitismo entre un 5 % y 16 % y al prohibirse éstas el parasitismo aumentó rápidamente a 37 % y 48 % en los años siguientes.

La efectividad del control natural en los agroecosistemas cañeros es indiscutible. Gómez y Grillo (1999) determinaron en diferentes localidades en la Provincia de Villa Clara que 61 % de las larvas de *Leucania* spp. morían por causas naturales. Entre los organismos que en mayor porcentaje se encontraron estaban *Eucelatoria* sp. (Diptera: Tachinidae), parasitoide larval y los parasitoides larvo-pupales *Archytas marmoratus* Townsend, *Hyphantrophaga* sp. y *Belvosia* sp.

La selectividad de los plaguicidas y su impacto relativo sobre más de 600 especies de artrópodos benéficos, fundamentalmente depredadores y parasitoides, fue revisada en detalle por Croft y Theiling (Croft, 1990). Se hizo una clasificación en base a una escala de 1 a 5 (1=0 % de mortalidad, 2=< 10 % de mortalidad, 3= 10 a 30 % de mortalidad; 4= 30 a 90

¹ Se refiere al estímulo directo de la reproducción de los insectos y especialmente ácaros por la acción de determinados plaguicidas (Costa-Cornelles *et al.*, 1988).

% de mortalidad y $5 = > 90\%$ de mortalidad). Los plaguicidas fueron divididos en tres categorías generales: *selectivos*, plaguicidas con valores de toxicidad menor de 2.8; *moderadamente tóxicos*, plaguicidas con valores de toxicidad entre 2.8 y 3.5; y *dañinos*, plaguicidas con valores de toxicidad mayor que 3.5. En la tabla 4.1 se muestran algunos de los resultados de este análisis, del que se concluyó que en general, los parasitoides eran más sensibles a los plaguicidas que los depredadores y que los insectici-

Tabla 4.1 Impactos relativos de los plaguicidas sobre artrópodos benéficos según tipo de plaguicida (Modificado de Croft, 1990)

Tipo de plaguicida	Depredadores	Parasitoides	Todos los organismos benéficos
Insecticidas	3.61	3.74	3.65
Fungicidas	2.59	2.58	2.59
Herbicidas	2.83	3.10	2.95
Todos los plaguicidas	3.43	3.57	3.47

das eran el tipo de plaguicida más tóxico, seguidos por los herbicidas y fungicidas (Croft, 1990).

Los fungicidas generalmente no causan la muerte o daño directo a los entomófagos, pero si afectan a los entomopatógenos (Jacas y Viñuelas, 1993; Lagnaoui y Radcliffe, 1998; Alves, 1998; Muiño y Larrinaga, 1998). El uso de insecticidas y herbicidas también limita considerablemente la acción de los hongos entomopatógenos (Alves, 1998).

En la figura 4.1 aparecen relacionadas las prácticas de cultivo que tienen un efecto positivo sobre los enemigos naturales; aunque son muchos los ejemplos que se pueden citar, lamentablemente, la conservación es la estrategia de control biológico que menos atención recibe por parte de los técnicos y agricultores. En términos económicos, la mayor contribución del control biológico no está en los programas de introducción, producción masiva y liberación de enemigos naturales, sino en la actividad natural de éstos. Pero, los beneficios económicos del control biológico no son tan fáciles de demostrar como los beneficios ecológicos.

Cuando se observan las diferentes prácticas que aparecen en la figura 4.1, se aprecia que todas de algún modo contribuyen al aumento de la diversidad trófica, este es el punto de partida, la base, para el diseño de un sistema de manejo de cultivos que contribuya a la conservación del

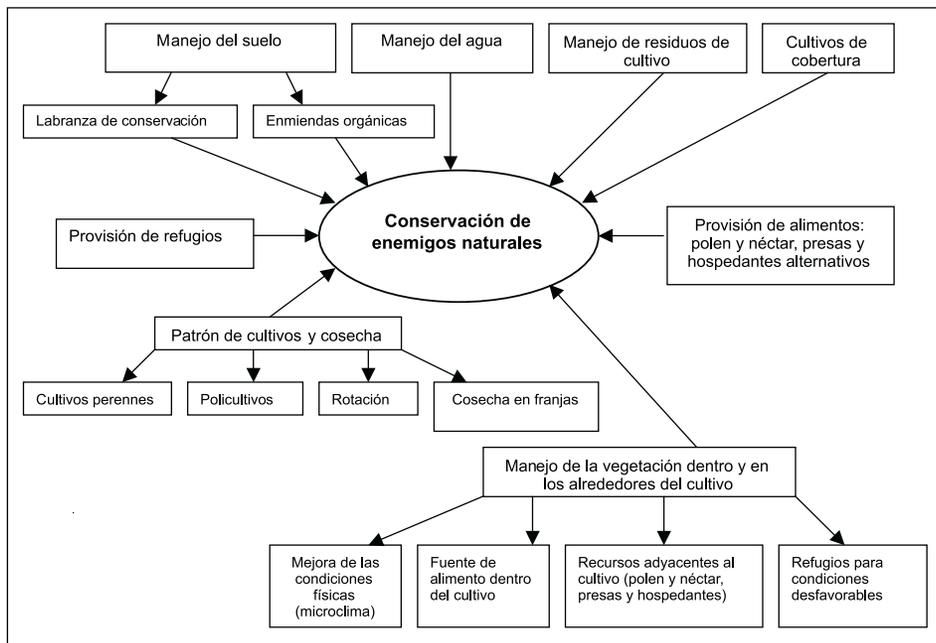


Figura 4.1 Prácticas de cultivo con efecto positivo sobre los enemigos naturales

conjunto de enemigos naturales (entomófagos, entomopatógenos y antagonistas).

El papel de la diversidad biológica en la regulación de los organismos plagas y en el aumento de las poblaciones de enemigos naturales es indiscutible. Un adecuado patrón de cultivos tendrá necesariamente que considerar el diseño y construcción de estructuras vegetales que posibiliten el aumento de las poblaciones de organismos biorreguladores. Éste ha de tener en cuenta la diversidad estructural, espacial, temporal y genética (para más detalles ver Altieri, 1997).

El papel de la vegetación no se circunscribe a las plantas de cultivo; una de las causas del fracaso en el control de plagas de la agricultura convencional es considerar como perjudicial la presencia, en los campos, de plantas diferentes a los cultivos establecidos, en esencia las denominadas malezas.

El manejo de la vegetación dentro y en los alrededores de los campos de cultivo es una práctica fundamental para la conservación: la presencia de malezas y las coberturas vivas dentro del cultivo, las cortinas rompevientos, las barreras vivas, los corredores biológicos, el cercado de

los campos con “postes vivos”, la presencia de plantas melíferas, la siembra de árboles frutales en los caminos y linderos de las fincas o intercalados en los propios campos de cultivo, los montes, el bosque y toda la vegetación cercana a los campos de cultivo brindan servicios ecológicos de un valor incalculable.

Entre esos servicios están: mejora de las condiciones físicas, que se manifiesta en la existencia de un microclima favorable a los biorreguladores, mayor humedad y regulación de la temperatura (estos dos factores son de gran importancia en los climas áridos y secos y en los climas tropicales donde el sol calienta al suelo con tanta intensidad) y regulación de la luz y de las corrientes de aire; la existencia de corredores biológicos facilita el movimiento de los enemigos naturales entre los campos de cultivos; y garantizan sitios de refugio en condiciones desfavorables y fuente de alimento como polen y néctar para los depredadores y parasitoides. Uno de los enemigos naturales más importantes en la regulación del tetuán del boniato, es la hormiga leona, *Pheidole megacephala* Fabricius, para la conservación y aumento de su población es recomendable la existencia de arboledas en los alrededores de los campos de cultivo, ya que ofrecen un sitio sombreado y húmedo donde pueden permanecer sus colonias en los meses más cálidos del verano.

LA CONSERVACIÓN COMO ESTRATEGIA DE CONTROL BIOLÓGICO EN CUBA

Un aspecto esencial para el desarrollo de las diferentes estrategias de manejo ecológico de plagas, y dentro de éstas el control biológico como nudo central, es la existencia de políticas estatales que contribuyan a su éxito. La ausencia de políticas gubernamentales de apoyo o las deficiencias de algunas de las existentes, así como el escaso desarrollo y extensión de tecnologías apropiadas, constituyen obstáculos que impiden la implementación de programas de manejo ecológico de plagas.

Cuba es uno de los mejores ejemplos de apoyo del Estado, a gran escala, al manejo ecológico de plagas, ésta es parte integral de la política agraria (Nicholls *et al.*, 2002). La política estatal tiene como soporte la implementación de un programa nacional para el desarrollo del control biológico, la creación de la Comisión Nacional de Manejo Integrado de Plagas y está refrendada por la Ley 81 de Medio Ambiente (Cuba, 1997), a la cual se hizo referencia en el capítulo 2. El caso cubano encierra una

enseñanza que podría servir de modelo a otros países de América Latina que tantos problemas enfrentan en el campo del control de plagas.

Dentro de esta política ¿cómo se garantiza la conservación de los enemigos naturales? Ya se vio como el uso de plaguicidas es una de las prácticas agrícolas más nocivas a la estrategia de conservación. En Cuba los plaguicidas para la agricultura y salud pública no se comercializan y está prohibida la propaganda pública. Los plaguicidas se distribuyen de manera centralizada por entidades estatales según normas técnicas elaboradas por instituciones especializadas, por lo que el control, las cantidades y las clases son objeto de escrutinio permanente por esas entidades y sus institutos de investigación, a los cuales se vinculan el resto de las instituciones científicas y académicas del país que tienen que ver con la salud pública, el medio ambiente y la agricultura, con la intención de disminuir los consumos, que además, resultan onerosos para la economía.

El objetivo, en esta etapa, es sustituir los plaguicidas en todo lo posible, por medios biológicos que sí producimos. Los incrementos en el consumo tienen que ser rigurosamente argumentados. En Cuba las disminuciones de insumos son consideradas como éxitos productivos, asociadas a la búsqueda de la eficiencia, unida a la salud y calidad ambiental, por lo que son estimuladas por el propio Estado y otras organizaciones. Los éxitos son convenientemente divulgados por los medios masivos de difusión.

A diferencia del control biológico clásico y por aumento, que generalmente se dirigen al control de individuos de una sola especie, la conservación de las especies de biorreguladores naturales es una estrategia más bien preventiva, que promueve la regulación del conjunto de poblaciones fitófagas o fitopatógenas presentes en el agroecosistema. Justamente esta es la estrategia que más posibilidades tiene en el manejo de plagas en la agricultura sostenible, por lo que se ha ido incorporando a los programas de manejo de plagas en la medida que las investigaciones han avanzado (Nicholls *et al.*, 2002).

En la actualidad de los 14 programas de MIP que están implementados en el país, en cuatro la estrategia de conservación es considerada clave, con un alto grado de utilización (Pérez y Vázquez, 2001). Los cultivos bajo MIP que dan prioridad a esta estrategia son: café, caña de azúcar, cítricos y yuca, y el cultivo de la col donde el grado de implementación es considerado de medio a alto. En estos cultivos el uso de plaguicidas es nulo, excepto en cítricos que se considera bajo y en col de bajo a nulo.

En los sistemas agroforestales cafetaleros se presentan características muy favorables para la conservación (Vázquez, 1999); éstas han sido apro-

vechadas para la introducción a escala nacional de un Programa Tecnológico Integrado de Protección Fitosanitaria del Cafeto en la Montaña. El programa tuvo su inicio en un conjunto de medidas que se implementaron, años atrás, para el manejo del minador de la hoja del cafeto *Perileucoptera coffeella* (Silvestri) = (*Leucoptera coffeella* Guérin-Méneville). Se estableció la regulación de la sombra y la poda del cafeto en función de su relación con la plaga y los enemigos naturales, se promovió la siembra de coberturas vivas a favor de éstos últimos y la eliminación de las aplicaciones de insecticidas foliares. El programa es en esencia conservacionista y permite una alta efectividad de un complejo de parasitoides de los géneros *Mirax*, *Cirrospilus* y *Zagrammosona*, entre otros (Vázquez, 1999).

Entre las especies utilizadas como coberturas vivas se encuentran el canutillo y la canavalia (Caro *et al.*, 1997). El establecimiento de coberturas vivas ha permitido la disminución en el uso de herbicidas como el gramoxone; dada su toxicidad aguda, la inexistencia de un antídoto y las preocupaciones sobre la salud y el medio ambiente éste se prohibió en seis países industrializados (Austria, Dinamarca, Finlandia, Hungría, Eslovenia y Suecia) y tiene uso restringido o prohibido en cuatro países en desarrollo (Indonesia, República de Corea, Togo y Kuwait) (Madeley, 2002).

Uno de los ejemplos más ilustrativos de conservación y manejo de enemigos naturales en Cuba lo constituye la hormiga leona, *P. megacephala*. El éxito alcanzado en el control de *Cylas formicarius* en el cultivo del boniato, demostró la factibilidad de utilizar y propagar hormigas depredadoras en cultivos anuales. Cuba se encuentra entre los países que han desarrollado procedimientos prácticos para el uso y propagación de hormigas generalistas en el control de insectos en cultivos anuales y semiperennes. La importancia de las hormigas es tal que al programa de MIP actual se ha incorporado una nueva especie, *Tetramorium bicarinatum* Nylander (Castellón *et al.*, 1997).

La conservación de enemigos naturales es una estrategia muy conveniente para enfrentar el problema de las plagas introducidas. Éstas tienen por lo general un comportamiento oportunista en la fase inicial de invasión en las nuevas localidades ocupadas, que puede extenderse durante algún tiempo en dependencia de varios factores, principalmente del programa de manejo y/o control que se realice.

Un análisis particular de los casos más recientes de plagas introducidas en Cuba muestra que efectivamente, estas especies se manifiestan inicialmente en altas poblaciones y diversidad de hospedantes, con elevadas tasas de reproducción; pero que esos atributos ecológicos tienden a

incrementarse cuando existe una alta presión de insecticidas sobre dichas poblaciones y la diversidad en los agroecosistemas es baja. En cambio, esta situación puede reducirse en intensidad y duración cuando se aplican programas de manejo que consideran la conservación de los enemigos naturales nativos, que son ricos y diversos en los agroecosistemas cubanos y que interactúan con las poblaciones de la especie introducida (Vázquez *et al.*, 2001).

Uno de los ejemplos más notables es el caso de *Thrips palmi* Karny (plaga introducida en 1996) por el número elevado de enemigos naturales asociados a sus poblaciones. Se han encontrado 24 especies de ácaros fitoseidos asociados a *T. palmi*. Una de esas especies es *Amblyseius largoensis* (Muma), la cual posee características que le permiten ser utilizada como agente de control biológico. Entre los insectos entomófagos, el más abundante es *Orius* spp. (Surís *et al.*, 2001). Para el control de *T. palmi* se estableció un programa de MIP que integra medidas conservacionistas y otros métodos de control, el insecto aún es importante, pero las afectaciones que produce disminuyeron (Vázquez, 2003b).

A mediados de 1996 también aparece por primera vez *Pseudacysta perseae* (Heidemann), a partir de ese momento se convirtió en la plaga principal del aguacate (Almaguel *et al.*, 1997). En un estudio realizado en la provincia de Villa Clara, para detectar agentes de control natural de *P. perseae* se encontró al hongo *Penicillium* sp. asociado a las puestas de este insecto, a los hongos entomopatógenos *Hirsutella* sp., y *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. parasitando adultos, un ácaro fitoseido depredando huevos, al insecto *Termtophylidea gisselleae* Grillo atacando ninfas y adultos y dos chinches depredadoras de la familia Miridae: *Paracarnus cubanus* Bruner y *Paracarnus myersi* China (Morales *et al.*, 2001a; Morales *et al.*, 2001b; Morales *et al.*, 2002).

CONTROL BIOLÓGICO CLÁSICO O POR INTRODUCCIÓN DE ENEMIGOS NATURALES

El control biológico clásico consiste en la importación de enemigos naturales para la regulación de una plaga en particular. Generalmente la plaga objeto de control es una especie “exótica”, “introducida”, o como se le ha dado en llamar últimamente “emergente”, se trata de organismos cuarentenados que al introducirse bajo condiciones favorables pueden alcanzar una densidad poblacional alta. Esta estrategia tuvo y tiene éxitos en el control de numerosas plagas en diferentes partes del mundo, el número de especies bajo control total o parcial asciende a más de 200

(van den Bosh y Messenger, 1973; Caltagirone, 1981; DeBach y Rosen, 1991; Greathead y Greathead, 1992).

Los programas de introducción de nuevas especies de enemigos naturales se planifican y ejecutan por etapas, de modo que la precedente deje sentadas las bases para el éxito de la siguiente. En numerosos libros y artículos aparecen descritos procedimientos generales para la introducción, la mayoría de éstos se refieren a la introducción de entomófagos y artrópodos fitófagos (van den Bosh y Messenger, 1973). En la figura 4.2 aparecen las etapas descritas por Van Driesche y Bellows (1996).

Lo más común es que los enemigos naturales se introduzcan después que la plaga a regular haya hecho su aparición. Pero puede darse el caso que ante el peligro inminente de introducción de una plaga muy agresiva los enemigos naturales de ésta sean introducidos antes de su llegada. Tal es el caso de la cochinilla rosada del hibisco, *Maconellicoccus hirsutus* (Green), la cual a partir de su introducción en Granada se ha diseminado rápidamente en la región del Caribe (Martínez *et al.*, 2001).

En previsión a la entrada de *M. hirsutus* al país se han establecido múltiples medidas, entre las que se encuentra la importación de enemigos naturales. En el año 2000 se mantuvieron en cuarentena en Trinidad y Tobago 350 adultos del coccinélido *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant, en junio de ese mismo año se introdujeron en Cuba 280 adultos (primera generación de laboratorio). *C. montrouzieri* llegó a Cuba por vía aérea y fue enviado al Departamento de Cuarentena del Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal, donde se reprodujo. Los adultos obtenidos bajo control cuarentenario (3 828) fueron trasladados al Departamento de Reproducción de Insectos para su cría, se elaboró una metodología para la reproducción masiva y se obtuvieron 4 500 que fueron distribuidos a los Laboratorios Provinciales de Sanidad Vegetal (Milán *et al.*, 2001).

La cría de *C. montrouzieri* se ha extendido a los 14 laboratorios provinciales de sanidad vegetal y se iniciaron las liberaciones en localidades donde habitan otros pseudocóccidos (Navarro *et al.*, 2001). *C. montrouzieri* se encuentra entre los depredadores que más se comercializa en Norte América (Hunter, 1994).

En el pasado existía la creencia generalizada de que el control biológico clásico se limitaba al control de especies exóticas, pero su uso no se restringe a la regulación de las plagas introducidas, ya que puede aplicarse para el control de plagas nativas o indígenas, son numerosos los casos donde este hecho ha quedado demostrado. Una de las primeras introducciones en Cuba de enemigos naturales exóticos con el propósito de controlar plagas endé-

Manejo ecológico de plagas

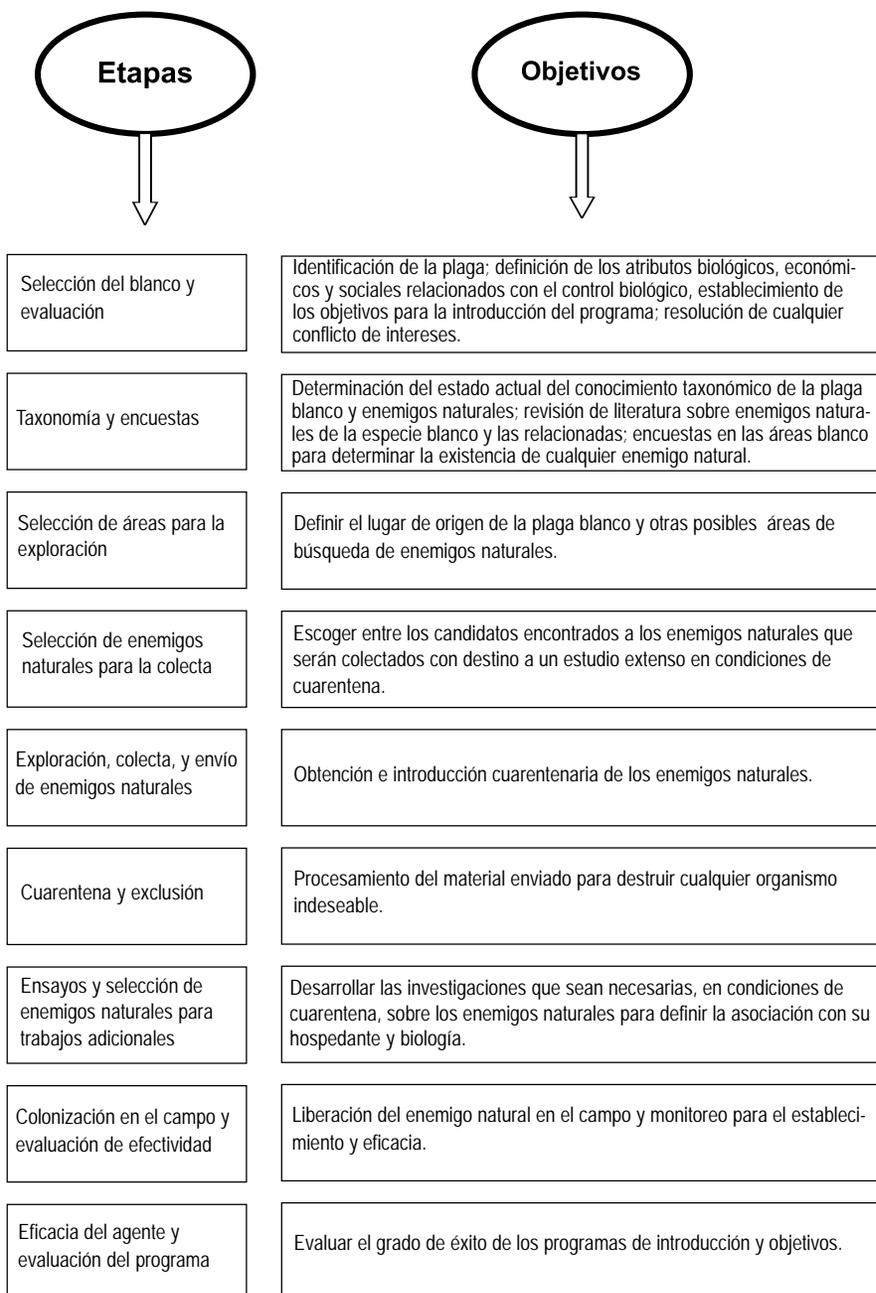


Figura 4.2. Etapas en la introducción de enemigos naturales

micas data de los años 30 del siglo XX , cuando Scaramuzza introdujo dos parasitoides para el control del bórer de la caña de azúcar. En 1934 y 1937 se trae a Cuba *Paratheresia claripalpis* Wulp, y en 1939 *Metagonistylum minense* Townsend, conocida como mosca amazónica, ambos parasitoides fueron introducidos de Brasil (Fernández, 2002). Con la misma finalidad se trajeron, hace varios años *Cotesia flavipes* Cameron desde Brasil y Venezuela (Rodríguez *et al.*, 2001).

CONTROL BIOLÓGICO POR AUMENTO

Consiste en la producción masiva y liberación de grandes cantidades de enemigos naturales. El control biológico por aumento es una solución en circunstancias donde la colonización permanente no es factible, o como en el caso de Cuba, cuando se pretende reducir el uso de plaguicidas. Precisamente a esta estrategia de control biológico es a la que se ha dado prioridad en la etapa actual por la que transita la agricultura cubana. El éxito mayor en el control biológico se ha alcanzado en la cría masiva y liberación de enemigos naturales y en el desarrollo, producción masiva y aplicación de patógenos de insectos.

Las liberaciones de enemigos naturales se realizan mediante dos estrategias: inoculativa e inundativa. Las liberaciones inoculativas son aquellas en las que un número pequeño de enemigos naturales se introducen en una fase temprana del ciclo de un cultivo a la espera de que se reproduzca para que la descendencia ejerza el control (Van Driesche y Belows, 1996). Con esta estrategia el control de los organismos nocivos se logra por la acción de la progenie y generaciones subsecuentes del entomófago y no por los que son liberados; tiene como finalidad restablecer un enemigo natural que por efecto de condiciones adversas desaparece en una época del año, pero es muy eficiente en otra. Las liberaciones masivas o inundativas son aquellas en las que el control debe realizarse, en lo fundamental, por los organismos liberados por lo que generalmente se requieren grandes cantidades.

La producción masiva y liberación de agentes de control biológico es un proceso que requiere de investigaciones básicas sobre el enemigo natural a reproducir, estas investigaciones abarcan la biología y ecología, pues sin el conocimiento detallado de éstas es muy difícil que un programa de control biológico alcance éxito.

La primera etapa en el proceso de producción masiva de cualquier agente de control biológico, trátase de entomófagos, entomopatógenos, antago-

nistas o herbívoros beneficiosos es su selección. La selección estará basada en el principio de que el enemigo natural controle la plaga bajo las condiciones en que se va a reproducir y liberar.

En la fase de producción un aspecto crítico es la calidad, hay que tener en cuenta aspectos genéticos, de nutrición y contaminación. Para garantizar una calidad óptima del producto final lo más conveniente es el establecimiento de normas de control de calidad que se apliquen rigurosamente durante el proceso de producción. Para aprovechar todo el potencial de los agentes de control biológico hay que conocer cómo, cuándo y dónde es necesario liberarlos, por esa razón la investigación acerca de los métodos de aplicación es fundamental.

La evaluación de la efectividad de los enemigos naturales liberados en condiciones de campo es otra de las condiciones a cumplir antes de su comercialización; la liberación de agentes de control biológico sin el cumplimiento de ese requisito puede conducir al fracaso, ya que son múltiples los factores que pueden afectar su efectividad en condiciones de producción.

Otro aspecto a considerar en las investigaciones para la posible reproducción y liberación de un agente de control biológico son los costos y beneficios. En general hay que considerar los costos de reproducción del agente; los costos de competencia con otros controles, en esencia el control químico; y el valor del cultivo y la habilidad de los enemigos naturales liberados para aumentar la rentabilidad de la cosecha (Van Driesche y Belows, 1996). Pero, los costos y beneficios no sólo han de valorarse en la dimensión económica, hay que adicionar una nueva dimensión a lo considerado hasta el presente, cuando se trate de costo-beneficio del control biológico han de tenerse en cuenta los posibles beneficios ecológicos y sociales.

El caso de la producción masiva de medios biológicos en Cuba es un ejemplo notable de la sostenibilidad de este proceso en un país del tercer mundo con recursos financieros muy escasos. La sustitución de plaguicidas por medios biológicos permite ahorrar potencialmente cada año miles de pesos en moneda libremente convertible que pueden ser destinados a satisfacer otras necesidades (Pérez y Vázquez, 2001).

Por último están las pruebas de seguridad biológica. La seguridad biológica se refiere al conjunto de medidas científico-organizativas, destinadas a la protección ante los riesgos que entraña el trabajo con agentes biológicos o la liberación al medio ambiente. Los agentes de control biológico que se liberen tienen que ser seguros para la salud humana, no

deben producir efectos no deseados sobre las plantas en general, tengan o no importancia económica, invertebrados u otras especies, ni sobre el ambiente.

Las consideraciones acerca de la intensificación del uso de agentes de control biológico en Cuba a partir de los 90 del siglo pasado, condujeron a la aprobación el 28 de Enero de 1999 del Decreto - Ley N° 190 de la Seguridad Biológica (Cuba, 1999). Hasta el presente la liberación de parasitoides, depredadores y herbívoros beneficiosos no representan riesgos para la salud humana, más bien han reportado beneficios notables por los plaguicidas que han sustituido. En el caso de algunos entomopatógenos, aunque no representan un riesgo apreciable, si hay que tener en cuenta que se ha dado el caso de reacciones alérgicas.

ESTUDIO DE CASO: CONTROL NATURAL DE *Brevicoryne brassicae* (Homoptera: Aphididae) SOBRE *Brassica oleracea* var. *capitata*

En los últimos años se produjeron profundas transformaciones en la Agricultura Cubana. En lo que al manejo de plagas se refiere, la característica más notable fue la drástica reducción en el uso de plaguicidas químicos y la puesta en práctica de medidas de regulación de plagas que tienen como piedra angular el control biológico. La conservación es una de las estrategias de control biológico a las que se ha dado prioridad.

La disminución en el uso de los plaguicidas y otros cambios efectuados en el manejo de los cultivos produjeron beneficios notables. El aumento gradual de la biodiversidad y la estimulación de los mecanismos naturales de regulación que esto provoca figuran entre los más importantes. Entre los mecanismos naturales de regulación estimulados se encuentran los enemigos naturales, de ahí la importancia que tiene que al evaluar los beneficios ecológicos del actual sistema de manejo de plagas establecido en Cuba se tenga en consideración la regulación natural de plagas. Los datos presentados constituyen parte de un estudio que se realizó en cooperativas de producción agropecuaria (CPA), en la provincia La Habana, que tuvo entre sus objetivos evaluar los cambios que se producen en la etapa de transición de un sistema agrícola convencional a un sistema agroecológico.

La col se encuentra entre las hortalizas que se cultivan en estas CPA; tiene un lugar destacado en las preferencias del cubano, representa el 10 % de la superficie anual de hortalizas y ocupa el segundo lugar en producción

en el país con un rendimiento aproximado de 15 t/ha (Pérez *et al.*, 1997) (figura 4. 3).

Entre los fitófagos asociados a esta crucífera se encuentran los áfidos. En Cuba el más común en las diferentes especies de *Brassica* que se cultivan es *Brevicoryne brassicae* (L.) (Homoptera:Aphididae) (Holman, 1974). Este es un insecto especialista que se alimenta exclusivamente de crucíferas, bajo condiciones favorables puede alcanzar elevadas poblaciones que ocasionan un daño irreversible al cultivo.

El pulgón de la col tiene muchos enemigos naturales, entre los más importantes se encuentran las cotorritas, las moscas sírfidas, enfermedades fungosas y parasitoides himenópteros. En numerosas publicaciones se documentan casos de supresión natural de poblaciones de áfidos por estos enemigos naturales (Tamaki *et al.*, 1981; Feng *et al.*, 1991, 1992; Woods, 1993; Boyd; 1994; Kish *et al.*, 1994; Lagnaoui y Radcliffe, 1998). La supresión puede ser mayor en hábitats protegidos donde los biorreguladores pueden sobrevivir e incrementar su nivel poblacional. En este estudio se presentan datos sobre la regulación natural de *B. brassicae* por hongos Entomophthorales y un parasitoide hymenoptero en campos de una finca donde desde finales de 1994 no se aplican plaguicidas químicos.

La investigación se desarrolló en la CPA “Jorge Dimitrov” del municipio San Antonio de los Baños, provincia La Habana durante las siembras de frío 1995-1996 y 1997-1998. En está CPA se ejecutó el proyecto Faros Agroecológicos del programa SANE del PNUD.

La finca bajo estudio tenía una superficie de 6.0 ha, dividida en cinco campos, el primer campo de una superficie de 1.2 ha fue plantado de col



Figura 4.3 Repollo de col, *Brassica oleracea* var. *capitata*, la más cultivada en Cuba

el 30 de octubre de 1995. Se introdujeron cambios en las prácticas de manejo del cultivo, no se aplicaron fertilizantes químicos inorgánicos, ni plaguicidas químicos sintéticos y la preparación de suelo fue realizada con tracción animal. Los cultivos precedentes fueron, maíz en asocio con canavalia, que en este caso se utilizó como abono verde y cobertura viva y estos últimos seguidos por cebollino, los cultivos colindantes fueron: plátano, maíz y pimiento. El 5 de noviembre de 1997 la col fue plantada en el campo 2, los cultivos precedentes fueron maíz y boniato y los colindantes zanahoria y pimiento.

En 1995 los muestreos se iniciaron el 6 de diciembre, momento en que se hizo evidente que la población de áfidos iba en aumento, se continuaron semanalmente hasta el 12 de enero de 1996. En 1997 las evaluaciones comenzaron el 14 de diciembre. Se utilizó el método de conteo en hojas, que consistió en coleccionar una hoja joven o envolvente de plantas infestadas siguiendo la diagonal del campo, se seleccionaron cinco puntos (10 x 10 m) y cinco plantas en cada uno, las hojas fueron colocadas en bolsas y transportadas hasta el laboratorio para examinar los áfidos. El número de áfidos vivos y muertos fue registrado separando los muertos por hongos (cadáveres) y los muertos por parasitoides (momias). El porcentaje de mortalidad causado por patógenos fungosos y parasitoides fue calculado por la expresión:

$$\text{Mortalidad (\%)} = \frac{\text{Número de cadáveres o momias}}{\text{Áfidos vivos} + \text{cadáveres} + \text{momias}} \times 100$$

Los áfidos muertos fueron colocados en cámara húmeda por 72 horas para estimular el crecimiento de los patógenos fungosos presentes. El diagnóstico fue realizado siguiendo las indicaciones que aparecen en Keller (1991), Keller (1993) y Humber (1997). Las momias fueron colocadas individualmente en viales hasta que los parasitoides emergieron y pudieron ser identificados siguiendo las indicaciones que aparecen en Cave (1995). Las precipitaciones, humedad relativa y temperatura local fueron registradas por la estación meteorológica de Güira de Melena.

En la figura 4.4 puede apreciarse que los niveles poblacionales alcanzados por *B. brassicae* en las primeras semanas después de la plantación fueron altos, con una media de 17.08 y 21.44 áfidos por hoja en el primer muestreo en la primera y tercera siembra, este incremento de la población cesó en la medida en que se hizo sentir el efecto del parasitismo y de los entomopatógenos.

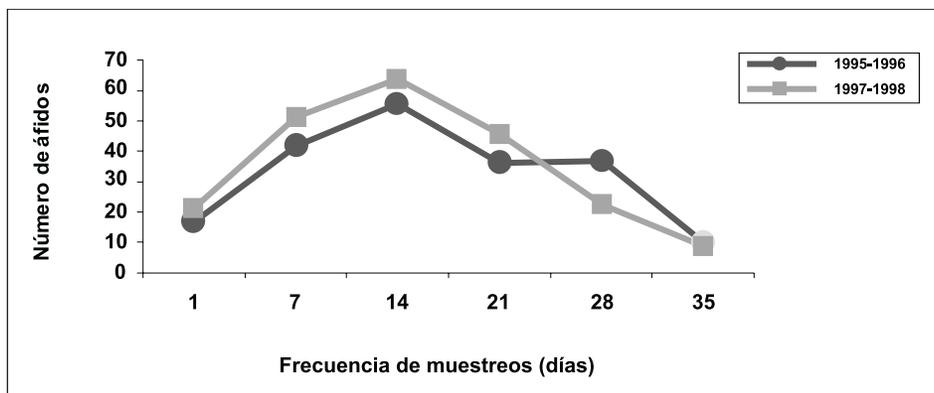


Figura 4.4 Densidad de *B. brassicae* sobre *B. oleracea* (media de 25 hojas)

B. brassicae fue parasitado por *Diaeretiella rapae* (M’Instosh) (Hymenoptera:Aphidiidae), este es el parasitoide más común de áfidos que se alimentan de crucíferas (Tamaki *et al.*, 1981; Horn, 1988), *B. brassicae* es su hospedante preferido (Hafez, 1961), aunque se considera un afidófago polífago (Feng *et al.*, 1991), pues en su ausencia o en bajas poblaciones se alimenta de otras especies de áfidos. Este endoparasitoide solitario es atraído por el isotiocianato de alilo, un aceite de mostaza presente en las hojas y semillas de las crucíferas que es liberado cuando los áfidos se alimentan (Tamaki *et al.*, 1981; Price, 1993).

Los áfidos parasitados se convirtieron en momias de color marrón que fueron reconocidas con facilidad semejantes a las que aparecen en la figura 4.5. Los porcentajes de mortalidad debido al parasitismo por *D. rapae* fueron altos (tabla 4.2), superiores al 38% en todos los momentos de evaluación, en la siembra de 1995-1996; en 1997-1998 el mayor valor alcanzado fue 52.1 % por lo que se considera que *D. rapae* fue clave en la regulación natural de *B. brassicae*.

Uno de los elementos a tener en cuenta cuando se evalúa la efectividad de los agentes de control biológico es el momento de reproducción sobre el hospedante (Hayakawa *et al.*, 1990). Los depredadores pueden alimentarse de todos los estadios vivos de la presa, muchos de los áfidos adultos son consumidos en la fase postproductiva, de la misma manera muchos patógenos de insectos no son selectivos con respecto al estado del hospedante que ellos infectan, por lo tanto una gran parte de los áfidos afectados por depredadores y patógenos pueden no verse afectados en su reproducción (Hagen y van den Bosch, 1968).

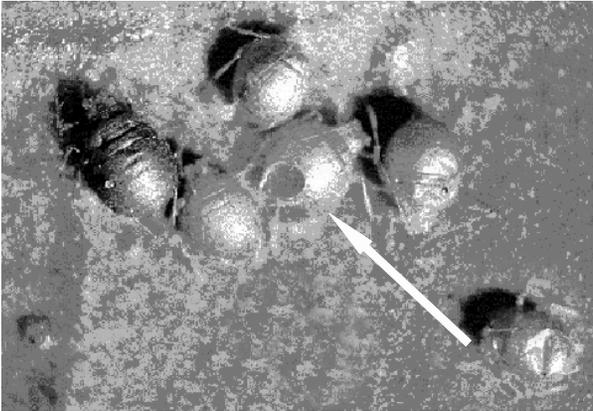


Figura 4.5 Momias de áfidos parasitados. a) abertura de salida del adulto

En contraste si un parasitoide ataca selectivamente, el primer o segundo instar, el áfido puede no madurar. Este es el caso con *D. rapae*, el que aunque puede parasitar todos los estadios (excepto el huevo) parasita preferentemente el segundo y tercer instar del áfido de la col (Hafez, 1961). Los parasitoides pueden afectar de una manera notable la fecundidad cuando se comparan con depredadores y patógenos (Hayakawa *et al.*, 1990).

Entre los factores que pueden haber contribuido a los elevados porcentajes de parasitismo en condiciones de producción están las elevadas poblaciones del hospedante y el mantenimiento durante varios días de una temperatura media cercana al óptimo (25°C) para el desarrollo del parasitoide (Hayakawa *et al.*, 1990).

Tabla 4.2 Mortalidad causada por *D. rapae* y por hongos Entomophthrales sobre *B. brassicae*

Frecuencia Muestreo	1995-1996			1997-1998		
	Total	Parasitoidismo (%)	Infectados (%)	Total	Parasitados (%)	Infectados (%)
1	427	-	-	536	12.5	-
7	1034	38.07	-	1295	15.6	-
14	1398	40.41	9.22	1588	48.9	10.25
21	901	43.28	26.19	1139	50.3	21.08
30	938	53.41	35.28	1183	52.1	25.33
37	249	40.56	22.48	225	49.6	18.30

Está además, el hecho de que en los últimos seis años se lleva a cabo en la CPA donde se realizó la evaluación una reducción gradual en el uso de los plaguicidas químicos sintéticos, circunstancia que está a tono con la tendencia general en el país (Pérez, 2003; Vázquez, 2003a), particularmente en la finca donde se cultivó la col, desde finales de 1994 solo se hacen aplicaciones de medios biológicos que se complementan con otras medidas de manejo ecológico (policultivos, rotación, coberturas vivas, nutrición orgánica, manejo de la vegetación en los alrededores de los campos y siembra de árboles frutales). Esta tendencia se intensificó en 1996, año en que se produjo en la CPA una reducción en el uso de plaguicidas del 43 % con respecto a 1995, el consumo bajó de 24.3 kg/ha a 13.85 kg/ha.

Si se tiene en cuenta que es su mayoría los enemigos naturales son más sensibles a los plaguicidas que los mismos fitófagos y que en el caso de *D. rapae* en un ensayo de laboratorio donde se probaron varios insecticidas se determinó que todos a las dosis recomendadas para su aplicación en el campo reducían la emergencia del parasitoide adulto del áfido momificado entre 55 % y 97 % y que la determinación del efecto de estos mismos insecticidas sobre las generaciones sucesivas arrojó una reducción en la fecundidad del 75 % en la generación f-1 (Abo-El-Char *et al.*, 1992) no será difícil comprender por qué la disminución en el uso de plaguicidas contribuyó al aumento del parasitismo.

En evaluaciones realizadas en campos de col bajo MIP en los años 1996-1997 y 1997-1998 en Villa Clara se encontró un control natural efectivo de áfidos por *D. rapae*. El MIP incluyó liberación de *Tetrastichus* spp. (parasitoide larvo-pupal) para el control de *Plutella xylostella* L. y de *Coleomegilla cubensis* Csy para el control de áfidos (Caballero *et al.*, 2000).

Los primeros cadáveres de áfidos con síntomas de una patología fungosa se observaron a mediados de diciembre en 1995, y finales de diciembre en 1997, esto coincidió con la fase de crecimiento exponencial (o cercano al pico de densidad poblacional) después de tres semanas de la infestación inicial del cultivo (figura 4.4). La mortalidad final de los áfidos debido a la micosis aunque no fue tan alta (tabla 4.2) tuvo una contribución notable en la disminución de la población pues los hongos no actuaban aisladamente sino que estaban en presencia de otro factor de control natural: el parasitoide *D. rapae*.

Los patógenos identificados como causantes de la micosis fueron *Pandora neoaphidis* (= *Erynia*) (Remaudiéri & Hennebert) Humber y *Entomophthora* spp. (Keller, 1991; Keller, 1993, Humber, 1997). Los hongos Entomophthorales están entre los patógenos más importantes de los áfidos y las especies más comunes se encuentran en los géneros:

Conidiobolus, *Entomophthora*, *Erynia*, *Neozygites* y *Zoophthora* (Latgé y Papierok, 1988).

En Cuba se han obtenido resultados muy importantes con el uso de hongos entomopatógenos pero las investigaciones se han concentrado en los Deuteromycetes (Pérez, 1996; Fernández-Larrea 2003; Pérez, 2003) y muy escasa atención se ha prestado a los Entomophthorales, a pesar de que es frecuente observar epizootias causadas por éstos en condiciones de producción, no existen casos documentados. Está por investigar el papel de la ocurrencia natural de enfermedades en los áfidos.

Entre los factores asociados a la micosis observada se encuentran la densidad del hospedante, las precipitaciones y la temperatura. La coincidencia en el tiempo de elevadas poblaciones de áfidos (tabla 4.2), lluvias frecuentes moderadas y temperaturas favorables contribuyó al incremento de la micosis. El desarrollo de la epizootia se hace más evidente a altas densidades del hospedante. Los patógenos generalmente actúan de una manera densodependiente, destruyendo más hospedantes en la medida en que la población se incrementa (Tanada y Kaya, 1993). Feng *et al.* (1991) han encontrado infecciones causadas por varios géneros de Entomophthorales correlacionadas positivamente con la densidad del hospedante.

El factor ambiental más importante en el curso de una epizootia en las poblaciones de áfidos es la humedad (Tanada y Kaya, 1993). Las frecuentes y moderadas lluvias caídas (80 mm en cinco ocasiones en un período de 16 días en la siembra de 1995-1996 y 102 mm en 1997-1998) hicieron posible que la humedad relativa se mantuviera a valores cercanos al 90% durante varios días. Para que una enfermedad alcance niveles epizooticos en una población de áfidos se requiere que la humedad relativa exceda el 90% durante 10 horas al día por tres días consecutivos (Missonniers *et al.*, 1970). De acuerdo con esto las condiciones climáticas satisficieron los requerimientos para el desarrollo de la micosis que se presentó.

La acción combinada de *D. rapae*, *P. neoaphidis* y *Entomophthora* sp., fue la causa de la disminución en la población de *B. brassicae* sin que llegará a producirse una afectación notable del rendimiento (tabla 4.3). En conclusión, el estímulo bajo condiciones ambientales favorables de los mecanismos naturales de control puso de manifiesto los beneficios ecológicos que puede ofrecer la estrategia de control biológico por conservación que se favorece con el actual sistema de manejo de plagas que se implementa en el país.

Tabla 4.3 Rendimiento de col en las dos siembras

Años	Rendimiento
1995-1996	22 t/ha
1997-1998	22.5 t/ha

BIBLIOGRAFÍA

- Abo-El-Char, C.E.S.; A. El-Chany; M. El-Sayed. 1992. Long term effects of insecticides on *Diaeretiella rapae* (M'Instosh), a parasite of the cabbage aphid. *Pesticides Science* 36(2):109-114.
- Altieri, M. A. 1994. Bases agroecológicas para una producción agrícola sustentable. *Agricultura Técnica* 54 (4): 371-386.
- Altieri, M.A. 1997. Agroecología. Bases científicas para una Agricultura Sustentable. CLADES-ACAO. La Habana, Cuba: 249 p.
- Almaguel, Lérida; E. Blanco; P. Suárez; P. de la Torre; T. Labrador; J. Bueno; J. Rodríguez (1997). Control de la chinche del aguacate *P. perseae*. p. 179. *En: Resúmenes del III Seminario Científico de Sanidad Vegetal*. La Habana, Cuba, 23-27 de junio de 1997.
- Alves, S. B. 1998 (ed). *Controle Microbiano de Insetos*. 2^{da} ed. FEALQ. Piracicaba, Brasil: 1163 p.
- Badii, M. H.; Tejada O. L.; Adriana Flores; Carlos E. López; E. Ruíz; H. Quiroz. 2000. Historia, Fundamentos e Importancia. p. 3-17. *En: M. H. Badii; Adriana Flores; Luis J. Galán (eds.), Fundamentos y Perspectivas del Control Biológico*. Universidad Autónoma de Nuevo León. Nuevo León, México.
- Boyd, M. L.; G. L. Lentz. 1994. Seasonal incidence of aphids and the aphid parasitoid *Diaeretiella rapae* (M'Intosh) (Hymenoptera: Aphidiidae) on rapeseed in Tennessee. *Environmental Entomology* 23 (2): 349-353.
- Caballero, Susana; A. Rivero; Danieyis Santos. 2000. Efectividad de parasitoides y predadores como medios de control complementario del MIP de la col. p. 23. *En: Forum Tecnológico sobre Manejo Integrado de Plagas*. La Habana, Cuba, 27-28 de mayo de 2000.
- Caltagirone, L. E. 1981. Landmark examples in classical biological control. *Annual Review of Entomology* 26: 213-232.

- Caltagirone, L.E.; R.L. Doutt. 1989. The history of vedalia beetle importation to California and impact on the development of biological control. *Annual Review of Entomology* 34: 1-16.
- Caro, P.; G. Grave de Peralta; Caridad Morán; Gricelia Huep; Miriam Muiño; Julia Izquierdo. 1997. Lucha contra malezas en *Coffea arabica* L. con la utilización de plantas de cobertura y otros métodos. p. 64. *En: Resúmenes III Seminario Científico Internacional de Sanidad Vegetal*. La Habana, Cuba, 23-27 de junio de 1997.
- Carson, Rachel. 1980. Primavera Silenciosa. Ediciones Grijalbo. Barcelona, España: 344 p.
- Castellanos, S. J. 1995. Innovaciones al método tradicional de la reproducción y liberación de *Lixophaga diatraeae* (Townsend) (Diptera: Tachinidae). p. 50. *En: Resúmenes III Encuentro Nacional Científico Técnico de Bioplaguicidas y III ExpoCREE*. INISAV, La Habana, Cuba.
- Castellón, María del Carmen; A. Morales; Lilian Morales; N. Maza; Dania Rodríguez; H. Fuentes. 1997. Manejo integrado de *Cylas formicarius* Fab. en el cultivo del boniato (*Ipomoea batatas* (L.) Lamk). p 71. *En: Resúmenes III Seminario Científico Internacional de Sanidad Vegetal*. La Habana, Cuba, 23-27 de junio de 1997.
- Cave, R.D. 1995. Manual para el reconocimiento de parasitoides de plagas agrícolas en América Central. Primera Edición, Zamorano Academic Press. El Zamorano, Honduras: 202 p.
- Colborn, Theo; J.P. Myers; Dianne Dumanoski. 1997. Nuestro Futuro Robado. Editorial Ecoespaña, Madrid, España: 559 p.
- Croft, B.A. 1990. Arthropod biological control agents and pesticides. John Wiley and Sons, New York, U.S.A.: 235 p.
- Costa-Cornelles, J.; F. García-Marí; F. Ferragut; R. Laborda; D. Roca; C. Marzal. 1988. Influencia residual de los insecticidas butocarboxin, cipermetrina y metilazinfos en el potencial biótico de *Panonychus citri* (McGr.) (Acari:Tetranychidae). *Boletín Sanidad Vegetal*. Plagas 14: 127-140.
- Cuba. 1997. Ley 81 del Medio Ambiente. Gaceta Oficial de la República de Cuba. Edición extraordinaria, La Habana, 11 de julio de 1997. N° 7: 47-96.
- Cuba. 1999. Decreto Ley 190 de la Seguridad Biológica. Gaceta Oficial de la República de Cuba. Edición ordinaria, 15 de febrero de 1999. N° 7: 114-118
- DeBach, P. 1964. Biological control of insect pests and weeds. Chapman & Hall. London, UK: 844 p.

- DeBach, P.; D. Rosen. 1991. Biological control by natural enemies. Cambridge University Press, Cambridge, U.S.A.: 440 p.
- Elizondo, Ana I.; C. A. Murguido; E. Fernández; M. Martínez; L. Licor; L. Castellanos; Roquelina Jiménez. 2002. Impacto del manejo integrado de plagas en la recuperación de los enemigos naturales en el cultivo de la papa. *Fitosanidad* 6 (1):29-34.
- Faz, A.B. 1987. Principios de Protección de Plantas. 2^{da} Edición, Editorial Científico-Técnica. La Habana, Cuba: 601 p.
- Feng, M.G.; J.B. Johnson; S.E. Halbert. 1991. Natural control of cereal aphids (Homoptera: Aphididae) by entomopathogenic fungi (Zygomycetes: Entomophthorales) and parasitoids (Hymenoptera: Braconidae and Encyrtidae) on irrigated spring wheat in southwestern Idaho. *Environmental Entomology* 20 (6): 1699-1710.
- Feng, M.G.; J.B. Johnson; S.E. Halbert. 1992. Parasitoids (Hymenoptera:Aphidiidae and Aphelinidae) and their effect on aphid (Homoptera:Aphididae) populations in irrigated grain in southwestern Idaho. *Environmental Entomology* 21 (6): 1433-1440.
- Fernández, L. 2002. Scaramuzza Pandini: Una personalidad en la historia de la Sanidad Vegetal. *Fitosanidad* 6 (2): 51-61.
- Fernández-Larrea, Orietta. 2003. Los microorganismos en el control biológico. *Producción en Cuba*. p. 83-94. *En*: L. L. Vázquez; Ingrid Paz (eds.), *Manejo Integrado de Plagas en la Producción Agraria Sostenible*. Curso-Taller para agricultores y extensionistas. CID-INISAV. La Habana, Cuba, 28-27 de junio de 2003.
- Gautam, R.D. 1996. Multiplication and use of exotic coccinellids. Technical Manual. CARDI. Trinidad, Trinidad and Tobago: 29 p.
- Gómez, J.; F. Barroso; H. Grillo. 1997. Protección de agroecosistema cañero contra el uso de insecticidas químicos y su efecto. p. 63. *En*: Resúmenes III Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica. Universidad Central de Las Villas. Villa Clara, Cuba, 14 al 16 de mayo de 1997.
- Gómez, J.; H. Grillo. 1999. Especies de Diptera, Tachinidae parasitando larvas de *Leucania* spp. (Lepidoptera: Noctuidae) en caña de azúcar. *Centro Agrícola* 26(2): 33-34.
- Greathead, D.J.; A.H. Greathead. 1992. Biological control of insect pests by parasitoids and predators: The BIOCAT database: *Biocontrol News and Information* 13 (4): 61N-68N.
- Hafez, M. 1961. Seasonal fluctuations of population density of the cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae* (L.) in the Netherlands, and the role its parasitoid, *Aphidius (Diaeretiella) rapae* (Curtis). *Tijdschr.*

- Plantenziekten 67: 445-449.
- Hagen, K.S.; R. van den Bosch. 1968. Impact of pathogens, parasites and predators on aphids. *Annu. Rev. Entomol.* 13: 325-384.
- Hayakawa, D.L.; E. Grafius; F.W. Stehr. 1990. Effects of temperature on longevity, reproduction and development of the asparagus aphid (Homoptera: Aphididae) and the parasitoid, *Diaeretiella rapae* (Hymenoptera: Aphidiidae). *Environmental Entomology* 19 (4): 890-897.
- Holman, J. 1974. Los áfidos de Cuba. Instituto Cubano del Libro. La Habana, Cuba: 304 p.
- Horn, J. 1988. Parasitism of cabbage aphid and green peach aphid: (Homoptera: Aphididae) on collards in relation to weed management. *Environmental Entomology* 17 (2): 354-358.
- Huffaker, C. B. 1971. *Biological Control*. Plenum Press, New York, U.S.A.: 511 p.
- Humber, R. 1997. Fungi: Identification. p. 153-185. *In*: L. A. Lacey (ed.), *Manual of Techniques in Insect Pathology*. Academic Press, San Diego, U.S.A.
- Hunter, C.D. 1994. Suppliers of beneficial organisms in North America. California Environmental Protection Agency. Department of Pesticide Regulation. Environmental Monitoring and Pest Management. Sacramento, California: 30 p.
- Jacas, J. A.; E. Viñuela. 1993. Los efectos de los plaguicidas sobre los organismos benéficos en la agricultura. II. Fungicidas. *Phytoma* 48: 45-52.
- Keller, S. 1991. Arthropod-pathogenic Entomophthorales of Switzerland. II. *Erynia*, *Eryniopsis*, *Neozygites*, *Zoophthora*, and *Tarichium*. *Sydowia* 43: 29-122.
- Keller, S. 1993. Working with arthropod-pathogenic. Entomophthorales. *In*: H. Smits (ed.), *Microbial control of pest*, 4th European meeting. IOBC wprs Bulletin 17 (3) :287-307.
- Kish, L.P.; I. Majchrowicz; K.D. Biever. 1994. Prevalence of natural fungal mortality of green peach aphid (Homoptera: Aphididae) on potatoes and nonsolanaceous hosts in Washington and Idaho. *Environmental Entomology* 23 (5):1326-1330.
- Lagnaoui, A.; E.B. Radcliffe. 1998. Potato fungicides interfere with entomopathogenic fungi impacting population dynamics of green peach aphid. *Amer. J. of Potato Res.* 75:19-25.
- Latgé, J.P.; B. Papierok. 1988. Aphid pathogens. p. 323-335. *In*: A. K. Minks;

- P. Harrewijn (eds.), *Aphids: Their biology, natural enemies and control*. Elsevier, Amsterdam, Holland.
- Madeley, J. 2003. Paraquat, el controvertido herbicida de Syngenta. Berne Declaration, Swedish Society for Nature Conservation, Pesticide Action Network UK, Pesticide Action Network Asia Pacific, Foro Emaús, RAP-AL. San José, Costa Rica: 52 p.
- Martínez, María de los Ángeles; Moraima Surís; Isabel Pérez; E. Blanco; A. Navarro. 2001. Programa de diagnóstico y detección de la chinche rosada en Cuba. p. 238. *En: Resúmenes IV Seminario Científico de Sanidad Vegetal, Taller Plagas Emergentes*. Matanzas, Cuba, junio de 2001.
- Milán, Ofelia; Esperanza Rijo; Elina Massó; Nidia Acosta; Nivia Cueto; Dianelys Sandoval; Dinorah López. 2001. Introducción, cuarentena y descentralización de *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant (Coleoptera: Coccinellidae). p. 238-240. *En: Resúmenes IV Seminario Científico de Sanidad Vegetal, Taller Plagas Emergentes*. Matanzas, Cuba, junio de 2001.
- Missonniers, J.; Y. Robert; G. Thoizon. 1970. Epidemiological circumstances which seem to promote entomophthorosis in three aphids. *Entomophaga* 15: 169-190.
- Morales, Lilián; H. Grillo; Vivian Hernández. 2001a. Detección de agentes de control natural de *Pseudacysta perseae* (Heid.) y susceptibilidad de los distintos grados de desarrollo a hongos entomopatógenos. p. 151. *En: Resúmenes IV Seminario Científico de Sanidad Vegetal*. Matanzas, Cuba, junio de 2001.
- Morales, Lilián; H. Grillo; Vivian Hernández. 2001b. Estudios bioecológicos de *Pseudacysta perseae* (Heid.) (Heteroptera: Tingidae). p. 296. *En: Resúmenes IV Seminario Científico de Sanidad Vegetal*. Matanzas, Cuba, junio de 2001.
- Morales, Lilián; H. Grillo; Vivian Hernández. 2002. Detección de agentes de control natural de *Pseudacysta perseae* (Heid.) y susceptibilidad de los distintos estados de desarrollo a hongos entomopatógenos. *Centro Agrícola* 29 (3): 21-25.
- Muiño, Berta Lina; Loreta Larrinaga. 1998. Efecto de los plaguicidas sobre *Verticillium lecanii*. *Fitosanidad* 2 (1): 33-36.
- Murray, D. 1994. *Cultivating Crisis: The Human Cost of Pesticides in Latin America*. Texas University Press, Texas, USA: 177 p.
- Navarro, A.; L.L. Vázquez; E. Blanco; I. Pérez; María de los A. Martínez; Elina Massó; M.A. García. 2001. Vigilancia y prevención contra *Macollenicoccus hirsutus* (Green) en Cuba. Situación actual. p. 239. *En:*

- Resúmenes IV Seminario Científico de Sanidad Vegetal, Taller Plagas Emergentes. Matanzas, Cuba, junio de 2001.
- Nicholls, Clara I.; Nilda Pérez; L. Vázquez; M. A. Altieri. 2002. The development and status of biologically based integrated pest management in Cuba. *Integrated Pest Management Reviews* 7: 1-16.
- Nivia, Elsa. 2003. Mujeres y plaguicidas: una mirada a la situación actual, tendencias y riesgos de los plaguicidas. RAPALMIRA Colombia-ECOFONDO-PAN. Santiago de Chile, Chile: 114 p.
- Pérez, Nilda. 1996. Control Biológico: Bases de la experiencia cubana. p. 122-128. *En: Agroecología y Agricultura Sostenible, Módulo 2: Diseño y manejo de sistemas agrícolas sostenibles*. ACAO, CEAS-ISCAH. La Habana, Cuba.
- Pérez, Nilda; E. Collazo; G.P. Chikwenhere. 1987. Efecto de cinco plaguicidas sobre huevos y larvas de *Chrysopa cubana* en el laboratorio. *Revista Protección Vegetal* 2: 226-233.
- Pérez, Nilda; Josefina Gómez. 1999. Regulación natural de *Brevicoryne brassicae* (Homoptera: Aphididae) sobre *Brassica oleracea* var. *capitata*. *Ciencia en la UNAH* 1: 90-95.
- Pérez, Nilda; L.L. Vázquez. 2001. Manejo Ecológico de Plagas. p. 191-224. *En: F. Funes; L. García; M. Bourke; Nilda Pérez; P. Rosset (eds.), Transformando el campo cubano: Avances de Agricultura Sostenible*. ACTAF-CEAS-Food First. La Habana, Cuba.
- Pérez, P.; A. Casanova; J.R. Savón; A. Igarza. 1997. Crucíferas y otras hortalizas. p. 29-39. *En: A. Casanova (ed.), Memorias 25 Aniversario del Instituto de Investigaciones Hortícolas "Liliana Dimitrova"*. I.I.H. L. Dimitrova. La Habana, Cuba, 24-29 de noviembre de 1997.
- Pérez, Nilda. 2003. Agricultura Orgánica: bases para el manejo ecológico de plagas. CEDAR-ACTAF-HIVOS; La Habana: 80 p.
- Price, P. 1993. Practical significance of tritrophic interactions for crop protection. p. 87-106. *In: T. A. van Beek; H. Breteler (eds.), Phytochemistry and Agriculture*. Claredon Press, Oxford, UK.
- Rodríguez, Mérida; Silvia Acosta; Elia Sao; F. Barroso; O. Rodríguez; J. O' Relly. 2001. Estrategia para la incorporación de *Cotesia flavipes* Cameron en el programa nacional de lucha biológica en Cuba. p. 236. *En: Resúmenes IV Seminario Científico de Sanidad Vegetal, Taller de Caña de Azúcar*. Matanzas, Cuba, junio de 2001.
- Rozas, María Elena. 1995. Plaguicidas en Chile: la guerra tóxica y sus víctimas. Observatorio Latinoamericano de Conflictos Ambientales, Instituto de Ecología Política. Santiago de Chile, Chile: 169 p.

- Santos, A. 2002. El control biológico de la mosca prieta de los cítricos en Cuba. *Fitosanidad* 6 (4): 57-62.
- Surís, Moraima; L. Planas; S. Jiménez; Felicia Piedra; H. Rodríguez; Zoila Trujillo; J. Cotiñas; María L. Chiang; Mercedes López. 2001. Comportamiento ecológico de *Thrips palmi* Karny (Thysanoptera:Thripidae) en Cuba. p. 232. *En: Resúmenes IV Seminario Científico de Sanidad Vegetal, Taller Plagas Emergentes. Matanzas, Cuba, junio de 2001.*
- Tamaki, G.; B. Annis; M. Weiss. 1981. Responses of natural enemies to the green peach aphid in different plant cultures. *Environmental Entomology* 10:375-378.
- Tanada, Y.; H. K. Kaya. 1993. Epizootiology. p. 595-632. *In: J. R. Fuxa; Y. Tanada (eds.), Insect Pathology. John Wiley and Sons, New York, U.S.A.*
- van den Bosch, R.; P. S. Messenger. 1973. *Biological Control. Intext Educational Publishers, New York, U.S.A.: 180 p.*
- Van Driesche, R.G.; T.S. Bellows. 1996. Parasitoids and Predators of Arthropods and Molluscs, p.37-65. *In: R. G. Van Driesche; T.S. Bellows (eds.), Biological Control. Chapman and Hall. New York, U.S.A.*
- Vázquez, L. L. 1999. La conservación de los enemigos naturales de plagas en el contexto de la fitoprotección. *Boletín Técnico* 5 (4): 75 p.
- Vázquez, L. L. 2003a. Enfoque actual de la generación y transferencia de tecnologías de manejo de plagas para pequeños y medianos agricultores. p. 5-19. *En: L. L. Vázquez; Ingrid Paz (eds.), Manejo Integrado de Plagas en la Producción Agraria Sostenible. Curso-Taller para agricultores y extensionistas. CID-INISAV. La Habana, Cuba, 28-27 de junio de 2003.*
- Vázquez, L. L. 2003b. Manejo integrado de plagas. Preguntas y respuestas para extensionistas y agricultores. Ediciones CIDISAV. La Habana, Cuba: 566 p.
- Vázquez, L. L.; C. Murguido; E. Peña. 2001. Control Biológico por conservación de los enemigos naturales en los programas de manejo de plagas introducidas. p. 257. *En: Resúmenes IV Seminario Científico de Sanidad Vegetal, Taller Plagas Emergentes. Matanzas, Cuba, junio de 2001.*
- Vázquez, L. L.; J. A. Castellanos. 1997. Desarrollo del control biológico de plagas en la agricultura cubana. *AgroEnfoque* 91:14-15.
- Woods, W. 1993. Biological control of key arthropod pest of western Australian temperate horticulture: now, then, and when. p. 203-205. *In: S. A. Corey, D. J. Dall; W. M. Milne (eds.), Pest control and sustainable agriculture. CSIRO, Melbourne, Australia.*

Capítulo V

DEPREDADORES Y PARASITOIDES DE ARTRÓPODOS

INTRODUCCIÓN

En la mayoría de los grupos de insectos se encuentran especies entomófagas. Pero el hábito entomófago varía ampliamente en la clase Insecta. Algunas especies dependen totalmente del consumo de otros insectos para su supervivencia. Entre las especies que se alimentan de otros artrópodos y moluscos están precisamente las que tienen posibilidades de uso en el control biológico. Los entomófagos han sido considerados durante mucho tiempo, el grupo más importante dentro del conjunto de organismos que ejercen su acción como enemigos naturales. Comenzaron a utilizarse en el control biológico aplicado mucho antes que otros organismos. Estos se ubican en dos categorías: depredadores y parasitoides. En este capítulo se discuten las características biológicas que los hacen importantes en el control biológico, se pone énfasis en determinadas prácticas que permiten aprovechar y facilitar su acción y se presentan experiencias cubanas en el uso y manejo de entomófagos.

DEPREDADORES EN EL CONTROL BIOLÓGICO

Cuando se establecen comparaciones entre el grado de éxito del control de plagas mediante el uso de depredadores y parasitoides, generalmente el resultado indica que los segundos resultan mucho más efectivos, pues el número de casos exitosos es mayor, pero los depredadores juegan un papel muy significativo en el control de plagas. En algunos de los casos más característicos de éxito en el control biológico han estado involucradas especies depredadoras, entre éstos se encuentran el control de *Icerya*

purchasi Maskell por *Rodolia cardinalis* Mulsant y del saltahoja australiano de la caña de azúcar, *Perkinsiella saccharicida* Kirkaldy, G.W. con *Tytthus mundulus* Bredd. (Van Driesche y Bellows, 1996).

Los artrópodos depredadores están ampliamente representados en las clases Insecta y Aracnida. En la mayoría de los órdenes de insectos se encuentran familias con hábito depredador. Se han identificado 224 familias (ubicadas en 15 órdenes) con hábito entomófago, de éstas, en 167 familias (14 órdenes) se encuentran depredadores (Clausen, 1940). Los depredadores de alguna importancia se encuentran ubicados en nueve órdenes: Orthoptera, Dermaptera, Thysanoptera, Hemiptera, Neuroptera, Coleoptera, Lepidoptera, Hymenoptera y Diptera (tabla 5.1) y los de mayor importancia pertenecen a los órdenes Hemiptera, Coleoptera, Diptera e Hymenoptera (Van Driesche y Bellows, 1996).

Los insectos depredadores se caracterizan por el hecho de que tanto los adultos como los inmaduros buscan su presa, la consumen de una vez, la muerte es inmediata y no existe una relación clara entre el número de presas atacadas y el número de depredadores en la próxima generación. Los depredadores juveniles aprovechan las presas para obtener los nutrientes que necesitan para su crecimiento y desarrollo y los adultos para mantenerse y para la reproducción (Doutt y De Bach, 1968).

Hábitos alimentarios

Los depredadores se alimentan de dos formas, la masticación de la presa como ocurre en los coccinélidos y carábidos que poseen aparato bucal masticador y la succión de los líquidos contenidos en el interior de sus presas. Las chinches, las larvas de crisópidos y las larvas de moscas sírfidas tienen un aparato bucal que sufrió modificaciones que les permiten succionar los jugos vitales de sus presas, lo más frecuente es que inyecten toxinas que las inmovilizan y enzimas digestivas que facilitan la alimentación (Clausen, 1940).

A diferencia de los parasitoides necesitan consumir diariamente muchas presas para cubrir sus requerimientos nutricionales, y así poder completar su desarrollo y realizar todas sus actividades. En general se alimentan de todos los estadios biológicos de sus presas, -huevos, larvas o ninfas, pupas y adultos-, este hábito favorece el control de plagas, ya que permite la regulación de la misma utilizando una cantidad menor de una sola especie depredadora. La densidad poblacional de la presa y del hospedante son los dos componentes básicos de la depredación.

Tabla 5. 1 Ejemplos de insectos de hábito depredador y presas de las que se alimentan (elaborado por la autora a partir de diversas fuentes)

Orden	Familia	Depredadores	Presas
Hemiptera	Anthoridae	<i>Orius insidiosus</i>	Trips, huevos de insectos
	Pentatomidae	<i>Podisus maculiventris</i>	<i>Spodoptera</i> spp., y lepidópteros en general
	Lygaeidae	<i>Geocoris punctipes</i>	Ácaros, trips, huevos de insectos
	Nabidae	<i>Nabis ferus</i>	Huevos de insectos, insectos pequeños y de cuerpo blando como homópteros
	Reduviidae	<i>Zelus longipes</i>	Áfidos, saltahojas y larvas de insectos
	Miridae	<i>Nesidiocoris tenuis</i>	Moscas blancas, trips y otros insectos
Coleoptera	Coccinellidae	<i>Cycloneda sanguinea</i>	Varios insectos y ácaros
	Cicendellidae	<i>Cicindela</i> sp.	Varios insectos
	Carabidae	<i>Calosoma alternans</i>	Larvas de insectos
	Staphylinidae	<i>Oligota oviformis</i>	Ácaros
	Histeridae	<i>Carcinops pumilio</i>	<i>Musca domestica</i>
	Cantharidae	<i>Cantharis</i> sp.	Áfidos, huevos de locustidos
	Cleridae	<i>Thanasimus dubius</i>	Descortezadores (<i>Ips</i> sp.)
	Cybocephalidae	<i>Cybocephalus</i> sp.	Moscas blancas y escamas
Diptera	Cecidomiidae	<i>Aphidoletes aphidimyza</i>	Áfidos, moscas blancas, trips, escamas y ácaros
	Syrphidae	<i>Syrphus</i> sp., <i>Allograpta</i> sp.	Áfidos
	Chamaemyiidae		Áfidos, escamas, y chinches harinosas
Hymenoptera	Formicidae	<i>Pheidole megacephala</i>	Diversos insectos
	Vespidae	<i>Polistes</i> sp.	Lepidópteros
Orthoptera	Mantidae	<i>Mantis religiosa</i>	Varios insectos
Dermoptera	Forficulidae	<i>Doru taeniatum</i> Dohrn	<i>Spodoptera frugiperda</i>
Thysanoptera	Aleoithripidae	<i>Aleoithrips fasciatus</i>	Trips, áfidos y ácaros
	Phlaeothripidae	<i>Leptothrips mali</i>	Moscas blancas
Neuroptera	Chrysopidae	<i>Chrysopa exterior</i>	Áfidos, moscas blancas, ácaros, huevos de insectos
	Hemerobiidae	<i>Hemerobius</i> sp.	Diversos insectos
	Coniopterygidae	<i>Fontenellea</i> sp.	Escamas
Lepidoptera	Lycaenidae	<i>Feniseca tarquinius</i>	Áfidos

Existe la tendencia a enfatizar sobre la polifagia en los depredadores y contraponerla como una desventaja en relación con la especificidad de los parasitoides. Pero los hábitos alimenticios de los depredadores van desde la monofagia hasta la polifagia, pasando por la oligofagia y estenofagia (Doutt, 1964).

Los monófagos consumen una sola especie de insecto y por tanto dependen de ésta, tal es el caso de *R. cardinalis* que se alimenta de *I. purchasi*. La estenofagia es la preferencia limitada por un número restringido de presas, ejemplos de depredadores estenófagos se pueden encontrar en especies de las familias Coccinellidae y Syrphidae que se alimentan de áfidos. La oligofagia se refiere a la preferencia limitada por un número moderado de especies presa, como ocurre en la familia Chrysopidae; los miembros de esta familia se alimentan de adultos y ninfas de áfidos y moscas blancas, ácaros, huevos de varios insectos y larvas de lepidópteros. Los depredadores polípagos se alimentan de muchas presas diferentes, en las familias Formicidae y Mantidae se encuentra un gran número de especies polípagas (Doutt, 1964).

Los depredadores están obligados a desarrollar diferentes estrategias para asegurar la captura de las presas. Unos se caracterizan por salir en su busca como los crisópidos, una larva recién nacida de *Chrysopa plorabunda* (Fitch) (= *californica* Coq.) puede viajar 225 metros desde el momento en que nace hasta que muere por falta de alimento o agua (Fleschner, 1950). Otras especies desarrollan estrategias para sorprender a sus presas, puede ser mediante camuflaje o mimetismo, -*Mantis religiosa* (Linnaeus) permanece inmóvil en el lugar que ha seleccionado para cazar, tratando de confundirse con lo que le rodea hasta que se acerca la presa-; y las hay con capacidad para construir trampas como la hormiga leona, *Pheidole megacephala* Fabricius.

RECOMENDACIONES PARA EL AUMENTO Y CONSERVACIÓN DE LAS POBLACIONES DE DEPREDADORES

El conocimiento de la biología y comportamiento de los depredadores permite implementar determinadas prácticas que contribuirán al aumento y conservación de sus poblaciones y por tanto a mejorar su actividad. Se han notificado numerosas experiencias en las que se ha demostrado que es posible sustituir plaguicidas por procesos de gestión en la finca. Las prácticas a las que se hace referencia pueden ser incorporadas durante esa gestión, pero hasta ahora su uso ha sido bastante limitado.

Se conoce que las avispas depredadoras del género *Polistes* necesitan lugares sombreados para anidar. La depredación por *Polistes* aumenta cuando se colocan cubiertas en los campos, a modo de pequeños refugios que las avispas utilizan para construir sus nidos, con lo cual se garantiza que el número de éstos en las cercanías de los campos cultivados aumente. Las cubiertas pueden construirse de forma tal que una vez ocupadas por *Polistes* puedan ser trasladadas hacia los campos que más lo necesiten.

La regulación de las chinches harinosas que se alimentan de los cítricos puede lograrse mediante la colocación de bandas de sacos de yute, de 12 cm, alrededor de los árboles, las bandas ofrecen un ambiente protegido por el que las chinches sienten una gran atracción, debajo de éstas se concentran y ovipositan. Pero ese ambiente no sólo es atractivo para las chinches harinosas, uno de sus principales enemigos, el coccinélido *Cryptolaemus montrouzieri* Muls. también es atraído por lo que se incrementa la intensidad de la depredación.

La agricultura industrial hizo que al aumentar el tamaño de las fincas se perdiera la costumbre tradicional de rodear éstas con cercos vivos, que fueron sustituidos por cercados de alambre y postes de concreto. El incremento de las plagas en los cultivos, en algunos lugares de Francia en los años 50 del siglo XX, fue atribuido a la sustitución de las cercas vivas por cercas de alambre (van den Bosch y Telford, 1964). Los depredadores himenópteros utilizan los setos vivos y otros lugares para anidar, al no disponer de esos refugios sus poblaciones disminuyen y esa puede ser una de las causas del incremento en las poblaciones de las plagas, por lo que una recomendación válida es que se proporcionen nidos a estos depredadores mediante el uso de plantas con troncos adecuados, canales con taludes verticales y montones de arena alrededor de las pequeñas zanjas que se utilizan para el regadío. Claro está que lo más idóneo es considerar el regreso de los cercos vivos y la reforestación de las fincas.

Las tijeretas (orden Dermaptera) pueden trasladarse desde donde se encuentren en poblaciones altas hacia otros sitios con poblaciones bajas, para esto es necesario preparar trampas; unas macetas invertidas llenas de paja o virutas de madera, colgando de árboles y arbustos cumplen esa función, una vez colonizadas por las tijeretas, se trasladan de unos campos a otros.

Para favorecer la conservación y aumento de los depredadores del orden Hemiptera (tabla 5.1) se recomienda establecer áreas de refugio, como

bordes sin cultivar en los que se pueden mantener plantas silvestres. Esta medida también es efectiva para la conservación de coccinélidos: Los bordes de zanjas o canales de riego con vegetación silvestre, de preferencia leguminosas de hoja ancha, hospedantes de áfidos que sirvan de alimento a larvas y adultos en las épocas sin cultivos, contribuyen de una manera notable al aumento de las poblaciones de coccinélidos.

Un modo de favorecer el aumento de las poblaciones de neurópteros es construir cajas de madera, de una forma tal que se garantice una buena circulación del aire, llenarlas de paja y colocarlas en sitios elevados, las cajas así preparadas constituyen un refugio muy apropiado, una vez colonizadas pueden ser llevadas a nuevos campos de cultivo o huertos para su liberación. Aunque en el orden Neuroptera tanto las larvas como los adultos se alimentan de las presas que capturan, estos últimos necesitan polen y néctar para reproducirse, por lo que es conveniente mantener plantas con flores cerca de los campos de cultivo, para que estén disponibles esos recursos sin los cuales no se puede garantizar la descendencia.

Un componente fundamental de la gestión para el manejo de plagas en la agricultura urbana y periurbana es el mantenimiento de plantas con flores en los huertos y patios. Las moscas sírfidas también son dependientes de las plantas con flores, sobre todo de la familia Umbelliferae (eneldo, hinojo, zanahoria); la caléndula y la mostaza también atraen a los adultos. Un borde con malezas en flor puede garantizar un gran número de sírfidos en los campos.

Los depredadores de la familia Carabidae tienen el suelo como hábitat, los sitios preferidos por esos insectos son las áreas húmedas, con abundante hojarasca y piedras, donde se mantienen escondidos durante el día, hasta que llega la noche, momento en que salen a cazar. Los bordes sin cultivar en los alrededores de los campos de cultivo pueden reunir esas características, por lo que se recomienda tener esto presente en el momento de planificar las siembras para una época dada. Las prácticas de labranza conservacionista favorecen notablemente el aumento de sus poblaciones.

PARASITOIDES EN EL CONTROL BIOLÓGICO

Numerosos especialistas afirman que los parasitoides son los agentes de control biológico más importantes. Lo cierto es que los parasitoides han sido el tipo más común de enemigo natural introducido para el control

biológico de insectos y que han estado involucrados en muchos de los casos de introducciones exitosas (Carver, 1988).

Existen cuatro atributos que permiten establecer marcadas diferencias entre depredadores, parasitoides y parásitos: la búsqueda del hospedante o presa, el número de individuos atacados, la acción sobre éstos y la muerte.

Un parasitoide es un artrópodo cuya etapa inmadura vive parasíticamente; los adultos son de vida libre. Sólo los adultos buscan al hospedante y ovipositan dentro, fuera o cerca de éste. El número de individuos parasitados es el que define la progenie, es decir, de cada individuo parasitado emerge una cantidad fija del parasitoide en la generación siguiente. La muerte del hospedante se produce cuando ha madurado el estado juvenil del parasitoide. Los parasitoides matan a sus hospedantes (a diferencia de los verdaderos parásitos tales como las pulgas y los piojos), y son capaces de completar su desarrollo sobre un solo individuo (a diferencia de los depredadores que generalmente necesitan consumir muchas presas para completar su desarrollo) (Doutt, 1964; Waage y Greathead, 1986; Van Driesche y Below, 1996).

En el caso de los parásitos, los juveniles son los que buscan la presa; en dependencia de la especie el ciclo de vida puede transcurrir completo sobre un individuo, sólo una parte y el resto en vida libre o sobre otro hospedante; afectan el cuerpo en general o un órgano específico y permiten que el hospedante continúe viviendo aunque con menor actividad, pues tienden más a debilitar que a matar.

CLASIFICACIÓN DE LOS PARASITOIDES SEGÚN SUS CARACTERÍSTICAS Y COMPORTAMIENTO

La oviposición y el desarrollo de los parasitoides pueden iniciarse desde la etapa de huevo del hospedante y terminar en ésta o cualquier etapa posterior. De acuerdo al estado del hospedante que parasiten se clasifican en parasitoides de huevos (Mymaridae, Trichogrammatidae), de huevo-larva (Braconidae), de larva (Braconidae, Tachinidae), de larva-pupa (Braconidae, Ichneumonidae, Eulophidae, Tachinidae), de pupa (Eulophidae, Ichneumonidae) y de adultos (Braconidae, Eulophidae) (Doutt, 1964).

El comportamiento de los parasitoides es diverso y complejo, por lo que se precisa de un conocimiento detallado de sus características y de su conducta para su uso y conservación. La terminología que se utiliza frecuentemente para describir a los parasitoides y su comportamiento permite separarlos en tipos. Se clasifican en primarios y secundarios. Un

parasitoide *primario* es aquel que parasita hospedantes que no son parasitoides; los hospedantes son fundamentalmente fitófagos, también pueden ser saprófagos, coprófagos, polinizadores, depredadores, etc; pero en ningún caso parasitoides (van den Bosch y Messenger, 1973). El término *secundario* se refiere a los que atacan a otras especies de parasitoides; también se denominan *hiperparasitoides* y al proceso *hiperparasitismo* (Doutt y De Bach, 1968). Los parasitoides terciarios y cuaternarios se incluyen dentro de esa categoría. Se puede dar el caso de que los parasitoides parasiten a individuos de su misma especie, como ocurre en los géneros *Encarsia* y *Coccophagus* (familia Aphelinidae) en que los machos parasitan a las hembras, a ese comportamiento se le llama *adelfoparasitismo* o *autoparasitismo* (Williams y Polaszek, 1996).

La denominación de parasitoide *solitario* se refiere a aquellos casos en que se desarrolla un solo individuo en un hospedante; es lo opuesto de *gregario*, parasitoide de una sola especie, que se desarrolla y sobrevive en número de dos o más a expensas de un hospedante (Wharton, 1993). Otra de las clasificaciones del parasitismo se relaciona con el número de especies de parasitoides que atacan un solo hospedante. Se llama parasitismo *simple* al desarrollo de una sola especie a expensas de un hospedante, ya sea el parasitoide gregario o solitario. Si el número de parasitoides de una misma especie es excesivo y no todos llegan al estado adulto o los adultos que emergen son de menor tamaño o menos activos de lo normal entonces se llama *superparasitismo*. Cuando dos o más especies de parasitoides primarios atacan al mismo hospedante se denomina *múltiple*; por lo general sobreviven individuos de una sola especie (Doutt y DeBach, 1968).

Según el lugar donde se desarrollen se clasifican en endoparasitoides y ectoparasitoides. Los *endoparasitoides* se desarrollan dentro del hospedante. A los que se desarrollan fuera de éste se les llama *ectoparasitoides*; las larvas se alimentan a través de pequeñísimas heridas que hacen en la cutícula del hospedante.

Los parasitoides también pueden ser clasificados de acuerdo con el efecto que ejerzan sobre la fisiología del hospedante. Lo más frecuente es que las hembras de las especies ectoparásitas paralicen temporal o permanentemente a éstos; por tanto la progenie se alimenta de individuos cuyo crecimiento se interrumpe, ese tipo de parasitoide es conocido como *idiobionte*, igual ocurre con los endoparasitoides de huevos y pupas que se desarrollan dentro de un hospedante muerto o paralizado. Cuando el parasitoide se desarrolla dentro de un hospedante vivo se denomina *koniobionte* (Van Driesche y Bellows, 1996).

PRINCIPALES ÓRDENES Y FAMILIAS

La mayoría de los parasitoides utilizados en control biológico pertenecen al orden Hymenoptera y en menor grado a Diptera.

Orden Hymenoptera

En el orden Hymenoptera está incluido un número grande de familias y especies con hábitos parasíticos; tienen un efecto marcado en la regulación natural de muchas plagas. El conocimiento de éstas es muy importante, pues su eliminación puede conducir a la aparición de brotes de plagas.

En la superfamilia Chalcidoidea se ubican 14 familias, entre las más importantes están Aphelinidae y Encyrtidae. Los afenílidos son avispietas de tamaño muy pequeño. La mayoría de las especies pertenecientes a esa familia son parasitoides primarios de áfidos, moscas blancas y escamas; una pequeña parte parasita huevos de lepidópteros, ortópteros y pupas de moscas y una minoría se comporta como hiperparasitoides. Entre los géneros más importantes están *Aphelinus*, *Aphytis*, *Coccophagus*, *Encarsia* y *Eretmocerus* (tabla 5.2). Varias especies de *Aphytis* ejercen un control muy efectivo sobre guaguas armadas (Diaspididae) en muchas partes del mundo (Bedford y Cilliers, 1994). La especie mejor conocida de *Aphelinus* es *A. mali*, la cual es utilizada en el control de *Eriosoma lanigerum* (Hausmann) (pulgón lanífero del manzano). *A. mali* tiene especificidad por *Eriosoma* y desde 1920 se ha exportado desde Estados Unidos de Norteamérica a 51 países. Este se considera el primer caso exitoso de control biológico de áfidos en el mundo (Carver, 1988).

La mayoría de las especies pertenecientes a la familia Encyrtidae son parasitoides de escamas, chinches harinosas; huevos y larvas de coleópteros, dípteros y lepidópteros; larvas de himenópteros, huevos de ortópteros y arañas. En los géneros *Comperiella*, *Epidinocarsis*, *Copidosoma* y *Metaphycus* se encuentran especies importantes.

Orden Diptera

En el orden Diptera están incluidas 12 familias a las cuales pertenecen especies que son parasitoides de artrópodos y de moluscos. La familia Tachinidae es una de las más grandes. La mayoría de las especies son parasitoides de insectos y tienen importancia como enemigos naturales y algunas se usan con éxito en programas de control biológico clásico.

Tabla 5.2. Ejemplos de parasitoides himenópteros y hospedantes de los que se alimentan (elaborado por la autora a partir de diversas fuentes)

Superfamilia/Familia	Parasitoides	Hospedantes
Chalcidoidea		
Aphenilidae	<i>Aphytis</i> sp. <i>Aphelinus mali</i> <i>Encarsia formosa</i>	Guaguas armadas <i>Eriosoma lanigerum</i> <i>Aleurocanthus woglumi</i>
Encyrtidae	<i>Ageniaspis citricola</i> <i>Epidinocarsis lopezi</i> <i>Metaphycus lounsburyi</i> <i>Comperiella bifasciata</i>	<i>Phyllocnistis citrella</i> <i>Phenacoccus manihoti</i> <i>Saissetia oleae</i> Guaguas armadas
Pteromalidae	<i>Spalangia cameroni</i>	Pupas de dípteros
Trichogrammatidae	<i>Trichogramma</i> sp. <i>Uscana senex</i>	Huevos de lepidópteros <i>Bruchus pisorum</i>
Eulophidae	<i>Cirrospilum</i> sp. <i>Tetrastichus</i> spp.	<i>P. citrella</i> Huevos, larvas y pupas de coleópteros y lepidópteros y dípteros
Ichneumonoidea		
Braconidae	<i>Cotesia plutellae</i> <i>Chelonus insularis</i> <i>Meteorus laphygmae</i> <i>Aphidius ervi</i>	<i>Plutella xylostella</i> <i>Spodoptera frugiperda</i> <i>S. frugiperda</i> Áfidos
Ichneumonidae	<i>Diadegma semiclausum</i>	<i>P. xylostella</i>
Chrysoidea		
Bethylidae	<i>Cephalonomia stephanoderis</i> <i>Prorops nasuta</i>	<i>Hypothenemus hampei</i> <i>H. hampei</i>
Proctotrupoidea		
Scelionidae	<i>Telenomus remus</i>	<i>S. frugiperda</i>

Las larvas de la mayor parte de los taquinidos conocidos son endoparasitoides solitarios. Los adultos se alimentan del néctar de las flores y de otras fuentes de azúcar como la miel de abejas. Las hembras grávidas son atraídas por sustancias volátiles que emanan de los tejidos de las plantas dañadas y por estímulos olfatorios y visuales de sus hospedantes.

Las estrategias de oviposición son variadas y de acuerdo con éstas los taquinidos se han dividido en varios grupos (O'Hara, 1985). Algunas especies depositan huevos relativamente grandes directamente sobre el hospedante, pegándolos en el integumento. Otras especies ponen una cantidad grande de pequeños huevos sobre el follaje y otros sustratos, estos eclosionan después de ser ingeridos por el hospedante o eclosionan y es el primer estadio el que penetra. En muchos casos los huevos eclosionan tan pronto como son depositados. Hay especies que retienen sus huevos y depositan el primer estadio larval dentro o sobre el hospedante. Otras especies colocan sus huevos o larvas sobre el follaje o el suelo cerca del hospedante, tal es el caso de la mosca cubana *Lixophaga diatraeae* Townsend

Como ya se vio en el capítulo 4 los primeros intentos de utilizar taquinidos como agentes de control biológico datan de 1914. En ese año se comenzaron a importar para el control del bórer de la caña de azúcar en el Caribe. Entre los casos de mayor éxito se encuentran la mosca cubana (*L. diatraeae*) y la mosca amazónica (*Metagonistylum minense* Townsend) *M. minense* fue descubierta por el inglés J. G. Myers en 1932, en el bajo Amazonas; y se introdujo a varios países del Caribe para el control de *Diatraea saccharalis* F. (Fernández, 2002). Ejemplos de otras introducciones exitosas se pueden encontrar en Van Driesche y Below (1996).

La importancia de los depredadores y parasitoides como agentes de control biológico en diferentes partes del mundo ha conllevado al desarrollo de múltiples técnicas para su producción masiva. Actualmente se dispone de metodologías para la cría masiva de muchas especies de entomófagos, lo que ha permitido que un número grande de especies se pueda reproducir en escala comercial. En la tabla 5.3 aparece un número de especies que se reproducen y comercializan en América del Norte.

USO DE ENTOMÓFAGOS EN CUBA

Depredadores

Como ya se vio el uso y manejo de depredadores en Cuba data de principios del siglo pasado. En la tabla 5.4 se relacionan los depredadores utili-

Tabla 5.3 Depredadores y parasitoides producidos y comercializados en Norteamérica (Hunter, 1994)

Depredadores	Insectos a controlar	Parasitoides	Insectos a controlar
<i>Adalia bipunctata</i>	Áfidos	<i>Anaphes iole</i>	Huevos de chinches
<i>Aphidoletes aphidimyza</i>	Áfidos	<i>Aphelinus abdominalis</i>	Áfidos
<i>Chilocorus nigritus</i>	Escamas	<i>Aphidius colemani</i>	Áfidos
<i>Chrysoperla carnea</i>	Áfidos y moscas blancas	<i>Aphidius matricariae</i>	Áfidos
<i>Chrysoperla rufilabris</i>	Áfidos y moscas blancas	<i>Aphytis melinus</i>	Escama roja
<i>Chrysoperla</i> spp.	Áfidos y moscas blancas	<i>Bracon hebetor</i>	Larvas de polillas
<i>Cryptolaemus montrouzieri</i>	Chinche harinosa	<i>Cotesia flavipes</i>	Bórer de la caña de azúcar
<i>Delphastus</i> spp.	Moscas blancas	<i>Cotesia marginiventris</i>	Larvas de polillas
<i>Deraeocoris brevis piceatus</i>	Áfidos y moscas blancas	<i>Diarietiella rapae</i>	Áfidos
<i>Hippodamia convergens</i>	Depredador generalista	<i>Encarsia formosa</i>	Mosca blanca de los invernaderos
<i>Macrolophus caliginosus</i>	Áfidos y moscas blancas	<i>Encarsia</i> spp.	Mosca blanca
<i>Orius insidiosus</i>	Depredador generalista	<i>Eretmocerus</i> spp.	Mosca blanca
<i>Orius tristicolor</i>	Depredador generalista	<i>Lysiphlebus testaceipes</i>	Áfidos
<i>Orius</i> spp.	Depredador generalista	<i>Metaphycus helvolus</i>	Escama negra
		<i>Spalangia cameroni</i>	Moscas
		<i>Sphegigaster</i> spp.	Moscas
<i>Podisus maculiventris</i>	Depredador generalista	<i>Trichogramma brassicae</i> ,	Huevos de polillas
		<i>Trichogramma evanescens</i>	Huevos de polillas
		<i>Trichogramma minutum</i>	Huevos de polillas y mariposas en frutales
		<i>Trichogramma platneri</i>	Huevos de polillas y mariposas en frutales
		<i>Trichogramma pretiosum</i>	Huevos de polillas y mariposas en hortalizas

Tabla 5.4. Depredadores utilizados en Cuba y plagas que regulan

Cultivos	Plagas	Depredadores	Inoculativo	Inundativo
Boniato	<i>Cylas formicarius</i>	<i>Pheidole megacephala</i>	X	
Banano	<i>Cosmopolites sordidus</i>	<i>Tetramorium bicarinatum</i>	X	
Banano	<i>Tetranychus tumidus</i>	<i>Phytoseiulus macropilis</i>	X	
Varios	Moscas blancas, áfidos, trips y ácaros	<i>Chrysopa</i> spp.	X	
Varios	Moscas blancas, áfidos, trips y ácaros	<i>Nodita</i> spp.	X	
Varios	Ácaros y áfidos	<i>Cycloneda limbifer</i>	X	
Varios	Ácaros y áfidos	<i>Coleomegilla cubensis</i>	X	
Varios	Ácaros y áfidos	<i>Hippodamia convergens</i>	X	
Varios	Ácaros y áfidos	<i>Chilocorus cacti</i>	X	
Varios	Ácaros y áfidos	<i>Stethorus</i> sp.	X	
Varios	Polífago	<i>Cryptolaemus montrouzieri</i>		X
Yuca	<i>Schizotetranychus caribbeanae</i>	<i>P. macropilis</i>	X	
Varios	Ácaros	<i>Amblyseius</i> spp.	X	

zados en los programas de control biológico. Para algunos de éstos se han desarrollado en el país metodologías de reproducción masiva, que permiten obtener producciones con destino a liberaciones inoculativas en determinadas plantaciones. Para otros se han establecido prácticas de conservación que garantizan el aumento de sus poblaciones en los campos de cultivo.

Una práctica que se está adoptando en los últimos años y que contribuye de manera notable al aumento y conservación de los enemigos naturales es el uso de las barreras de maíz y sorgo. En el cultivo de la papa, dada la cantidad de plaguicidas que aún continua recibiendo esto se hace mucho más importante, pues cualquier medida que contribuya a disminuir el consumo de plaguicidas reportará notables beneficios ecológicos, económicos y sociales (Cuba, 2001).

La siembra de hileras de maíz intercaladas entre las hileras de papa favorece el aumento de las poblaciones de crisópidos y de coccinélidos; en una siembra mixta de papa y maíz en la CPA "Gilberto León", las crisopas colocaron como máximo 12 huevos por planta de maíz (Pérez y Gómez, 1999). En el capítulo 3 se discutió el papel facilitador del maíz en

el manejo de plagas. Las barreras de maíz establecidas en campos de tabaco y tomate contribuyeron al aumento de las poblaciones de los depredadores *Zelus longipes* L., *Cycloneda sanguinea* L. y *Orius insidiosus* Say (Rodríguez *et al.*, 2001).

***Pheidole megacephala* F. y *Tetramorium bicarinatum* (= *guinense*) (Nylander).** La observación de la práctica tradicional de los campesinos cubanos de trasladar nidos de hormigas a los campos de boniato para el control de su plaga principal *C. formicarius* (tetuán) despertó el interés en el estudio de estos depredadores. La mayor parte de las investigaciones básicas se realizaron en la década de los 80 del siglo pasado, éstas se dirigieron al estudio de la biología, hábitos, capacidad depredadora, manejo de los reservorios y de su efectividad técnico-económica en condiciones de campo (Castiñeiras, 1986). La hormiga se utiliza en campos con regadío o en el período lluvioso, por requerir ese insecto una humedad adecuada para su establecimiento y diseminación por toda la superficie de cultivo. El traslado de los nidos se realiza a partir de los 20-30 días de la plantación, momento en el que existe un adecuado desarrollo foliar del boniato que protege a las hormigas del sol y del calor intenso.

Para *P. megacephala* y *T. bicarinatum* se han establecido prácticas de conservación que permiten el aumento de sus poblaciones en los campos de cultivo. El sistema de manejo se basa en el establecimiento de reservorios naturales en lugares donde exista un hábitat propicio para que las poblaciones puedan aumentar y mantenerse. Las colonias de *P. megacephala* son transportadas desde los reservorios hasta los campos de boniato utilizando trampas.

Las trampas pueden prepararse con tallos u hojas de plátano, bolsas de cañamo o residuos de coco seco. Después de preparadas se asperjan con una solución azucarada o de miel, y se mantienen húmedas para atraer a las hormigas. Una vez que éstas se trasladan a las trampas se llevan al campo y cuando se secan, las hormigas las abandonan y colonizan las plantaciones de boniato (Castiñeiras *et al.*, 1982). Este mismo procedimiento se utiliza para el control de *Cosmopolites sordidus* Germar (picudo negro del plátano) con *P. megacephala* y *T. bicarinatum*.

Las dos especies son poligínicas y realizan una actividad continua durante todo el año, ésta alcanza el clímax en las noches más calientes del verano. Esas características posibilitan que ejerzan una regulación natural de *C. sordidus* de hasta 80 % cuando se establecen nidos de *T. guinense* en el 50 % de las plantas de un campo de banano. En el caso del tetuán, se puede alcanzar una reducción de los daños entre 80 % y 90%, si se colo-

can nueve colonias de *P. megacephala* por hectárea (Castiñeiras, 1986; Castiñeiras *et al.*, 1982).

La metodología para el manejo de los reservorios y el traslado al campo se ha extendido a todas las localidades agrícolas del país. Pero esto no es suficiente, el conocimiento de los depredadores por parte de los agricultores es esencial. No basta con dar por extendida una metodología o tecnología, hay que garantizar que el agricultor haga suya esa metodología o tecnología, ese conocimiento. El caso de estas hormigas es un buen ejemplo para discutir y reflexionar, pues se trata nada menos que de una de las prácticas tradicionales campesinas para el manejo de plagas.

En la figura 5.1 se observa que la superficie bajo manejo con *P. megacephala* comenzó a disminuir desde 1990 hasta 1997 en que se produjo un ligero incremento; en 1990 se trasladaron nidos de hormigas a 15 300 ha y en 1996 se alcanzó el nivel más bajo, 4 960.27 ha. Los datos obtenidos en una encuesta realizada en 1998 a 50 productores en las principales provincias productoras de boniato y en informes del Instituto de Investigaciones de Viandas Tropicales (INIVIT) y del Ministerio de la Agricultura arrojaron que el nivel de adopción de *P. megacephala* para el control del tetuán era bajo. Sólo en el 32 % de los campos se

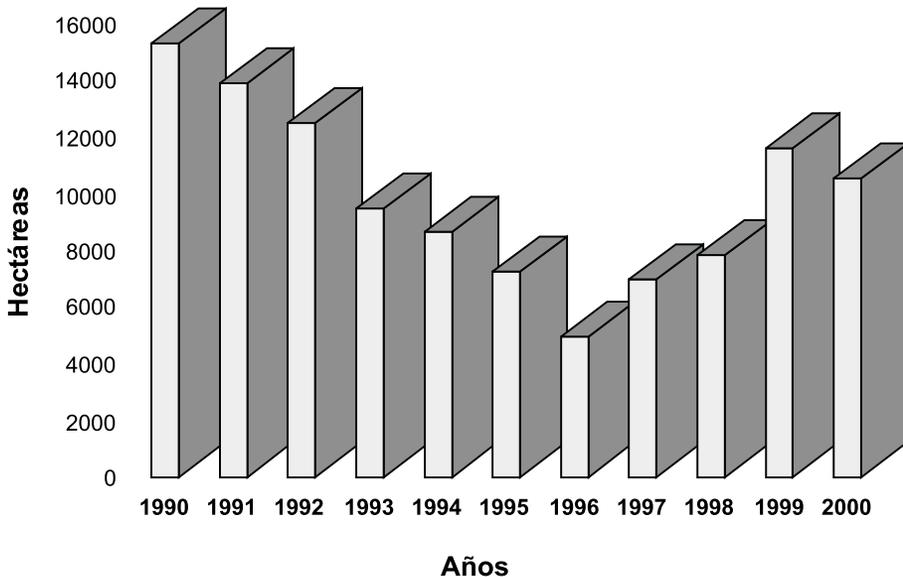


Figura 5.1. Superficie bajo manejo con *P. megacephala* (Cuba, 2002)

consideraba esta práctica como componente del manejo integrado del tetuán (Castellón *et al.*, 2000).

¿Qué lección puede aprenderse de ese caso? A principios de la década del 90 del siglo pasado se aplicaban 864 000 litros de dimetoato en las 60 000 ha de boniato que como promedio se plantaban cada año y el daño por tetuán era del 16 % (Castellón *et al.*, 2000); esa cantidad representa 5.76 kg de ingrediente activo/hectárea. En 1993 el INIVIT realizó evaluaciones en aproximadamente 10 % a 15 % de las áreas productoras de boniato y concluyó que había daños promedios entre 40 % y 50 %, lo que creó una crisis entre los productores y comenzó un decrecimiento de la superficie dedicada al cultivo en las provincias más afectadas (Castellón *et al.*, 2000).

Para el control de esta plaga existe un conjunto de medidas útiles que se integran en un programa de MIP. Como ya se dijo es posible sustituir plaguicidas por procesos de gestión en la finca y el manejo de *P. megacephala* es una de esas prácticas de gestión que está disponible desde mediados de los años 80 del siglo pasado y que además puede ser sostenible en el tiempo ya que no depende de recursos externos.

Crisópidos. La producción masiva de crisópidos se limita a unos pocos CREEs. La estrategia principal para ese grupo de depredadores es la conservación. En un estudio realizado durante tres años en organopónicos de Ciudad de La Habana se detectó la existencia en éstos de nichos de enemigos naturales; una de las medidas de conservación adoptadas fue el traslado de los artrópodos benéficos de un cultivo a otro, lo que permitió la reducción de fitófagos. Con dos a tres liberaciones de *Nodita firmini* Navás, a dosis de 2.5 y 3.3 larvas/m² en pepino, y 1.3 larvas/m² en rosas se logró disminuir la población de áfidos en pepino de grado 5 a 1 y en rosas de grado 4 a 1 (Rijo *et al.*, 2001).

Las especies de crisopas más abundantes en Cuba son *Chrysopa exterior* Navás, *Chrysopa cubana* Hagen, *Chrysopa habana* Navás, *Nodita dimidia* Navás y *Nodita firmini* Navás (Rijo, 2003); con algunas de esas especies se realizaron investigaciones que incluyeron la biología, determinación de la capacidad depredadora, dinámica poblacional en diferentes cultivos, dietas para adultos y larvas y compatibilidad con medios biológicos (Rijo *et al.*, 1997). También se ha determinado la susceptibilidad de sus poblaciones a los plaguicidas (Rijo, 1984; Pérez *et al.*, 1987; Pérez, 1989).

Acaros fitoseídos. En Cuba el interés por los ácaros fitoseídos como posibles agentes de control comenzó en los años 80 del siglo pasado, al detectarse en numerosos estudios de dinámica poblacional que poseían

buena sincronización de sus movimientos poblacionales con las de sus posibles presas, además de una alta frecuencia de aparición y gran abundancia relativa en comparación con otros depredadores. Los fitoseidos tienen como atributos efectivos una alta movilidad y pequeño tamaño lo cual les permite llegar a cualquier sitio de la planta y ejercer un control eficiente. En los años 90 se estudió la biología de las especies promisorias y su efectividad como agentes de control biológico. Las investigaciones desarrolladas demostraron que *Phytoseiulus macropilis* (Banks) es un depredador eficiente de la araña roja (*Tetranychus tumidus* Banks) en viveros de plátano, lo cual permitió contar con una alternativa biológica para sustituir las aplicaciones de acaricidas sintéticos (Ramos y Rodríguez, 1995; Ramos, 2000).

También se evaluó su efectividad para el control de *Panonychus citri* (McGregor) (ácaro rojo de los cítricos), en viveros de cítricos, con resultados igualmente satisfactorios. *P. citri* es una plaga dañina en este agroecosistema y ha mostrado resistencia a los productos químicos de uso frecuente en viveros. Recientemente ante la necesidad de encontrar nuevas alternativas de control para el ácaro blanco *Polyphagotarsonemus latus* (Banks), especie cosmopolita, que causa daños significativos a diversos cultivos de interés agrícola, se evaluó la potencialidad de *Amblyseius largoensis* (Muma), como agente de control biológico y los resultados alcanzados demostraron que *A. largoensis* es una opción viable para el manejo de esa plaga (Rodríguez, 2001). Están considerados también como una posible alternativa para el manejo de *Steneotarsonemus spinki* Smiley, ácaro del vaneado del arroz, de reciente aparición en el país, el cual ha provocado serias afectaciones en los rendimientos (Cuba, 2000).

Para las dos especies se desarrollaron métodos de reproducción masiva eficientes que permiten la obtención de altos volúmenes de biorreguladores con recursos mínimos y se establecieron los parámetros de calidad (Rodríguez, 2001). Si se considera el entorno agrícola cubano donde se privilegia el desarrollo sostenible como una prioridad de Estado y el conocimiento acumulado por diversos especialistas en diferentes instituciones del país, se puede entender bien que la agricultura cubana se encuentra en el momento adecuado para la introducción masiva de esos agentes benéficos; de hecho las superficies dedicadas a la agricultura urbana pudieran ser el paso inicial en este empeño. Sin embargo el futuro a largo plazo debe ser la conservación y manejo de esos depredadores, para que de forma natural ejerzan su acción reguladora sin necesidad de hacer liberaciones masivas.

Tabla 5.5. Parasitoides utilizados en Cuba, plagas que regulan y cultivos donde se liberan.

Cultivos	Plagas	Parasitoides	Inoculativo	Inundativo
Caña	<i>Diatraea saccharalis</i>	<i>Lixophaga diatraeae</i>		x
Caña	<i>D. saccharalis</i>	<i>Trichogramma fuentesi</i>		x
Caña	<i>Elasmopalpus lignosellus</i>	<i>L. diatraeae</i>		x
Caña	<i>Mocis latipes</i>	<i>T. fuentesi</i>		x
Caña	<i>Leucania unipuncta</i>	<i>Eucelatoria</i> sp.	x	
Caña	<i>L. unipuncta</i>	<i>Cotesia flavipes</i>	x	
Caña	<i>M. latipes</i>	<i>Eucelatoria</i> sp.	x	
Caña	<i>Spodoptera frugiperda</i>	<i>Eucelatoria</i> sp.	x	
Caña	<i>S. frugiperda</i>	<i>Archytas monachi</i>	x	
Caña	<i>S. frugiperda</i>	<i>Telenomus</i> spp.	x	
Caña	<i>S. frugiperda</i>	<i>Euplectrus platyhypenae</i>	x	
Caña	<i>D. saccharalis</i>	<i>C. flavipes</i>	x	
Caña	<i>Leucania</i> spp.	<i>Eucelatoria</i> sp.	x	
Pastos	<i>M. latipes</i>	<i>Trichogramma pretiosum</i>		x
Yuca	<i>Erinnyis ello</i>	<i>Trichogramma pintoii</i>		x
Tomate	<i>E. ello</i>	<i>Trichogramma</i> spp.		x
Tabaco	<i>Heliothis virescens</i>	<i>Trichogramma</i> spp.		x
Maíz	<i>Heliothis</i> spp.	<i>Trichogramma</i> spp.		x
Berro, boniato	Lepidópteros	<i>Trichogramma</i> spp.		x
Calabaza, pepino	<i>Diaphania hyalinata</i>	<i>Trichogramma</i> spp.		x
Col	<i>Plutella xylostella</i>	<i>Trichogramma</i> spp.		x
Hortalizas	<i>Spodoptera</i> spp.	<i>Trichogramma</i> spp.		x
Maíz	<i>Spodoptera</i> spp.	<i>Telenomus</i> spp.	x	
Maíz	<i>Spodoptera</i> spp.	<i>Chelonus insularis</i>	x	
Maíz	<i>Spodoptera</i> spp.	<i>E. platyhypenae</i>	x	
Maíz	<i>Spodoptera</i> spp.	<i>Archytas marmoratus</i>	x	
Maíz	<i>Spodoptera</i> spp.	<i>Rogas</i> spp.	x	
Tabaco	<i>H. virescens</i>	<i>Diadegma</i> spp.	x	

Parasitoides

En Cuba los parasitoides han tenido un uso mayor que los depredadores (tabla 5.5), como ya se vio ésta es la tendencia en la mayor parte de los

países que producen medios biológicos. Entre los que más se han reproducido están *L. diatraeae* y *Trichogramma* spp.

***Lixophaga diatraeae*.** En octubre de 1945 se inauguró en el Central “Mercedes” el primer laboratorio para la reproducción y comercialización de *L. diatraeae*, a continuación se abrieron otros tres, en los Centrales “Conchita”, “Soledad” y “Perseverancia” (Fernández, 2002). Puede afirmarse que en esos laboratorios están los antecedentes de los actuales programas de control biológico y de los Centros Reproductores de Entomófagos y Entomopatógenos.

Los años 50 del siglo XX concluyeron sin que se lograra establecer la producción de otros agentes de control biológico; a pesar que en 1934 Scaramuzza trabajó en la multiplicación artificial de *Paratheresia claripalpis* (otro taquinido procedente del Amazonas brasileño) y de *M. minense* en 1939. No es hasta la década de los 60 que la producción masiva de entomófagos recibe un nuevo impulso con la entrada en producción de otro parasitoide: *Trichogramma* spp.

Entre los años 1960-1980 se desarrollaron nuevas tecnologías y se incrementaron las producciones en los laboratorios existentes y así en abril de 1980 el Ministerio del Azúcar (MINAZ) estableció el Programa Nacional de Lucha Biológica contra el bórer, que ya en 1995 contaba con 50 Centros Reproductores, en los que se habían alcanzado liberaciones anuales de hasta 78 millones de moscas en 1.6 millones de hectáreas (Fuentes *et al.*, 1998). La producción en esos centros se diversificó y actualmente se producen otros agentes de control biológico, incluyendo entomopatógenos.



Fig. 5.2 Producción masiva de larvas de *G. mellonella*, hospedante alternativo de *L. diatraeae*



Fig. 5.3 Pupas de L. diatraeae desarrolladas sobre larvas de G. mellonella

La producción masiva de *L. diatraeae* se puede realizar sobre su hospedante natural (*D. saccharalis*) o lo que es más común, sobre un hospedante alternativo. El hospedante alternativo más utilizado en Cuba es la polilla de los apiarios *Galleria mellonella* L. (figuras 5.2, 5.3 y 5.4). Para los dos hospedantes se desarrollaron metodologías de reproducción. Uno de los aspectos que más se estudió fue la efectividad del parasitoide en condiciones de campo; dos elementos considerados claves para el éxito son la norma o dosis óptima (Castellanos y Rijo, 1983) y el método más idóneo para su liberación (Rijo y Castellanos, 1983; Rego *et al*, 1990; Castellanos, 1995). La determinación de ambos y su



Fig. 5. 4 Jaula de apareamiento para la cría masiva de L. diatraeae CREE Pablo Noriega Quivican

aplicación han permitido que se alcancen porcentajes de parasitismo superiores al 80 %.

Trichogramma. Los avances obtenidos en la producción masiva de la mosca cubana despertaron el interés en el estudio de otros parasitoides. En los años 60 del siglo pasado Salvador de la Torre y Callejas comenzó a desarrollar investigaciones con especies autóctonas de *Trichogramma*, conducentes a su identificación y a conocer su biología, reproducción y comportamiento en condiciones de campo. Esos estudios aportaron muchos de los conocimientos básicos que se utilizaron posteriormente para el desarrollo de una tecnología de producción masiva. En Cuba se han identificado siete especies de *Trichogramma*: *Trichogramma fuentesi* Torre, *Trichogramma sudhae* Torre, *Trichogramma oatmani* Torre, *Trichogramma pintureani* Rodríguez y Galán, *Trichogramma pintoi* Voegelé, *Trichogramma pretiosum* Riley y *Trichogramma rojasi* Nagaraja y Nagarkatti (Fuentes, 1994).

Trichogramma es el parasitoide que en mayor cantidad se produce y libera en Cuba; en la actualidad se produce en más de 60 países (Fuentes, 1998). Existen tres alternativas para la producción masiva: la industrial, con la utilización de huevos artificiales; el sistema mecanizado, basado en las biofábricas desarrolladas en la ex Unión Soviética y el sistema artesanal que es el utilizado en Cuba.

El número de hospedantes sobre los cuales se realiza la producción masiva es grande, entre estos están *Sitotroga cerealella* (Olivier) (polilla de los cereales), *Corcyra cephalonica* (Stainton) (polilla del arroz almacenado), *Galleria mellonella* L. (polilla de los apiarios), *Ephestia kuehniella* (Zeller) (polilla gris de la harina), *Mocis* spp. (falso gusano medidor), *Pieris brassicae* L., *Samia cynthia* Drury (gusano de seda) y huevos artificiales. El más productivo (excepto los huevos artificiales) es *S. cerealella*, con éste se logra alcanzar una productividad de 0.9 g/kg de cebada infestada, por el principio de jaula Flanders (Fuentes, 1994). Están establecidos los parámetros para el control de calidad del parasitoide y del hospedante.

El método de liberación más utilizado en Cuba es el manual. El parasitoide se libera en los estadios de huevo y adulto. Las dosis de liberación fluctúan en un intervalo muy variable, que va desde 5 000 hasta 8 millones de individuos por hectárea. Estas diferencias en las dosis responden a varios factores, entre los que están la plaga a controlar; su densidad poblacional, cuando existe una densidad poblacional baja se debe realizar la liberación de un número mayor de individuos; el tipo de cultivo, hay cultivos que impiden una distribución rápida de *Trichogramma*, todos aquellos cultivos donde el parasitoide pueda transitar por el follaje sin obstáculos favorecen su disper-

Manejo ecológico de plagas

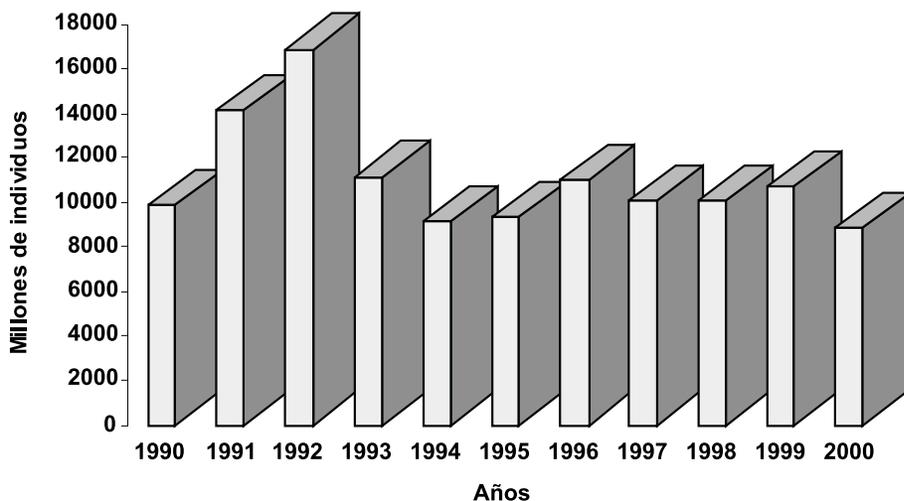


Figura 5.5. Producción de *Trichogramma* spp. en CREEs del MINAG (Cuba, 2002)

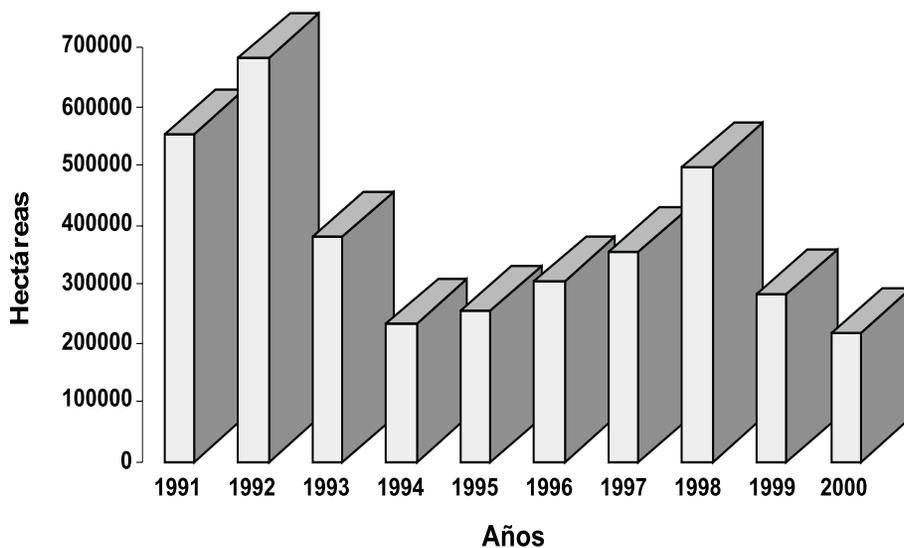


Figura 5.6. Superficie beneficiada con liberaciones de *Trichogramma* (Cuba, 2002)

sión, por ejemplo caña de azúcar, algodónero, maíz, frutales, pastos y hortalizas entre otros; y por último está la especie de *Trichogramma* que se libera (hay especies más agresivas que otras) (Fuentes, 1998).

La base del programa de cría masiva y liberación es la colecta de biotipos locales. En la tabla 5.5 se relacionan los organismos objeto de manejo con *Trichogramma* spp. y otros entomófagos. Resulta interesante la diversificación que se ha alcanzado con el uso de este parasitoide de huevos, que ha sido muy exitoso en yuca y pastos. Esto es posible precisamente por el adecuado manejo de ecotipos y un sólido sistema de control de la calidad de las producciones. En la figura 5.5 aparecen las producciones de los últimos años en los CREEs del MINAG y en la figura 5.6 la superficie de cultivos que se ha beneficiado con la liberación del parasitoide.

Investigaciones y desarrollo de otros parasitoides

En la década de los 90 del siglo pasado se intensificaron las investigaciones con este grupo de entomófagos con la finalidad de disponer de un número mayor de agentes de control biológico dada la necesidad de incrementar la sustitución de plaguicidas que ya se había producido. Un interés muy especial se prestó a la investigación de los parasitoides del complejo *Spodoptera* (Dueñas y Jiménez, 1996; Rojas, 2000; Gómez *et al.*, 2000). Se realizaron estudios biológicos y se desarrollaron metodologías para la reproducción masiva de *Telenomus* spp. (Hymenoptera: Scellionidae), parasitoide de huevos de *S. frugiperda*; *Euplectrus platyhypenae* Howard (Hymenoptera: Eulophidae), parasitoide larval de *S. frugiperda*, *S. eridania* y *Leucania* spp.; *Archytas marmoratus* (Townsend) (Diptera: Tachinidae), parasitoide larvo-pupal de *S. frugiperda* y *L. unipuncta*; *Chelonus insularis* (Cress.) (Hymenoptera: Braconidae), parasitoide ovo-larval del complejo *Spodoptera*; *Rogas* spp. (Hymenoptera: Braconidae), parasitoide larval del complejo *Spodoptera* y *Eucelatoria* spp. (Diptera: Tachinidae), parasitoide larval de *S. frugiperda* y *L. unipuncta* (Grillo y Gómez, 1989; Caballero y Marín, 1996; Armas *et al.*, 1996; Gómez y Grillo, 1999; Gómez *et al.*, 1999; Caballero, 1999).

Los estudios desarrollados permitieron comenzar la producción masiva de *Telenomus* spp. y *E. platyhypenae* en 1994 en las provincias de La Habana, Villa Clara y Sancti Spiritus, en 1996 los dos parasitoides fueron incluidos en el programa de manejo integrado de la palomilla del maíz. En la provincia de Villa Clara hasta el 2000 se habían beneficiado con la liberación de éstos un total de 4 867 ha (Rojas, 2000).

Las estrategias de investigación y desarrollo de artrópodos benéficos han considerado los estudios básicos de biología, ecología y etología en los agroecosistemas de los organismos nativos y de algunos introducidos, en busca del conocimiento necesario para su conservación y reproducción masiva, lo cual ha hecho posible su introducción en los programas de MIP en un grupo numeroso de cultivos y la disminución del grado de dependencia de los plaguicidas químicos. Los beneficios ecológicos, sociales y económicos de ésta política son incuestionables.

BIBLIOGRAFÍA

- Armas, J. L.; J. L. Ayala; J. G. Valdés; Rosa E. Gómez; R. Sánchez. 1996. Optimización del sistema de reproducción masiva de *Telenomus* spp. p. 48-41. *En: Resúmenes IV Encuentro Nacional Científico-Técnico de Bioplaguicidas y IV ExpoCREE*. INISAV. La Habana, Cuba.
- Bedford, E.C.G.; C.J. Cilliers. 1994. The role of *Aphytis* in the biological control of armoured scale insects on citrus in South Africa, p. 143-149. *In: D. Rosen (ed.), Advances in the Study of Aphytis (Hymenoptera: Aphelinidae)*. Academic Press. London, UK.
- Caballero, Susana. 1999. Estudio biológico sobre *Euplectrus platyhypenae* Howard (Hymenoptera: Eulophidae). *Fitosanidad* 3 (1): 43-48.
- Caballero, Susana; R. Marín. 1996. *Rogas nees*, control biológico de la palomilla del maíz. p. 48. *En: Resúmenes IV Encuentro Nacional Científico-Técnico de Bioplaguicidas y IV ExpoCREE*. INISAV. La Habana, Cuba.
- Carver, M. 1988. Biological control of aphids. p. 141-165. *In: A.K. Minks; P. Harrewijn (eds.), Aphids: their biology, natural enemies and control*. Vol. C. Chapman and Hall. New York, U.S.A.
- Castellanos, S.J.A. 1995. Innovaciones al método tradicional de reproducción y liberación de *Lixophaga diatraeae* (Townsend) (Diptera: Tachinidae). p. 50. *En: Resúmenes III Encuentro Nacional Científico-Técnico de Bioplaguicidas y III Expo-CREE*. INISAV. La Habana, Cuba.
- Castellanos, S.J.A.; Esperanza Rijo. 1983. Determinación de la norma de liberación más adecuada de *Lixophaga diatraeae* (Townsend) (Diptera: Tachinidae) como biorregulador de *Diatraea saccharalis* en caña de azúcar. *Ciencia y Técnica de la Agricultura. Protección de Plantas* 6 (1): 103-110.
- Castellón, María del C.; A. Morales; Lilián Morales; N. Maza; Dania Rodríguez; H. Fuentes. 2000. Uso de feromonas para el control de

- Cylas formicarius* F. en Cuba. p. 81-98. *En*: Ingrid Arning; A. Lizárraga (eds.), Control Etológico: Uso de feromonas, trampas de colores y luz para el control de plagas en la agricultura sostenible. Ediciones RAAA. Lima, Perú.
- Castiñeiras, A. 1986. Aspectos morfológicos y ecológicos de *Pheidole megacephala*. Tesis en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias de La Habana. La Habana, Cuba: 97 p.
- Castiñeiras, A.; S. Caballero; G. Rego; M. González. 1982. Efectividad técnico-económica en el empleo de la hormiga leona *Pheidole megacephala* (F) en el control del tetuán del boniato *Cylas formicarius elegantulus*. Ciencia y Técnica de la Agricultura. Protección de Plantas (Suplemento): 101-109.
- Clausen, C. P. 1940. Entomophagous Insects. McGraw-Hill, New York, U.S.A: 688 p.
- Cuba. 2000. Plagas exóticas aparecidas en el territorio nacional, atacando cultivos de importancia económica cuya llegada al país no siguen los patrones de distribución natural o no se encontraban presentes en América Latina. Daños y perjuicios económicos ocasionados. Presentación ante el Tribunal Cuba demanda al Gobierno de Estado Unidos por daños y perjuicios al pueblo de Cuba. Ministerio de la Agricultura. Centro Nacional de Sanidad Vegetal. La Habana, Cuba.
- Cuba. 2001. Programa de Defensa Fitosanitaria en el Cultivo de la Papa. Centro Nacional de Sanidad Vegetal. Ministerio de la Agricultura. La Habana, Cuba: 12 p.
- Cuba. 2002. Producción de medios biológicos. Departamento de Estadísticas del Centro Nacional de Sanidad Vegetal. Ministerio de la Agricultura. La Habana, Cuba.
- Doutt, R.L. 1964. Biological characteristics of entomophagus adults. p.145-167. *In*: P. DeBach (ed.), Biological Control of Insect Pests and Weeds. Reinhold, New York, U.S.A.
- Doutt, R.L.; P. DeBach. 1968. Algunos conceptos y preguntas sobre control biológico, p.152-175. *En*: P. DeBach (ed.), Control Biológico de Plagas de Insectos y Malas Hierbas. Editorial Continental S.A. D.F, México.
- Dueñas, Marta; Roquelina Jiménez. 1996. Comportamiento de la fauna benéfica de los cultivos de maíz y calabaza en la Provincia de Cienfuegos. p. 50-51. *En*: Resúmenes IV Encuentro Nacional Científico-Técnico de Bioplaguicidas y IV ExpoCREE. INISAV. La Habana,

Cuba.

- Fernández, N. 2002. Scaramuzza Pandini: Una personalidad en la historia de la sanidad vegetal. *Fitosanidad* 6 (2): 51-61.
- Fleschner, C.A. 1950. Studies on searching capacity of the larvae of three predators of the citrus red mite. *Hilgardia* 20:233-265.
- Fuentes, A.; Violeta Llanes; F. Méndez; R. González. 1998. El control biológico en la agricultura sostenible y su importancia en la protección de la caña de azúcar en Cuba. *Phytoma* 95:24-26.
- Fuentes, F. 1994. Producción y uso de *Trichogramma* spp. como regulador de plagas. Ediciones RAAA, Lima: 193 p.
- Fuentes, F. 1998. Producción masiva de *Trichogramma* en Cuba. p. 317-335. *En*: T.A. Lizárraga; C.U. Barreto; J. Hollans (eds.), Nuevos aportes del control biológico en la agricultura sostenible. Resultados del II Seminario-Taller Internacional: Aportes del control biológico en la agricultura sostenible y I Congreso Latinoamericano de la Sección Regional Neotropical de la Organización Internacional de Control Biológico. Ediciones RAAA, Lima, Peru.
- Gómez, J.; H. Grillo. 1999. Especies de Diptera, Tachinidae parasitando larvas de *Leucania* spp. (Lepidoptera: Noctuidae) en caña de azúcar. *Centro Agrícola* 26 (2): 33-34.
- Gómez, J.; H. Grillo; Maribel García. 1999. Aspectos sobre biología de *Eucelatoria* sp. (Diptera: Tachinidae). *Centro Agrícola* 26 (2): 29-32.
- Gómez, J.; J. A. Rojas; H. Grillo. 2000. Taquínidos parásitos de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) Lepidoptera: Noctuidae en maíz (*Zea mays* L.). *Centro Agrícola* 27 (3): 79-80.
- Grillo, H.; J. Gómez. 1989. *Leucania* spp. nuevo hospedante de *Archytas marmoratus* (Townsend) (Diptera: Tachinidae). *Centro Agrícola* 16 (2): 88-90.
- Hunter, C.D. 1994. Suppliers of beneficial organisms in North America. California Environmental Protection Agency. Department of Pesticides Regulation. Environmental Monitoring and Pest Management Branch. Sacramento, California.
- O'Hara, R.J. 1985. Oviposition strategies in the Tachinidae, a family of beneficials parasitic flies. *Agriculture and Forestry Bulletin*, University of Alberta 8: 31-34.
- Pérez, Nilda; E. Collazo; G.P. Chikwenhere. 1987. Efecto de cinco plaguicidas sobre huevos y larvas de *Chrysopa cubana*. *Revista Protección de Plantas* 2: 226-233.
- Pérez, J. 1989. Efecto tóxico de varios plaguicidas sobre huevos y larvas

- de *Chrysopa cubana*. Tesis en opción al Título de Ingeniero Agrónomo. Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias de La Habana "Fructuoso Rodríguez Pérez". La Habana, Cuba: 46 p.
- Pérez, Nilda; Josefina Gómez. 1999. Informe final de Tarea 02, Manejo agroecológico de plagas en cultivos varios. Proyecto 00200065, Manejo agroecológico de la producción de alimentos en el sector cooperativo. Universidad Agraria de La Habana. La Habana, Cuba: 8 p.
- Ramos, Mayra. 2000. Control de *Tetranychus tumidus* mediante *Phytoseiulus macropilis* en viveros de plátano. Manejo Integrado de Plagas 58: 54-60.
- Ramos, Mayra; H. Rodríguez. 1995. Eficiencia en el control de *Tetranychus tumidus* Banks por *Phytoseiulus macropilis* en plátano: Prueba de casa de malla. Revista Protección Vegetal 10: 207-211.
- Rego, G.; D. Collazo; A. Borges. 1990. Efectividad técnico-económica de métodos alternos de liberación de *Lixophaga diatraeae* y *Trichogramma* en el control biológico de *Diatraea saccharalis* en caña de azúcar. Ciencia y Técnica de la Agricultura. Protección de Plantas 12 (2): 25-29.
- Rijo, Esperanza. 1984. Susceptibilidad de *Chrysopa* spp. a insecticidas químicos en condiciones de campo. p. 22. En: Resúmenes de Primera Jornada Científico Técnica de Sanidad Vegetal. La Habana, Cuba.
- Rijo, Esperanza. 2003. Utilización de los entomófagos en Cuba. p. 73-82. En: L. L. Vázquez; Ingrid Paz (eds.), Manejo Integrado de Plagas en la Producción Agraria Sostenible, Curso Taller para agricultores y extensionistas. CID-INISAV. La Habana, Cuba.
- Rijo, Esperanza; Nidia Acosta; C. T. Rodríguez. 1997. Aspectos de la biología de crisópidos y su posible utilización como reguladores de fitófagos. p. 33. En: Ponencias del XII Forum de Ciencia y Técnica. La Habana, Cuba: 33 p.
- Rijo, Esperanza; Nidia Acosta; Mayda Mollineda; Viviana Acosta. 2001. Manejo de enemigos naturales y fitófagos en organopónicos. En: Resúmenes del II Congreso Latinoamericano de la Sección Regional Neotropical de la Organización Internacional de Control Biológico. Matanzas, Cuba: 132.
- Rijo, Esperanza; S.J.A. Castellanos. 1983. Liberación de *Lixophaga diatraeae* (Townsend) en estado pupal y algunos aspectos que la favorecen o limitan. Ciencia y Técnica de la Agricultura. Protección de Plantas 12 (4): 61-70.
- Rodríguez, Héctor. 2001. potencialidad de *Amblyseius largoensis* (Muma) como agente de control biológico de *Polyphagotarsonemus latus* (Banks). Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias

- Agrícolas. Ministerio de Educación Superior. La Habana, Cuba: 96 p.
- Rodríguez, Teresita. 2001. Incremento y diversificación de los enemigos naturales mediante el uso de barreras de maíz en solanáceas. p.137-138. *En*: Resúmenes IV Encuentro de Agricultura Orgánica. ACTAF. La Habana, Cuba, mayo 2001.
- Rojas, J. A. 2000. *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) en maíz, enemigos naturales, empleo de ellos en la lucha contra esta plaga dentro de una agricultura de bajos insumos. Resumen de Tesis en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. Universidad Central de Las Villas "Marta Abreu", Villa Clara, Cuba: 27 p.
- van den Bosch, R.; A.D. Telford. 1964. Environmental modification and biological control. p. 459-488. *In*: P. DeBach (ed.), Biological control of insect pests and weeds. Chapman and Hall, London, U.K.
- van den Bosch, R.; P.S. Messenger. 1973. Entomophagous Insects, p. 35-45. *In* R. van den Bosch; P.S. Messenger (eds.). Biological Control. Intext Press, New York, U.S.A.
- Van Driesche, R.G.; T.S. Bellows. 1996. Parasitoids and Predators of Arthropods and Molluscs. p.37-65. *In*: R. G. Van Driesche; T.S. Bellows (eds.), Biological Control. Chapman and Hall. New York, U.S.A.
- Waage, J.K.; D.J. Greathead (eds.). 1986. Insect parasitoid. Academic Press. London, U.K.
- Wharton, R.A. 1993. Bionomic of the Braconidae. Annual Review Entomology 38: 121-143.
- Williams, T.; A. Polaszek. 1996. A re-examination of host relations in the Aphelinidae (Hymenoptera: Chalcidoidea). Biological Journal of the Linnaean Society 57: 35-45.

Capítulo VI

CONTROL MICROBIAL DE ARTRÓPODOS

INTRODUCCIÓN

El papel que juegan los entomopatógenos en el manejo de plagas en los sistemas agrícolas sostenibles ha sido ampliamente discutido. El control microbial es una parte del control biológico que utiliza microorganismos o sus productos para regular las poblaciones de plagas de insectos y de otros organismos que se incluyen en esta categoría. En los últimos 25 años, el interés en dicho método aumentó grandemente, pues representa una alternativa muy valiosa al uso de los plaguicidas de síntesis química, aspecto esencial cuando se trata de sistemas agrícolas en proceso de tránsito hacia la agricultura sostenible, tal como quedó demostrado en las transformaciones que sufrió la agricultura cubana en la década de los 90 del siglo pasado. El control microbial no sólo es significativo para la producción orgánica, éste es trascendental para la implementación de otros sistemas de producción donde se quiera desarrollar una agricultura más sana y sienta las bases - junto a otras prácticas- para el manejo ecológico de plagas. En este capítulo se muestra una breve síntesis de la historia del control microbial, se presentan los grupos principales de microorganismos a partir de los cuales se han desarrollado agentes de control biológico y se expone parte de la experiencia cubana.

CONTROL MICROBIAL

Este término fue utilizado por primera vez por Edward Steinhaus en 1949 y se refiere al desarrollo de técnicas de control que involucran a alguno de los microorganismos (o parte de éstos) que causan enfermedades infec-

ciosas a los insectos (Tanada y Kaya, 1993). A los productos utilizados en el control microbial se les denomina plaguicidas microbianos o plaguicidas biorracionales, ya que son muy diferentes de los plaguicidas sintéticos convencionales.

Historia

La síntesis histórica del desarrollo del control microbial que se presenta aquí esta basada en el capítulo 1 del libro "Insect Pathology" de Tanada y Kaya (1993). Las primeras observaciones documentadas de las enfermedades de los insectos datan de épocas muy remotas; en los años 2700 a.n.e los chinos describieron las enfermedades del gusano de seda, fueron los primeros en identificar a los hongos *Cordyceps* e *Isaria* como los causantes de la muerte del gusano de seda y de las cicadas; los ascocarpos de *Cordyceps* crecen de una forma tan notable sobre los cadáveres de los insectos que se le llamó «gusano-planta-chino». Los egipcios hicieron jeroglíficos en los que representaron abejas enfermas, 500 años más tarde (2200 a.n.e). En la antigua Grecia (384-322 a.n.e.), Aristóteles observó que las abejas sufrían enfermedades que les causaban la muerte, las cuales describió en su libro "Historia Animalium".

A principios del siglo XVIII (1709) Vallisnieri publicó lo que se ha considerado el primer reporte sobre enfermedades de insectos. Éste se refirió a enfermedades fungosas, cuestión lógica si se tiene en cuenta que de las afecciones microbianas son éstas las más notables. Unos años más tarde (1726) Réaumur clasificó e ilustró el primer patógeno de insectos de que se tiene noticias, un hongo del género *Cordyceps* sobre un noctuido, posteriormente se describieron muchos hongos entomopatógenos.

El estudio de las enfermedades de los insectos fue formalmente introducido en el libro «An Introduction to Entomology: Or Elements of the Natural History of Insects», de Kirby y Spencer, publicado en 1826, en éste se dedicó un capítulo completo a las enfermedades de los insectos. La Patología de Insectos comienza a ser considerada como ciencia a partir de 1835 - 1836 cuando Agostino Bassi demostró experimentalmente que un hongo era la causa de una enfermedad infecciosa en el gusano de seda. Él demostró que el hongo crecía y se desarrollaba dentro del insecto vivo, que era la causa de su muerte y que podía ser transmitido a un insecto sano. Este hongo conocido como muscardina blanca fue denominado en su honor *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin.

En 1865 - 1870 Luis Pasteur descubrió los organismos causantes de dos enfermedades del gusano de seda: la pebrina y la flacheria, las cuales fueron asociadas a un protozooario microsporidio (*Nosema bombycis*) y una bacteria. A partir de los trabajos de Bassi y Pasteur comienzan a surgir propuestas de utilizar los patógenos para el control de plagas de insectos, pero esa idea no se llevó a la práctica hasta que en 1879 Elie Metchnikoff -científico ruso- al estudiar las enfermedades de *Anisoplia austriaca* (Herbst) encontró que una de ellas era causada por un hongo, *Metarhizium anisopliae* (Metchnikoff) Sorokin, al cual denominó muscardina verde por el color verde oscuro de las colonias esporuladas. Metchnikoff reprodujo el hongo estableciendo la importancia de la producción artificial para el control de insectos. En 1888 Krassilstchik llegó a producir 55 kg de *M. anisopliae* y aplicó el hongo en el campo para el control del picudo de la remolacha azucarera, *Cleonus punctiventris* (Germar), logrando un porcentaje de control de 55 % a 80 %. Estos resultados hicieron que creciera el interés en el control microbial y dio lugar a que se descubrieran nuevos grupos.

En 1901, Ishiwata aisló una bacteria bacilar de una larva enferma del gusano de seda y atribuyó la causa de la enfermedad a una toxina, la bacteria fue llamada *Bacillus sotto* Ishiwata, pero este nombre no llegó a utilizarse. En 1911 Berliner aisló de la polilla de la harina *Ephestia kuehniella* Zeller (= Anagasta) un bacilo que en 1915 fue nombrado *Bacillus thuringiensis* Berliner; el cual fue aislado nuevamente en 1927 por Mattes.

La introducción accidental del escarabajo japonés *Popillia japonica* (Newman) en 1916, en New Jersey, y su agresividad que se extendió a más de 300 especies de plantas, hizo que se priorizara el estudio de diferentes medidas para su control. Ya en 1921 se conocía que era susceptible a varias enfermedades, una especial atención se prestó a las enfermedades bacterianas, entre las que se encontraban las conocidas como "enfermedades lechosas" producidas por *Bacillus popilliae* Dutky y *Bacillus lentimorbus* Dutky. El énfasis se puso en *B. popilliae*. Los resultados alcanzados en el control de *P. japonica* fueron tales que éste se considera como uno de los primeros casos exitosos de control microbial de plagas de insectos. *B. popilliae* fue el primer patógeno que se produjo comercialmente y también el primero que se aprobó por el gobierno federal de Estados Unidos para su uso contra una plaga de insectos. El nematodo *Steinernema glaseri* (= *Neoplectana*) (Steiner) se aisló de *P. japonica* en 1930 por Glaser y Fox, pero no se utilizó hasta años más tarde.

En 1945 se inauguró el primer Laboratorio de Patología de Insectos, en la Universidad de Berkeley, en California. Al frente de éste fue nombrado el profesor Edward A. Steinhaus (1914 - 1969). Él es considerado el fundador de la nueva patología de insectos y el padre de la patología de invertebrados. En 1950 cuatro de los principales grupos de patógenos, virus, bacterias, hongos y nematodos se utilizaban como agentes de control microbial.

HONGOS ENTOMOPATÓGENOS

La historia de la patología de insectos está íntimamente ligada al descubrimiento de los hongos como causa de enfermedades. Fueron justamente los primeros entomopatógenos en conocerse, debido a la frecuencia de las epizootias naturales y a los síntomas notables asociados con la mortalidad producida por éstos. Son los agentes etiológicos de más del 80 % de las enfermedades que se producen en los insectos. Actualmente se conocen aproximadamente 700 especies que infectan artrópodos que habitan en las plantas, el suelo y el agua. A pesar de tan gran número, sólo alrededor de 25 especies tienen importancia como controles naturales de plagas de interés agrícola y médico.

Las tentativas de manipular los hongos como agentes de control biológico de plagas de insectos comenzaron en el siglo XIX. Los primeros intentos tuvieron un éxito de moderado a pobre; el interés en el uso de entomopatógenos no era grande, esto se aprecia en las limitadas investigaciones básicas y aplicadas realizadas hasta la década de los 60 del siglo XX en que cambia la situación.

Los hongos entomopatógenos se presentan como una de las mejores alternativas para la reducción de los plaguicidas sintéticos. Hasta el momento la industria privada ha sido cautelosa en lo que se refiere a la formulación de micoinsecticidas, son muy pocos los productos comerciales que han salido al mercado y escasas las ventas. El uso de hongos como insecticidas microbiales requiere de la aplicación de cantidades grandes de conidios (aproximadamente de 10^{12} - 10^{13} conidios/ha), de ahí que una de las principales limitantes a resolver para su empleo sea justamente la producción masiva.

Clasificación

Los hongos entomopatógenos se ubican en la División Eumycota, en cinco Subdivisiones. Los pertenecientes a la Subdivisión Mastigomycotina

se caracterizan por formar células móviles (zoosporas), presentar estado perfecto y por la formación de oosporas. Los que se ubican en la Subdivisión Zygomycotina no presentan células móviles; tienen estado perfecto y forman zigosporas. En la Subdivisión Deuteromycotina las células móviles y el estado perfecto están ausentes y forman conidios. La Subdivisión Ascomycotina se caracteriza por presentar estado perfecto y por la formación de ascosporas. En la Subdivisión Basidiomycotina también se presenta el estado perfecto y se forman basidiosporas. Desde el punto de vista del control de plagas agrícolas las clases de mayor importancia son Zygomycetes e Hyphomycetes (tabla 6.1).

Mecanismos de infección

Las enfermedades causadas por hongos se denominan «micosis», según Tanada y Kaya (1993) el desarrollo de una micosis puede ser separado en tres fases:

1. Adhesión y germinación de las esporas sobre la cutícula del insecto.
2. Penetración dentro del hemocele
3. Desarrollo del hongo que culmina con la muerte del insecto.

La mayoría de los hongos entomopatógenos que se conocen son endoparásitos, en éstos la unidad infectiva es una espora en Zygomycotina, zoospora en Mastigomycotina, conidio en Deuteromycotina o ascospora en Ascomycotina, (también pueden ser esclerocios o esporodoquios). Una excepción es *Aegerita* en que el propágulo lo forma un conjunto de células agregadas.

La adhesión de las esporas a la cutícula del insecto es un mecanismo que varía de acuerdo a determinadas características de éstas. Hay esporas que son secas como los conidios de *Beauveria* y *Metarhizium* pero la estructura de la superficie permite la adhesión; otras como en *Hirsutella* y *Verticillium* son lisas y están cubiertas por una capa mucilaginoso que facilita la fijación. La adhesión está correlacionada con la agresividad o especificidad del hospedante, ejemplo *M. anisopliae* sobre escarábidos. En algunos hongos la adhesión es un proceso específico, en otros no. En este proceso tienen lugar interacciones moleculares y fuerzas electrostáticas. El reconocimiento del hospedante está regulado en parte por propiedades físico-químicas de la epicutícula del insecto, las glicoproteínas presentes en ésta pueden servir como receptoras para las esporas.

Tabla 6.1. Principales géneros con especies entomopatógenas (Samson *et al.*, 1988; Tanada y Kaya, 1993; Humber, 1997)

Subdivisión	Clases	Orden	Géneros
Mastigomycotina	Chytridiomycetes	Chytridiales	<i>Coelomycidium</i> <i>Myiophagus</i>
	Oomycetes	Blastocladales Lagenediales Saprolegniales	<i>Coelomomyces</i> <i>Lagenidium</i> <i>Leptolegnia</i> <i>Couchia</i>
Zygomycotina	Zygomycetes	Mucorales Entomophthorales	<i>Sporodiniella</i> <i>Conidiobolus</i> <i>Entomophaga</i> <i>Entomophthora</i> <i>Erynia</i> <i>Massospora</i> <i>Meristacrum</i> <i>Neozygites</i>
Ascomycotina	Hemiascomycetes	Endomycetales	<i>Blastodendrium</i> <i>Metschnikowia</i> <i>Mycoderma</i> <i>Saccharomyces</i>
	Plectomycetes Pyrenomycetes	Ascopherales Sphaeriales	<i>Ascophaera</i> <i>Cordyceps</i> <i>Torubiella</i> <i>Nectria</i> , <i>Hypocrella</i> <i>Calonectria</i> <i>Filariomyces</i>
	Laboulbeniomyces	Laboulbeniales	<i>Hesperomyces</i> <i>Trenomyces</i>
	Laculoascomycetes	Myriangiales Pleosporales	<i>Myriangium</i> <i>Podonectria</i>
Deuteromycotina	Hyphomycetes		<i>Akanthomyces</i> <i>Aschersonia</i> <i>Aspergillus</i> , <i>Beauveria</i> <i>Culicinomyces</i> <i>Engyodontium</i> <i>Fusarium</i> <i>Gibellula</i> , <i>Hirsutella</i> <i>Hymenostilbe</i> <i>Metarhizium</i> , <i>Nomuraea</i> <i>Paecilomyces</i> <i>Paraisaria</i> <i>Pleurodesmospora</i> <i>Polycephalomyces</i> <i>Pseudogibellula</i> <i>Sorospora</i> , <i>Sporothrix</i> <i>Stilbella</i> , <i>Tetranacrium</i> <i>Tilachlidium</i> <i>Tolypocladium</i> <i>Verticillium</i>
Mycelia sterilia			<i>Aegerita</i>
Basidiomycotina	Phragmobasidiomycetes	Septobasidiales	<i>Filobasidiella</i> <i>Septobasidium</i> <i>Uredinella</i>

Una vez fijada la unidad infectiva es preciso que germine. La germinación depende de las condiciones ambientales, fundamentalmente la humedad y la temperatura. La espora al germinar forma un tubo germinativo que sirve como hifa de penetración. En este proceso actúan fuerzas físicas y químicas (enzimáticas); la digestión del integumento ocurre a través de enzimas, en el tubo germinativo se han detectado proteasas, aminopeptidasas, lipasas, esterases y N-acetylglucosamidas (quitinasas) (Hajek y Leger, 1994). El tubo germinativo produce un apresorio que se adhiere a la cutícula con sustancias mucoides; éste secreta sustancias que la degradan permitiendo la penetración de las hifas. Una vez dentro de la cavidad (hemocele), comienzan a funcionar los mecanismos de defensa del hospedante como encapsulación, fagocitosis, compuestos antimicrobiales, lisozimas, aglutininas y melanización, entre otros (Omoto y Alves, 1998). El hongo logra vencer estas defensas produciendo células parecidas a levaduras (denominadas blastosporas), que se multiplican y dispersan rápidamente; desarrollando protoplastos, elementos discretos, ameboideos, sin pared celular que no son reconocidos por los hemocitos del insecto; la dispersión de éstos en el hemocele depende de la especie fungosa.

La producción de toxinas es otro de los fenómenos que ocurre en esa fase (Roberts y Krasnoff, 1998). Los hongos que sintetizan escasa cantidad de toxinas tienen un período de incubación de varios días. Con la muerte del insecto termina el desarrollo parasítico del hongo y comienza la fase saprofítica, el hongo crece en el hemocele formando masas miceliales que salen al exterior fundamentalmente por las regiones intersegmentales.

Bajo condiciones de alta humedad y temperaturas óptimas, el cadáver del insecto se cubre de esporas que serán dispersadas a su vez continuando el ciclo. La gran dependencia del factor humedad es la mayor limitante que presentan los hongos para su utilización en la lucha biológica. Para que se produzca la germinación y esporulación fuera del hospedante se requieren valores de humedad relativa por encima del 90 %.

Producción de toxinas. Las toxinas producidas por los hongos entomopatógenos juegan un papel importante en el modo de acción de éstos. La muerte del insecto se produce con más rapidez cuando es causada por un hongo que produce cantidades apreciables de toxinas, pues a la invasión y destrucción de los tejidos y a las deficiencias nutricionales se le suma la toxemia. La patogenidad está relacionada con la producción de micotoxinas durante el curso de la infección (Alves, 1998; Roberts y Krasnoff, 1998).

Las toxinas pueden ser producidas en medios de cultivo o sobre el hospedante, *B. bassiana* produce ciclodepsipéptidos (beauvericina, bassianólidos, beauverólidos y otros), éstos tienen una toxicidad de baja a moderada contra diferentes insectos. Del hongo *M. anisopliae* se han aislado dos grupos de toxinas: las destruxinas, de las que se conocen 14 diferentes y las citocalasinas (tres diferentes). Un efecto común de las toxinas es la reducción del movimiento de los componentes de la hemolinfa, lo que impide la rápida formación de granulocitos y permite la multiplicación del hongo dentro del hemocele. *Verticillium lecanii* (Zimmerman) Viégas produce al igual que *B. bassiana* la toxina ciclodepsipeptídica, bassianolide y otras como ácido dipicolínico. En la tabla 6. 2 aparece un grupo de toxinas identificadas en hongos entomopatógenos.

Tabla 6. 2 Toxinas producidas por algunos hongos entomopatógenos (Alves, 1998; Roberts y Krasnoff, 1998)

Especie	Toxina	Acción tóxica
<i>B. bassiana</i>	Beauvericina	Larvas de mosquitos, moscas adultas
<i>Paecilomyces fumosoroseus</i>	Beauvericina	Larvas de mosquitos, moscas adultas
<i>P. lilacinus</i> , <i>P. marquandi</i> y <i>P. farinosus</i>	Leucinostatinas	<i>Leptinotarsa decemlineata</i>
<i>B. bassiana</i> y <i>B. brongniartii</i>	Beauverolides	Cucarachas
	Isalorides	?
	Ácido oxálico	?
	Tenellina	?
	Bassianina	?
	Oosporeina	?
<i>B. bassiana</i> y <i>V. lecanii</i>	Bassianolide	Larvas de <i>Bombyx mori</i>
<i>M. anisopliae</i>	Destruxinas	Larvas de <i>B. mori</i> y <i>Galleria mellonella</i>
	Citocalasinas	
<i>M. flavoviride</i>	Viridoxinas	<i>L. decemlineata</i>
<i>Nomuraea rileyi</i> y	Indeterminadas	Larvas de <i>B. mori</i>
<i>Aspergillus flavus</i>	Indeterminadas	Larvas de <i>Culex</i>
	Aflotoxinas	Larvas de <i>B. mori</i>
	Asperentina	
<i>Aspergillus ochraceus</i>	Asporacina	<i>Cecropia</i>
<i>Tolycoladium</i> spp.	Efraeptinas	Mosquitos, <i>L. decemlineata</i>
	Ciclosporinas	Larvas de mosquitos
<i>Hirsutella thompsonii</i> var. <i>thompsonii</i>	Hirsutellinas A y B	<i>G. mellonella</i>
<i>H. thompsonii</i> var. <i>synnematososa</i>	Fomalactona	Larvas de moscas
<i>Cordyceps militaris</i>	Cordycepina	Larvas de <i>Culex pipiens</i> y <i>Aedes aegypti</i>

Principales géneros

En la subdivisión Deuteromycotina se encuentra el mayor número de especies con potencial como agentes de control biológico de insectos, y con mayores posibilidades de uso en los programas de Manejo Integrado de Plagas. Las enfermedades que causan estos hongos se conocen como muscardinas, término que se aplicó por primera vez a *B. bassiana*; la coloración de los conidios es muy variable de ahí el nombre de muscardina verde para *M. anisopliae* y *N. rileyi*, y muscardina roja para *P. fumosoroseus*.

En diversos géneros de la clase Hyphomycetes se encuentran especies de alta virulencia que han sido reproducidas y aplicadas para el control de plagas de insectos, ácaros y nematodos. Se cultivan con relativa facilidad en medios artificiales, incluyendo medios oligídicos de fácil obtención y bajo costo. La mayoría de los hongos registrados para su producción comercial pertenecen a Hyphomycetes (tabla 6. 3). El uso como micoinsecticidas ha estado limitado por problemas tecnológicos relacionados con la producción, formulación, estabilidad en el almacenaje y eficacia; muchos de los productos registrados han dejado de producirse.

En varios países se están produciendo estos hongos por métodos semi-industriales y artesanales, que propician la obtención de biopreparados que si bien no permiten una amplia comercialización si constituyen una valiosa alternativa para el control de plagas en los sistemas de producción orgánicos y los sistemas agrícolas sostenibles.

Beauveria Vuillemin. Este hongo ha sido efectivo en el control de numerosos insectos, se encuentra entre los que tienen mayor rango de hospedantes. Las especies principales son *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin; *Beauveria brongniartii* (Saccardo) Petch y *Beauveria amorpha* Samson & Evans (Humber, 1997). En Asia, Europa y América del Norte se ha aplicado con éxito en el control de *Cydia pomonella* Linnaeus, *Ostrinia nubilalis* (Hübner), *Popillia japonica* Newman, *Leptinotarsa decemlineata* (Say), *Blissus leucopterus* Say y *Pieris brassicae* Linnaeus (Tanada y Kaya, 1993).

Entre los casos de control exitoso en América Latina están *Cylas formicarius* Fabricius, *Cosmopolites sordidus* (Germar), *Hypothenemus hampei* (Ferrari), *Heterotermes tenuis* (Hagen), *Solenopsis* spp. (Castiñeiras *et al.*, 1982; Jiménez, 1998; Alves, 1998). Su producción y aplicación masiva se realiza en varios países. En Brasil, México, Perú, Colombia; Venezuela y Cuba se produce con tecnologías artesanales y se obtiene un biopreparado que se destina al control de varias de las plagas citadas.

Hirsutella Patouillard. Este género incluye alrededor de 30 especies aunque sólo unas pocas tienen potencial en el control microbiano, entre las más importantes están *Hirsutella citrififormis* Speare, *Hirsutella rhossiliensis* Minter et. Brady y *Hirsutella thompsonii* Fisher (Humber, 1997). Se han encontrado cepas de *H. thompsonii* altamente virulentas para el control del ácaro del moho, *Phyllocoptruta oleivora* (Ashmead) (McCoy *et al.*, 1971) y para el ácaro del cocotero *Aceria guerreronis* Keifer (= Eriophyes).

Metarhizium Sorokin. Es otro hongo con extensa distribución y rango de hospedantes tan amplio como *B. bassiana*. Tiene la propiedad de producir toxinas que aumentan su virulencia (tabla 6. 2). Las especies más importantes son *Metarhizium anisopliae* (Metchnikoff) Sorokin var. *anisopliae*, *Metarhizium anisopliae* (Metch.) Sorok. var. *majus* (Johnston) Tulloch y *Metarhizium flavoviride* Gams & Rozsypal. Se ha encontrado infectando lepidópteros, coleópteros, dípteros y homópteros. En Brasil se hace un vasto uso de este hongo para el control de *Diatraea saccharalis* Fabricius (bórer de la caña de azúcar) y de *Mahanarva posticata* Stål (salivazo de la caña de azúcar). Desde la década de los años 80 del siglo pasado se produce en ese país un biopreparado, por tecnologías artesanales, conocido como Metaquino, con un bajo costo y estableciendo estándares mínimos de control de calidad.

Nomuraea Maublanc. *Nomuraea rileyi* (Farlow) Samson está entre las especies principales. Tiene un rango de hospedantes muy limitado, cerca del 90 % pertenecen al orden Lepidoptera, familia Noctuidae (especialmente larvas) (Humber, 1997; Alves, 1998). Ha sido muy efectivo en el control de *Heliothis zea* (Boddie) (Ignoffo y García, 1987), *Heliothis virescens* (Fabricius) (Ignoffo *et al.*, 1989) y *Trichoplusia ni* (Hübner) (Ignoffo y Boucias, 1992). En el cultivo de la soya es frecuente encontrar epizootias causadas por este hongo sobre *Anticarsia gemmatalis* Hübner en períodos lluviosos. Las epizootias pueden ser inducidas. En Brasil es una práctica común la inducción de epizootias para controlar a *H. zea*; para lograrlo distribuyen cadáveres infectados a una dosis de 3 360 cadáveres/ha. En Cuba éste es uno de los hongos que se recomienda utilizar en el manejo integrado de la palomilla del maíz, *Spodoptera frugiperda* J.E. Smith (Piedra *et al.*, 1997; García, 1998). *Nomuraea atypicola* Yasuda es otra especie importante (Ignoffo y Boucias, 1992; Humber, 1997).

Paecilomyces Bainier. A diferencia de los otros géneros anteriormente mencionados en *Paecilomyces* se han reconocido un número mayor de especies, Samson (1974) reconoció 31 especies; las más comunes son

Paecilomyces fumosoroseus (Wize), *Paecilomyces farinosus* (Holm ex S.F. Gray) Brown & Smith y *Paecilomyces lilacinus* (Thom.) Samson (Humber, 1997). Aunque se ha encontrado sobre insectos de varios ordenes su hospedante principal son larvas del orden Lepidoptera. *P. lilacinus* presenta elevado potencial en el control de nematodos (López, 1995) y *P. fumosoroseus* se ha utilizado en invernaderos para el control de moscas blancas y áfidos.

***Verticillium* Nees per Link.** La especie más común es *Verticillium lecanii* (Zimmerman) Viégas; es conocido como el hongo de halo blanco por la sintomatología característica de su infección. Tiene un radio de acción limitado, lo más frecuente es encontrarlo sobre insectos del orden Homoptera (áfidos, moscas blancas y escamas); también se ha encontrado infectando insectos de los órdenes Coleoptera, Diptera, Hymenoptera, Thripidae y sobre ácaros eriofidos (Tanada y Kaya, 1993; Humber, 1997; Alves, 1998). Ejerce además acción antagonista sobre hongos que producen las enfermedades conocidas como royas (Alarcón y Carrión, 1994). En cafeto es muy común encontrarlo en regiones húmedas infectando a la vez la guagua verde, *Coccus viridis* (Green) y sobre las pústulas de *Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome (González, 2001). Los mejores resultados de control de plagas de insectos con biopreparados de este patógeno se han obtenido en invernadero ya que en esas condiciones de temperatura y humedad regulada y reducida radiación solar ofrecen un excelente potencial para el control de plagas.

BACTERIAS ENTOMOPATÓGENAS

En el control microbioal las bacterias entomopatógenas juegan un papel protagónico, específicamente *Bacillus thuringiensis* Berliner. Aproximadamente 90 % de las ventas de agentes de control microbioal corresponde a productos que tienen como base esta bacteria.

En comparación con otros grupos de entomopatógenos son pocas las bacterias que provocan algún daño a los insectos; estos daños se conocen como bacteremia, septicemia y toxemia. La bacteremia ocurre cuando la bacteria se multiplica en la hemolinfa del insecto sin la producción de toxinas; existen bacteremias no patogénicas. La septicemia cuando la bacteria invade el hemocele, se multiplica, produce toxinas y el insecto muere; sucede con bacterias patógenas y la toxemia acontece cuando la bacteria está confinada al lumen estomacal y allí produce toxinas (Tanada y Kaya, 1993).

Manejo ecológico de plagas

Tabla 6.3 Hongos entomopatógenos que han sido registrados y comercializados como insecticidas microbianos (elaborado por la autora a partir de diversas fuentes)

Hongos	Insecto	Nombre comercial	Productor/País
<i>Aschersonia aleyrodis</i> <i>Beauveria bassiana</i>	Moscas blancas	Aseronija	All Union Ex, URSS
	Coleópteros	Biotrol FBB	Nutrilit Products, USA
	<i>Leptinotarsa decemlineata</i> y otras plagas	Boverin	Glavmikrobioprom, ex URSS
	Termitas	Boveril	Itafor, Brasil
	Termitas	Boveriol	Tecnicontrol, Brasil
	<i>Leptinotarsa decemlineata</i> y otras plagas	Boverol	Ex Checoslovaquia
	Varios insectos	Naturalis	Feromone-Troy Biosciences, U.S.A
			Agrichem S.A., España
	Mosca blanca, trips, saltamontes	Mycotrol	Mycotech, U.S.A
	Mosca blanca, trips, saltamontes	BotaniGard	Mycotech, U.S.A
	Varios insectos	None	China
	Varios insectos	Bauveril	Colombia
	<i>Hypothenemus hampei</i>	Brocaril	Colombia
	<i>Lissorhoptrus brevisrostris</i>	<i>B. bassiana</i>	INISAV, Cuba
	<i>Cylas formicarius</i> <i>Pachnaeus litus</i> <i>Cosmopolites sordidus</i> <i>Atta insularis</i>	BIBISAV-2	INISAV, Cuba
<i>Beauveria brongniartii</i>	<i>Melolontha melolontha</i> <i>Premnotrypes solani</i>	Engerlingspitz	Andermatt Biocontrol, Suiza
	Varios insectos	Destruxin	INIA, Peru
	Saltamontes y langostas	Green Muscle	Colombia Sud Africa
<i>Metarhizium anisopliae</i>	Insectos habitantes del suelo	Bio 1020	Bayer, Alemania
	Cicadas	Biocontrol	Agroceres, Brasil
	Termitas	Bio-Blast	EcoScience, U.S.A.
	<i>Adoryphorus couloni</i>	BioGreen	Bio-CareT., Australia
	Cicadas	Biotec	Biotec, Brasil
	Cicadas	Biomax	Labormax, Brasil
	Cicadas	Combio	Combio, Brasil
	Cicadas	Metabiol	Tecnicontrol, Brasil
	Cicadas	Metaquino	CODECAP, Brasil
	Cicadas	Metarril	Itafor, Brasil
	Cicadas	Arroz+hongo Asplana, IPA, Brasil	Planalsucar, ESAL/USP, IB,
	<i>Lissorhoptrus brevisrostris</i> <i>Cosmopolites sordidus</i> <i>Mocis</i> spp. <i>Prosapia bicincta fraterna</i>	<i>M. anisopliae</i>	INISAV, Cuba
<i>Verticillium lecanii</i>	Áfidos	Vertalec	Tate and Lyle, Inglaterra
	Moscas blancas	Mycotal	Tate and Lyle, Inglaterra
	Moscas blancas y áfidos	Microgermin	Koppert, Holanda
	Varios insectos	Verticillium	NPO Vector, Rusia

Clasificación

Dentro de las bacterias entomopatógenas se encuentran bacterias facultativas y obligadas. La mayoría son facultativas, son las más conocidas (ejemplo *B. thuringiensis*). Los dos primeros tipos de bacterias están representados en la familia *Bacillaceae* (tabla 6. 4), a ésta pertenecen las especies más estudiadas y utilizadas como agentes de control microbial.

Familia Bacillaceae

Las bacterias de esta familia tienen como característica común presentar células vegetativas alargadas en forma de bastón, ser Gram positivas y formar endosporas. Tiene dos géneros con especies entomopatógenas: *Bacillus* y *Clostridium*, este último se diferencia del primero en que es anaeróbico obligado. A la célula donde se forma la spora se le denomina «*esporangio*»; para algunas especies la formación de la spora va acompañada de la formación de un cristal proteico denominado cuerpo parosporal que es el responsable de la acción insecticida. El género *Bacillus* es el que mayor potencial presenta en el control microbiano de insectos, los principales especies son *B. thuringiensis*, *B. sphaericus* y *B. popilliae* (Thiery y Frachon, 1997).

Tabla 6. 4 Clasificación de bacterias entomopatógenas más conocidas (Thiery y Frachon, 1997)

División	Familia	Género	Especie
Gracilicutes (Gram -)	Pseudomonaceae	<i>Pseudomonas</i> spp.	<i>P. aeruginosa</i> <i>P. fluorescens</i>
	Enterobacteriaceae	<i>Serratia</i> sp.	<i>S. marcescens</i> <i>S. entomophila</i>
	Deinococcaceae	<i>Melissococcus</i> sp.	<i>M. pluton</i>
Firmicutes (Gram +)	Bacillaceae	<i>Bacillus</i> sp.	<i>B. alvei</i> <i>B. larvae</i> <i>B. laterosporus</i> <i>B. lentimorbus</i> <i>B. popilliae</i> <i>B. sphaericus</i> <i>B. thuringiensis</i>
		<i>Clostridium</i> sp.	<i>C. bifementans</i>

Bacillus thuringiensis

Las diferentes subespecies de *B. thuringiensis* difieren en su espectro de acción tóxica por lo que se propuso separarlas en patotipos. El patotipo A incluye las razas que son patógenas para insectos del orden Lepidoptera, el B a las que resultan patógenas para insectos del orden Diptera y el patotipo C las que infectan insectos del orden Coleoptera. El cuerpo parasporal varía en su forma al variar el patotipo de la bacteria. Hasta 1997 se habían identificado 63 razas de *B. thuringiensis* de acuerdo al serotipo H (Thiery y Frachon, 1997).

Producción de toxinas. Una de las características más notables de *B. thuringiensis* es que produce toxinas. La denominación de éstas se ha hecho según el alfabeto griego. Las primeras toxinas identificadas fueron α -exotoxina, β -exotoxina, γ -exotoxina y δ -endotoxina.

La δ -endotoxina es la más importante de todas; es sintetizada en forma de protoxina durante el proceso de esporulación dentro de la célula vegetativa. La protoxina aparece como una inclusión cristalina y se considera una característica constante para las diferentes variedades de *B. thuringiensis*.

La β -exotoxina es una toxina termoestable, secretada por algunas variedades durante la fase de crecimiento vegetativo, se le denomina «factor mosca», «toxina mosca», «toxina termoestable», «toxina estable al calor» y «thuringiensin». El hecho de que *B. thuringiensis* sea capaz de producirla hace que su radio de acción sea más amplio, se han encontrado especies susceptibles a ésta en los ordenes Diptera, Lepidoptera, Hymenoptera, Coleoptera, Isoptera y Orthoptera; el estado larval siempre es más susceptible que el adulto (Habib y Andrade, 1998).

El radio de acción tan amplio es un elemento importante a tener en cuenta en el manejo de plagas, pues los enemigos naturales pueden afectarse; la β -exotoxina también resulta letal para insectos pertenecientes a los órdenes Hemiptera y Neuroptera. Larvas de *Chrysoperla carnea* Stephens (= *Chrysopa*) murieron después de ingerir huevos de *Sitotroga cerealella* tratados con la β -exotoxina, lo mismo ocurrió a chinches que se alimentaron con larvas de *Helicoverpa zea* (= *Heliothis*) (Kiselev, 1975 citado por Tanada y Kaya, 1993).

La β -exotoxina posee propiedades mutagénicas y teratogénicas, además es tóxica a los vertebrados, por lo que las subespecies que la producen no se tienen en cuenta en la mayoría de las formulaciones comerciales de *B. thuringiensis* (Tanada y Kaya, 1993; Habib y Andrade, 1998). Exis-

ten evidencias de heterogeneidad entre las β -exotoxinas, lo que se manifiesta en las diferencias de toxicidad hacia diferentes organismos plaga y los mamíferos, por esa razón es tan importante la identificación de éstas (Carreras *et al.*, 1997).

Modo de acción. Para explicar el modo de acción de la δ -endotoxina se han propuesto varias hipótesis, para conocer éstas ver Chilcot *et al.* (1990). A continuación se describe el proceso de forma general y simplificada.

Cuando la larva ingiere la protoxina ésta se solubiliza en el ambiente alcalino del intestino y es procesada a la forma tóxica por la acción de las proteasas digestivas del insecto, seguidamente se produce la unión de las toxinas a receptores que se encuentran en la membrana intestinal del insecto susceptible.

Se han realizado ensayos donde ha quedado demostrado que existe una correlación estricta entre la unión de las toxinas al receptor del insecto blanco y la toxicidad; también se ha encontrado que no es suficiente que la toxina se una al receptor para que mate al insecto, lo cual quiere decir que existen otros factores involucrados en el mecanismo de acción de la toxina. La unión entre la toxina y el receptor desequilibra la estructura de la membrana y «abre» un poro por el que penetran cationes, seguido de agua.

El exceso de agua en el citoplasma de las células epiteliales provoca una distensión hasta que la célula revienta, cuando esto sucede el contenido del mesenteron (altamente alcalino) pasa a la hemolinfa (con pH casi neutro), a la vez que la hemolinfa va hacia el lumen del mesenteron. El aumento del pH de la hemolinfa hace que la larva se paralice al cesar la conducción nerviosa y al disminuir el pH del contenido estomacal se favorece la germinación de las esporas produciéndose una septicemia.

Sintomatología. *B. thuringiensis* necesita ser ingerido para que lleve a cabo su efecto tóxico. Los primeros síntomas externos son la pérdida del apetito, regurgitación y diarreas; la pérdida del brillo del tegumento; ocurre disfunción intestinal y se presenta parálisis del tracto digestivo. Las larvas pierden agilidad y el tegumento se torna de color marrón oscuro; finalmente algunas sufren parálisis total antes de morir. Después de la muerte que ocurre entre 18 y 72 horas el cadáver adquiere coloración oscura y los tejidos se descomponen rápidamente (Habib y Andrade, 1984). Los estudios histopatológicos realizados en las células del epitelio intestinal han permitido conocer los síntomas internos; ocurre degradación de las microvellosidades apicales, vacuolización del citoplasma y lisis celular.

***Bacillus sphaericus* Neide**

Tiene potencial en el control de plagas de interés en Salud Pública, es muy específico, limitándose a larvas de mosquitos, especialmente del género *Culex*. Produce una protoxina de naturaleza proteica que debe ser ingerida por las larvas en su medio acuático. El mecanismo de acción es muy similar al de *B. thuringiensis*. Crece fácilmente en medios artificiales y por su capacidad saprofítica se mantiene más tiempo en el hábitat acuático que las cepas de *B. thuringiensis* var. *israilensis*.

***Bacillus popilliae* Dutky**

Es un patógeno obligado, además específico; causa la llamada «*enfermedad lechosa*» en escarábidos ya que su característica más notable es el aspecto lechoso de la hemolinfa de las larvas infectadas debido a la gran cantidad de esporas de la bacteria que circulan por ésta. Tiene importancia desde el punto de vista histórico ya que fue el primer organismo entomopatógeno registrado como bioinsecticida en 1948. La infección de las larvas se produce por ingestión. Aunque al igual que *B. thuringiensis* produce un cuerpo parasporal bipiramidal, no está claro cuál es el papel de éste en el desarrollo de la enfermedad. Una vez ingerida la bacteria, cuando llega al intestino medio las esporas germinan y se reproducen, iniciándose la infección en el epitelio intestinal que rápidamente pasa a la hemolinfa.

VIRUS ENTOMOPATÓGENOS

Entre los principales grupos de entomopatógenos se encuentran los virus, más de 700 enfermedades virales han sido reportadas en muchas especies de insectos. El mayor énfasis se ha puesto en la identificación de virus aislados de insectos plaga de los cultivos agrícolas y forestales, especialmente de los órdenes Lepidoptera e Hymenoptera. A pesar de que el estudio de las enfermedades virales se inició en fecha tan lejana como 1527 y que en la década de los años 50 del siglo pasado quedó demostrada la utilidad de éstos como agentes de control de insectos plaga, no es hasta principios de 1980 que se intensifican las investigaciones con los virus entomopatógenos, cuando comienza a pensarse en la necesidad de hacer un mayor uso de los productos biológicos.

La primera definición de virus entomopatógeno tuvo como base su tamaño submicroscópico y su patogenicidad obligada (Poinar y Thomas,

1984). Posteriormente a la definición se incorporaron dos cualidades: la posesión de su propio material genético, y la presencia de un estado infectivo submicroscópico, el virión, el cual sirve como vehículo para la introducción del genoma viral dentro de la célula (Tanada y Kaya, 1993). Los virus entomopatógenos están constituidos por un ácido nucleico (ADN o ARN, de cadena simple o doble), que contiene la información genética del virus y una cubierta de naturaleza proteica que envuelve al ácido nucleico.

Estructura viral

El ácido nucleico está envuelto por proteínas compuestas de subunidades llamadas capsómeros, las que forman una capa llamada cápside. Al ácido nucleico más la cápside se le denomina nucleocápside. La nucleocápside se encuentra rodeada de una membrana que se construye a partir del material celular del artrópodo hospedante. A ese conjunto de nucleocápside + envoltura se le denomina virión. El virión es la unidad infectiva del virus (Tanada y Kaya, 1993).

Esa unidad infectiva del virus puede estar ocluida en un cuerpo de inclusión (CI), o puede ser un virus no ocluido; o sea, una partícula viral libre; esta diferencia morfológica ha sido aprovechada para facilitar la identificación. En el caso de los virus ocluidos la membrana proteica puede envolver una o más nucleocápsides y ésta a su vez es envuelta por una membrana de naturaleza proteica; a ese conjunto también se llama cuerpo de inclusión poliédrica (CIP). Los CI reciben diferentes denominaciones; se les llama poliedros en los virus de la poliedrosis nuclear (VPN) y de la poliedrosis citoplasmática (VPC); gránulos o cápsulas en los virus de la granulosis (VG) y esferoides en los Entomopoxvirus (Adams, 1991).

Clasificación

Las primeras clasificaciones de los virus entomopatógenos se hicieron teniendo en cuenta la morfología de los cuerpos de inclusión, viriones y grupos de hospedantes. En el año 1960 se constituyó un Comité Internacional para la Taxonomía de los Virus, conocido como ICTV por sus siglas en inglés, en esa ocasión se propuso un sistema de clasificación que consideraba en orden de importancia: el tipo de ácido nucleico, la forma de la partícula (helicoidal, isométrica, o compleja) y la presencia

o ausencia de membrana (Ribeiro *et al.*, 1998). La segunda reunión de este Comité se celebró en 1995, en ésta fue acordada la clasificación que se muestra en la tabla 6. 5. Los virus que tienen más posibilidades de uso en el control biológico pertenecen a las familias Baculoviridae (baculovirus), Reoviridae (cypovirus) y Poxviridae (entomopoxvirinae) (Evans y Shapiro, 1997).

Familia Baculoviridae

La mayor parte de los virus aislados de insectos pertenecen a la familia Baculoviridae (alrededor de 600) (Tanada y Kaya, 1993). Es la más importante por la frecuencia con que aparecen los baculovirus produciendo infecciones letales; por haber sido aislados de artrópodos solamente y por no estar relacionados con los virus que producen enfermedades en los vertebrados y en las plantas, -tal como sucede con otras familias-; por producir cuerpos de inclusión que protegen a los viriones de condiciones ambientales adversas, favoreciendo una mayor permanencia en el campo; y por un rango estrecho de hospedantes que hace posible su uso en programas de Manejo Integrado de Plagas.

La familia Baculoviridae se caracteriza por la presencia de una cadena doble de ADN y viriones baciliformes. Está representada por dos géneros, *Nucleopolyhedrovirus*, conocido como Virus de la Poliedrosis Nuclear (VPN) y *Granulovirus* (Virus de la Granulosis) (Murphy *et al.*, 1995). Los VPN y VG tienen viriones ocluidos en CI formados de una proteína cristalina denominada poliedrina y granulina respectivamente (Evans y Shapiro, 1997).

Los viriones dentro de los poliedros pueden presentarse como una nucleocápside con envoltura individual, en este caso se denomina Virus de la Poliedrosis Nuclear Simple (VPNS); o como múltiples nucleocápsides en una sola envoltura, Virus de la Poliedrosis Nuclear Múltiple (VPNM). El nombre genérico se forma con el nombre del tipo de virus y del insecto hospedante del que se aisló; por ejemplo, *Autographa californica nucleopolyhedrovirus* (AcVPNM). Esa nomenclatura se presta a confusiones pues aunque los virus son altamente específicos pueden encontrarse infectando diferentes especies de insectos, el AcVPNM que es uno de los que mayor rango de hospedantes tiene, se ha encontrado en 43 especies del orden Lepidoptera (Payne, 1986). Las especies tipo para los VPN son *B. mori* para los VPNS y *A. californica* para los VPMN. En los virus pertenecientes al género *Granulovirus* el virión contiene una sola nucleocápside y

Tabla 6. 5 Clasificación de los virus que se replican en insectos (Murphy *et al.*, 1995).

Familia	Ac. Nucleico/tipo cadena	Género
Poxviridae		
Subfamilia Entomopoxvirinae	ADN cadena doble	<i>Entomopoxvirus</i> A, B y C
Iridoviridae	ADN cadena doble	<i>Iridovirus</i> , <i>Chloriridovirus</i>
Baculoviridae	ADN cadena doble	<i>Nucleopolyhedrovirus</i> , <i>Granulovirus</i>
Polydnaviridae	ADN cadena doble	<i>Ichnovirus</i> , <i>Bracovirus</i>
Parvoviridae	ADN cadena simple	<i>Densovirus</i> , <i>Iteravirus</i> , <i>Contravirus</i>
Reoviridae	ARN cadena doble	<i>Cypovirus</i> , <i>Phytoreovirus</i> , <i>Fijivirus</i> , <i>Oryzavirus</i>
Birnaviridae	ARN cadena doble	<i>Entomobirnavirus</i>
Rhabdoviridae*	ARN cadena simple	<i>Cytorhsbdovirus</i> , <i>Nucleorhabdovirus</i> , <i>Vesiculovirus</i> , <i>Lyssavirus</i> , <i>Ephemerovirus</i>
Bunyaviridae*	ARN cadena simple	<i>Bunyavirus</i> , <i>Hantavirus</i> , <i>Nairovirus</i> , <i>Phlebovirus</i> , <i>Tospovirus</i>
Picornaviridae**	ARN cadena simple	<i>Tenuivirus</i>
Caliciviridae**	ARN cadena simple	
Nodaviridae**	ARN cadena simple	
Tetraviridae**	ARN cadena simple	<i>Nodavirus</i>
Flaviviridae**	ARN cadena simple	<i>Nudaurelia capensis</i>
Togaviridae**	ARN cadena simple	<i>Flavivirus</i> <i>Alphavirus</i> , <i>Rubivirus</i>

*Orden Mononegavirales (senso negativo), **Orden Mononegavirales (senso positivo)

se encuentra ocluido en un pequeño poliedro en forma individual. La especie tipo es el de *Plodia interpunctella* (Hübner) (PiVG) (Adams y McClintock, 1991).

Modo de infección. La vía principal de entrada de un virus entomopatígeno en el cuerpo del insecto es el aparato bucal; penetran junto con la comida. Como excepción puede ocurrir la transmisión a través de los huevos (transoval); el hábito de determinadas larvas de comer el corión del huevo después del nacimiento facilita la transmisión de virus que se encuentran en éste. Aunque menos frecuente que esta última puede ocurrir infección transovarial (cuando existe contaminación interna del huevo). Las lesiones producidas por parasitoides

pueden ser una vía de entrada para los virus que no poseen CI y de la granulosis, así como los espiráculos (Granados, 1980; Adams y McClintock, 1991).

Las condiciones de alcalinidad (pH de 9.5 a 11.5) que prevalecen en el estómago de la mayoría de las larvas de los insectos y la presencia de enzimas hidrolíticas permiten que ocurra la disolución de la matriz proteica y la liberación de los viriones (Granados, 1980). Los viriones se ponen en contacto con las microvellosidades del intestino y liberan las nucleocápsides en las células epiteliales para ir a replicarse en el núcleo (VPN y VG) o en el citoplasma (VPC) (Adams y McClintock, 1991). Los entomopoxvirus entran al citoplasma por fagocitosis y dentro de éste se liberan de la envoltura y ocurre la replicación (Goodwin *et al.*, 1991). Después de ésta, algunas partículas adquieren envoltura y quedan incluidas en una matriz proteica para formar los poliedros; la gran cantidad de poliedros dentro de la célula provoca el rompimiento de la pared celular infectando las células adyacentes para continuar la infección de los tejidos susceptibles. En esta fase los insectos contaminados liberan cantidades grandes de poliedros con el vómito y las heces fecales que junto a los insectos muertos representan una fuente de inóculo importante para los insectos sanos (Adams y McClintock, 1991).

El 30 % del peso seco de una larva de lepidóptero puede estar representado por poliedros; una larva en el estadio final de la enfermedad puede contener 10^{10} poliedros de VPN o 10^{11} cápsulas de VG (Payne, 1986). La presencia de los virus dentro de su hospedante asegura la transmisión vertical de la enfermedad.

Sintomatología. Los insectos infectados con VPN realizan movimientos lentos y van perdiendo gradualmente el apetito, en el tegumento aparecen manchas, la piel adquiere un tono amarillento y aspecto oleoso. Las larvas presentan geotropismo negativo, antes de producirse la muerte suben a los partes altas de la planta y allí quedan colgando del último par de patas. Después de la muerte ocurre una rápida melanización, el cuerpo se oscurece, la piel se debilita y se produce la ruptura del tegumento (Adams y McClintock, 1991; Moscardi, 1998). Para el caso de los VG la sintomatología puede variar aunque también se observa disminución del apetito, cambios en la coloración y alargamiento del ciclo larval. El tegumento no se desintegra como ocurre con los VPN y aparecen sobre el manchas blanquecinas o amarillo lechosas (Adams y McClintock, 1991).

Familia Reoviridae

Se caracterizan por presentar una cadena doble de ARN. Los virus de esta familia se denominan Virus de la Poliedrosis Citoplasmática (VPC) o cipovirus; éstos presentan un CIP semejante al de los VPN, pero de forma isométrica (Evans y Shapiro, 1997). Se replican en el citoplasma de las células del hospedante. La especie tipo es el VPC de *B. mori*.

El rango de hospedantes comprende lepidópteros, dípteros, himenópteros, coleópteros y neurópteros (Hukuhara, 1985). Infectan solamente las células del intestino medio. A diferencia de los baculovirus no reducen rápidamente las poblaciones de insectos, más bien son patógenos enzoóticos. En las larvas atacadas por cipovirus ocurre atraso en el crecimiento y decoloración, gradualmente dejan de alimentarse y presentan diarreas y regurgitación, pero el integumento no se rompe como ocurre en los baculovirus.

Familia Poxviridae

Son los virus de mayor complejidad química y morfológica. Causan enfermedades en los vertebrados y los insectos. Los que infectan a los insectos se agrupan en la subfamilia Entomopoxvirinae, con tres géneros: *Entomopoxvirus* A, en coleópteros, la especie tipo es el virus de *M. melolontha*; *Entomopoxvirus* B, en lepidópteros y ortópteros, su especie tipo es el virus que infecta a *Amsacta moorei* Butler y el *Entomopoxvirus* C, que se encuentra únicamente en dípteros, la especie tipo es el entomopoxvirus de *Chironomus luridus*. Los entomopoxvirus ocupan el tercer lugar en importancia entre los virus entomopatógenos (Evans y Shapiro, 1997).

Los viriones están constituidos por una cadena doble de ADN. Son virus ocluidos y se replican exclusivamente en el citoplasma de las células del hospedante. Los síntomas pueden manifestarse en órganos específicos, particularmente en el tejido graso, la inflamación de la parte posterior del abdomen, debido a la infección del tejido adiposo, es uno de los síntomas más comunes. También se producen cambios de coloración, los insectos infectados se tornan de color blanquecino o azul brillante (Goodwin *et al.*, 1991).

Uso de virus entomopatógenos

La utilización de los virus en el campo puede ser realizada de cuatro formas diferentes, en dependencia de los objetivos del programa, del

insecto a controlar y de la especie de planta que éste ataca (Starnes *et al.*, 1993):

1. Introducción y colonización en la localidad donde el patógeno no se presenta de forma natural, con lo que se pretende una regulación permanente de la plaga.
2. Introducción del virus de modo que se produzcan epizootias periódicas, no tiene como objetivo el control permanente de la plaga.
3. Manipulación del hábitat y/o empleo del patógeno en aplicaciones inoculativas, buscando aumentar su incidencia natural y su diseminación en la población del hospedante.
4. El uso del virus como un insecticida, que significa la realización de aplicaciones frecuentes a altas concentraciones.

Momento y dosis de aplicación. Las aplicaciones deben ser dirigidas a la fase larval ya que tienen escaso o ningún efecto sobre los adultos, con algunas excepciones como es el caso de *Oryctes rhinoceros L.* La composición etárea de la población de las larvas del hospedante es un factor limitante para el uso de los virus en el campo, ya que la virulencia tiende a disminuir drásticamente con el aumento de la edad del hospedante (Burand y Park, 1992). Además de la composición etárea hay que tener en cuenta también la densidad poblacional. La aplicación se debe realizar antes de que la plaga produzca un daño apreciable en el cultivo, esto también dependerá de la capacidad el cultivo para recuperarse del daño (Moscardi, 1998). Las dosis de aplicación se expresan en número de CIP/ha (para los virus ocluidos). Otra forma muy común de expresar la dosis es en Equivalente Larval (E.L.); El E.L. se refiere al número de larvas muertas que se necesita aplicar para inducir una epizootia. 50 EL/ha del VPNAc equivale a $1.0-1.5 \times 10^{11}$ CIP/ha (Moscardi, 1998).

NEMATODOS PARÁSITOS DE INSECTOS

Del conocimiento de las relaciones entre los insectos y los entomopatógenos, el de los nematodos se cuenta entre los más antiguos. Uno de las primeras descripciones de un nematodo parasitando insectos fue la realizada por Reaumur en 1742 (Nickle y Welch, 1984). Tuvo que transcurrir un largo período de tiempo para que los nematodos tuvieran utilidad práctica, al igual que sucedió con otros grupos de entomopatógenos. No fue hasta 1929 que R. W. Glaser encontró al

nematodo *Steinernema glaseri* (Say) (= *Neoplectana*) infectando al escarabajo japonés *Popillia japonica* Newman. Él fue el primero en cultivarlo sobre un medio artificial y en probarlo en condiciones de campo. En 1955, Dutky y Hough, encontraron a *Steinernema carpocapsae* y realizaron pruebas contra *Cydia pomonella* L. (= *Carpocapsa*) (Tanada y Kaya, 1993). Estos dos acontecimientos fueron el punto de partida para el desarrollo de los nematodos como agentes de control biológico.

Clasificación

La clasificación de la mayoría de los grupos de nematodos, incluyendo aquellos que se relacionan con insectos no es estable a nivel de familia ni de género. La clasificación presentada aquí incluye 30 familias (tabla 6.6); de éstas, solamente siete se consideran con potencial como agentes de control biológico (Kaya y Stock, 1997): Mermithidae, Tetradonematidae, Heterorhabditidae, Steinernematidae, Allantonematidae, Phaenopsitylenchidae y Sphaerulaiidae. La mayor parte de las investigaciones se han concentrado en dos familias, la Steinernematidae y la Heterorhabditidae. Varias especies de *Steinernema* y *Heterorhabditis* han sido utilizadas como agentes de control biológico a escala comercial.

Modo de infección

Los nematodos parasitan a sus hospedantes por penetración directa a través de la cutícula hasta el hemocele o por penetración a través de las aberturas naturales (espiráculos, boca y ano). La infección puede ser pasiva o activa. La infección pasiva ocurre cuando el nematodo coloca sus huevos sobre el alimento del insecto hospedante; los huevos se ingieren junto con el alimento y al eclosionar, las formas infectivas atraviesan el intestino y pasan al hemocele, así acontece en la familia Mermithidae. La infección activa ocurre cuando el nematodo busca a su hospedante y penetra directamente al hemocele a través del integumento (Tanada y Kaya, 1993). La forma en que continúa el proceso de infección estará en función de la especie de nematodo que ataque al insecto. En el caso de *Steinernema* y *Heterorhabditis*, una vez que el juvenil infectivo logra penetrar al hemocele, libera la bacteria asociada, la cual se reproduce en la hemolinfa y produce la muerte del hospedante (Gaugler y Kaya, 1990; Kaya y Gaugler, 1993).

Steinernematidae. Los nematodos pertenecientes a esta familia son patógenos obligados y se caracterizan por mantener una asociación

mutualística con bacterias del genero *Xenorhabdus* (= *Achromobacter*). El complejo nematodo-bacteria es patógeno a muchos insectos en el laboratorio, pero en el campo el rango de hospedantes es limitado (Kaya y Gaugler, 1993). El infectivo juvenil lleva la bacteria en la porción ventricular

Tabla 6. 6 Clasificación de los principales grupos de nematodos asociados con insectos (Kaya y Stock, 1997)

Clase	Orden	Familia	Tipo de asociación
Adenophorea (sin. Aphasmidia)	Mononchida	Plectidiidae	Forética
	Stichosomida	Mermithidae	Parásito obligado
Secernentea (sin. Phasmidia)	Rhabditida	Tetradonematidae	Parásito obligado
		Carabonematidae	Parásito obligado
		Cephalobidae	Forética
		Chambersiellidae	Forética
		Heterorhabditidae	Patógeno obligado
		Oxyuridae	Parásito obligado
		Panagrolaimidae	Forética
		Rhabditidae	Forética, parásito facultativo
	Spirurida*	Steinernematidae	Patógeno obligado
		Syrphonematidae	Parásito obligado
		Thelastomatidae	Parásito obligado
		Filariidae	Parásito obligado
		Onchocercidae	Parásito obligado
		Physalopteridae	Parásito obligado
		Syngamidae	Parásito obligado
		Spiruridae	Parásito obligado
		Subuluridae	Parásito obligado
Diplogasterida	Thelaziidae	Parásito obligado	
	Diplogasteridae	Forética, parásito facultativo	
Tylenchida	Cylindrocorporidae	Cylindrocorporidae	Forética
		Allantonematidae	Parásito obligado
		Aphelenquidae	Forética
	Tylenchida	Aphelenchoididae	Forética, parásito facultativo
		Entaphelenquidae	Parásito obligado
		Fergusobiidae	Parásito obligado
		Phaenopsitylenchidae	Parásito facultativo
		Sphaerulaiidae	Parásito obligado
		Tylenchidae	

*Parásitos animales con insectos como vectores u hospedantes intermediarios

del intestino, después de penetrar en el hemocele ésta se libera en la hemolinfa, se propaga, y mata al hospedante por septicemia en 48 horas. Los nematodos se alimentan de la bacteria y de los tejidos del hospedante, producen de dos a tres generaciones amfimicticas y emergen del cadáver como infectivos juveniles para buscar un nuevo hospedante (Kaya y Stock, 1997). La familia está compuesta por dos géneros, *Steinernema* con 17 especies y *Neosteinerinema* con una especie.

De todos los nematodos estudiados para el control biológico de insectos, los esteinermatidos junto con los heterorabditidos han recibido la mayor atención ya que poseen muchos de los atributos de un agente de control biológico efectivo (Poinar, 1986): un rango de hospedantes amplio; la habilidad para matar al hospedante en un intervalo de 48 horas; la capacidad para crecer sobre medios artificiales; un estado infectivo estable, capaz de mantenerse almacenado; escasos mecanismos de resistencia en el hospedante; y seguros para el ambiente.

Heterorhabditidae. Los heterorabditidos están en asociación mutualística con la bacteria *Photorhabdus luminescens*. Al igual que en Steinernematidae, el infectivo juvenil penetra en el hemocele, libera la bacteria en la hemolinfa y el insecto hospedante muere en 48 horas a causa de la septicemia. Los insectos muertos por heterorabditidos se tornan de color rojo, rojo-ladrillo, púrpura, naranja, amarillo y algunas veces verde y son luminiscentes en la oscuridad debido a la presencia de la bacteria (Kaya y Stock, 1997).

CONTROL MICROBIAL EN CUBA

Uno de los aspectos más notables del manejo de plagas en Cuba es la producción artesanal de microorganismos para el control biológico. La producción masiva de entomopatógenos permite disponer de cantidades apreciables de agentes de control biológico, en la propia localidad agrícola, pues los Centros Reproductores de Entomófagos y Entomopatógenos se encuentran distribuidos por todo el país (figura 6.1) y tienen una capacidad de producción que puede garantizar, cada año, la aplicación de medios biológicos en más del 60 % de la superficie cultivada (figura 6.2).

Hongos entomopatógenos

***B. bassiana*.** Se encuentra entre los primeros patógenos de insectos descritos en Cuba. El primer informe de su presencia fue hecho por



Fig. 6.1 Centro Reproductor de Entomófagos y Entomopatógenos «Pablo Noriega» provincia La Habana

Jhonston en 1917, con el nombre de *Sporotrichum globuliferum* Speg., atacando a *Xyleborus* spp. y *Metamasius hemipterus* Oliver (Jhonston, 1917). Después de *B. thuringiensis* este es el entomopatógeno que mayor uso tiene y el que más se ha producido.

De 1990 a 1999 se habían obtenido por métodos artesanales 5 647 toneladas en los CREE del MINAG (figura 6. 2). Se reproduce en 121 de los 222 CREE que están bajo la dirección del MINAG y en nueve del MINAZ. El método más extendido para su reproducción es sobre soporte

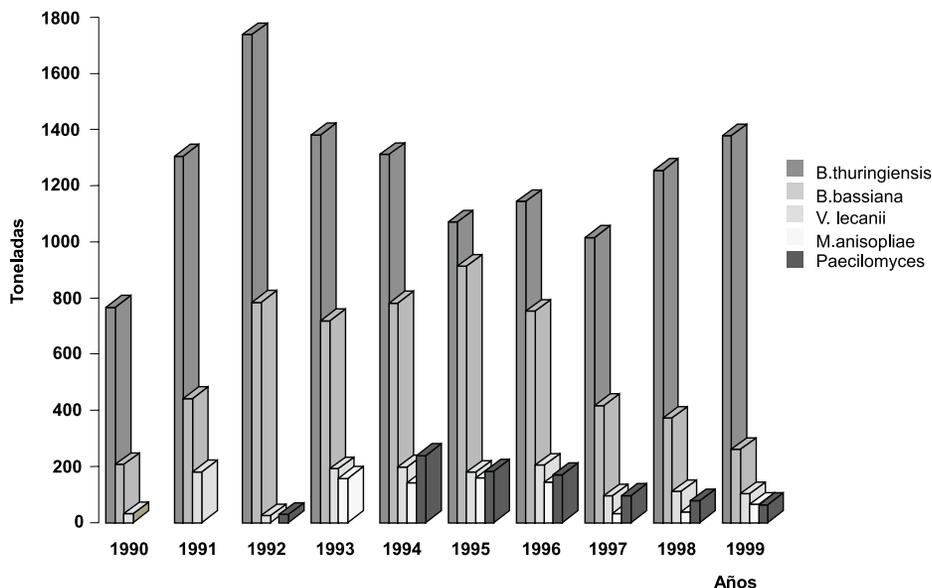


Figura 6.2. Producción de entomopatógenos y antagonistas (t) en CREEs y Plantas de Bioplaguicidas (Cuba, 2002 a)

sólido, el sustrato más utilizado es la cabecilla de arroz (un subproducto de la producción de arroz) en mezcla con bagacillo de caña de azúcar (figura 6.3). El producto así obtenido puede conservarse hasta tres meses, a temperaturas entre 4-10°C. También se produce en medios líquidos, en una mezcla de agua y cabecilla de arroz o utilizando subproductos de la industria azucarera, aunque la tendencia es sustituir el cultivo líquido por el sólido.

Entre las limitantes que tiene la producción en medios líquidos están el tiempo y condiciones de almacenamiento; el tiempo de almacenamiento no sobrepasa los 15 días y se requiere refrigeración, mientras que a escala de planta piloto se ha obtenido un biopreparado en polvo que después de un año de almacenamiento a temperaturas de 4-5 °C mantuvo una viabilidad de $1-5 \times 10^{10}$ UFC/g y un TL_{50} de 3-4 días a una dosis de $1-5 \times 10^7$ UFC/L sobre *Cylas formicarius elegantulus* (Sánchez *et al.*, 1997 b).

Se aplica para el control de *Cosmopolites sordidus* en banano y plátano (tabla 6. 7); basta generalmente con hacer dos aplicaciones al suelo, en un período de un año, a dosis de 10^{12} - 10^{13} conidios/ha para mantener la población del insecto por debajo del umbral económico. En el caso de *C. formicarius* se recomienda la desinfección de los propálugos de boniato (bejuco) destinados a la plantación, mediante la inmersión en una suspensión conidial y la aplicación al suelo. La aplicación al suelo se realiza después de los 30 días de establecido el cultivo; transcurrido ese tiempo es de esperar que exista abundante follaje que garantice la protección contra las radiaciones solares, a la vez que sirve de cubierta al suelo para conservar la humedad tan necesaria para que el patógeno ejerza su acción.

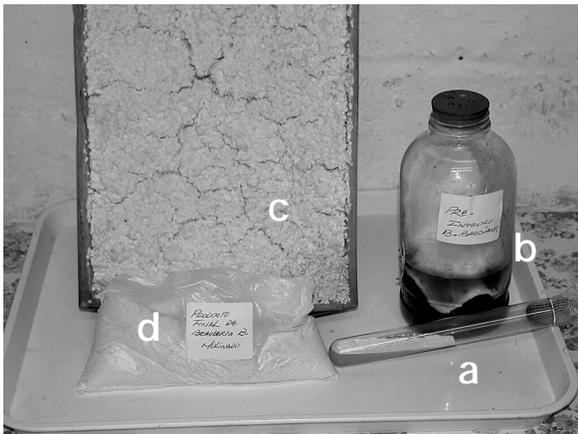


Figura 6.3 Producción masiva de *B. bassiana* en cultivo sólido sobre cabecilla de arroz, a) aislamiento puro, b) inóculo; c) reproducción en bandeja; d) envase del producto final. CREE «Pablo Noriega». La Habana.

B. bassiana también se utiliza en el control del bórer de la caña de azúcar (Estrada, 2001); aplicaciones del hongo combinadas con liberaciones de la mosca cubana contribuyen a una regulación más efectiva del bórer.

Investigaciones recientes desarrolladas en el país han demostrado que tiene potencial para el control de hormigas cortadoras de los géneros *Atta*, *Acromyrmex* y *Attamyces* (Pérez y Trujillo, 2002; Trujillo y Pérez, 2001; Pérez *et al.*, 2001a; Pérez *et al.*, 2001b). Con la aplicación del cebo BIBISAV 2, a dosis de 100 g/m² del bibijagüero, para el control de *Acromyrmex octospinosus* (Reich) se obtuvo después de los 15 días una efectividad del 97 % (Pérez y Trujillo, 2002). Las aplicaciones de BIBISAV-1 y BIBISAV-2 han permitido la sustitución de Mirex. El Mirex es un insecticida clorado que está incluido en la lista de los 12 Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs) (World Wildlife, 2000) y hace algunos años fue retirado del Registro Central de Plaguicidas de la República de Cuba (Cuba, 2001).

***Metarhizium anisopliae*.** Los estudios de *M. anisopliae* se iniciaron en Cuba en la década de los 70 del siglo pasado, pero no es hasta 1993 que comienza a producirse en cantidades mayores y a utilizarse para el control de plagas de insectos en varios cultivos (tabla 6.7); hasta esa fecha su producción y uso era muy limitado. Se reproduce en 10 CREE del MINAG y en tres del MINAZ (Cuba, 2002a).

Al igual que *B. bassiana* se cultiva sobre soporte sólido, básicamente cabecilla y paja de arroz. Cuando se reproduce sobre cabecilla de arroz el producto final después del secado queda con la apariencia de un granulado; el gránulo es la pequeña partícula de arroz recubierta de esporas de hongo. En ese estado puede conservarse hasta tres meses a temperatura de 20°C. De 1993 a 1999 se produjeron 735 toneladas en los CREE del MINAG (figura 6.2).

La aplicación puede realizarse en forma de granulado o como una suspensión de conidios; los conidios pueden ser suspendidos en agua separándolos del soporte sólido. En este último caso hay que tener la precaución de realizar la aplicación antes de transcurridas cuatro horas, pues a partir de ese momento comienza la germinación de los conidios.

***Verticillium lecanii*.** El primer reporte para Cuba de *V. lecanii* data de 1917, se encontró sobre varias especies de cóccidos, principalmente sobre la guagua verde (*Coccus viridis* Green) (Johnston, 1917), la cual se estima su hospedante natural más importante (González, 2001). Se considera uno de los entomopatógenos de mayor importancia, pues aunque su radio de acción no es grande controla insectos que tienen un rango de hospedantes muy amplio y una importancia económica notable.

Después de *B. bassiana* es el entomopatógeno que más se produce en Cuba. La métodos artesanales utilizados para su obtención son muy semejantes a los utilizados para *B. bassiana* y *M. anisopliae*. En la década del 90 del siglo pasado se produjeron 1 311 toneladas en 76 CREE del MINAG (figura 6.2).

Se trabaja en el desarrollo de una tecnología para su producción a escala semi-industrial, que representa un aumento de la productividad de seis veces en comparación con la tecnología artesanal de los CREE (Álvarez *et al.*, 2001). Se aplican en forma líquida sobre el follaje. Las dosis que aparecen en la tabla 6. 8 se ajustan en dependencia de la concentración del producto final para que en cada hectárea se apliquen entre 10^{11} - 10^{12} conidios.

La mayor parte de la producción de *V. lecanii* se destina al control de *Bemisia tabaci* (Gennandius). En 1989-1990 las producciones de tomate y de frijol sufrieron una severa afectación por la mosca blanca y geminivirus; en 1992 se implementó un programa de manejo integrado de la mosca blanca que tiene entre sus componentes principales el uso de *V. lecanii*. Se recomienda su aplicación en tratamientos preventivos desde el inicio del cultivo; se alcanza una efectividad entre el 60-80 % (Murguido *et al.*, 1997).

La acción de *V. lecanii* no se limita al control de plagas de insectos. Se encontró una cepa efectiva en el control de la garrapata del ganado *Boophilus microplus* Canestrini. Se aplica al suelo, en mezcla con *M. anisopliae* en los pastizales infestados, y a los animales en baño garrapaticida alternándolo con los productos convencionales destinados a este fin. También tiene uso potencial en el control de la roya del cafeto (González, 2001; Martínez, 2001), ese aspecto se aborda en el capítulo 7.

Paecilomyces lilacinus. Se comenzó a utilizar como agente de control biológico en la década del 90. El sustrato más utilizado para su reproducción es la cabecilla de arroz, en cultivo sólido; el producto así obtenido tiene una concentración de 10^8 conidios/gramo y puede almacenarse hasta tres meses, a temperaturas entre 10-15°C. Cuando se reproduce en cultivo líquido se obtiene un biopreparado, que a diferencia de los otros hongos entomopatógenos, puede ser almacenado entre uno y dos meses a temperaturas entre 4-10°C (López, 1995). En el año 2002 se producía en 29 CREE (Cuba, 2002a).

El radio de acción de *P. lilacinus* se limita a nematodos. Es muy efectivo en el control de *Meloidogyne* spp. y *Radopholus similis* (Cobb) Thorne en cafeto y plátano (tabla 6.7). Se recomienda que las aplicaciones se realicen con índices de infección bajos o de modo preventivo; de esta forma se puede alcanzar una reducción en las poblaciones de 80 % a 90 %.

Manejo ecológico de plagas

P. lilacinus tiene también efecto ovicida; reduce en 90-95% la viabilidad de los huevos. La primera aplicación en plátano se realiza al hoyo de siembra, a dosis de 40-60 g/hoyo, y a los seis meses posteriores a ésta, a una dosis entre 40-100 g/plantón. La dosis estará en función de los niveles de infección presentes en el momento de la evaluación previa a la aplicación. Cuando se siembran “vitroplantas”, el primer tratamiento se realiza en la

Tabla 6.7 Entomopatógenos producidos y comercializados en Cuba

Hongos	Plagas	Dosis	Cultivos
<i>Beauveria bassiana</i>	<i>Cosmopolites sordidus</i>	1 kg PC/ha, 10 L PC/ha	Banano
Cepa MB-1	<i>Pachnaeus litus</i>	1 L PC/planta	Cítricos*
	<i>Lissorhoptus brevisrostris</i>	3-7 kg PC/ha	Arroz
	<i>Cylas formicarius</i>	1 kg PC/ha, 4.5 L PC/ha, 1 L PC/20 L de agua**	Boniato
	<i>Atta insularis</i>	50-100 g PC/m ² del bibijaguero	Caña de azúcar y otros
	<i>Thrips palmi</i>	1-2 kg/ha	Papa
<i>B. bassiana</i>	<i>Diatraea saccharalis</i>	1 kg PC/ha, 4.5 L PC/ha	Caña de azúcar
<i>Verticillium lecanii</i>	<i>Bemisia tabaci</i>	1 kg PC/ha, 1 L PC/ha	Hortalizas
Cepa LVL-12	<i>Myzus persicae</i>	1-2 kg PC/ha	Papaya
LVL-5	Afidos y mosca blanca	1.5 kg PC/ha	Papa
		1 kg PC/ha, 1 L PC/ha	
	Áfidos y mosca blanca	10 L /ha	
	<i>B. tabaci</i>	1 kg PC/ha	Tomate, pimiento, frijol
	<i>B. argentifolia</i>	2 kg PC/ha	Col
	<i>Brevicoryne brassicae</i>		
<i>Metarhizium anisopliae</i>	<i>L. brevisrostris</i>	3-7 kg PC/ha	Arroz
(Cepa LMa-11)	<i>Tagosodes oryzae</i>		
	<i>Oebalus insularis</i>		
	<i>Spodoptera</i> spp.		
	<i>Spodoptera</i> spp.		Maíz
	<i>Mocis</i> spp.	5 kg PC/ha	Pastos
	<i>Prospapia bicincta</i>	2 kg PC/ha	
	<i>C. sordidus</i>	20 kg PC/ha	Banano
	<i>P. litus</i>		Cítricos
	<i>T. palmi</i>	1-2 kg/ha	Papa, pimiento, frijol y cucurbitáceas
<i>Paecilomyces lilacinus</i>	<i>Meloidogyne</i> spp.	40 g/bolsa, 50-100 g/ planta	Cafeto y banano
(Cepa LBP-1)	<i>Meloidogyne</i> spp.	10-50kg/ha	Hortalizas (Organopónicos)
	<i>Radopholus similis</i>	40 g/bolsa, 50-100 g/ planta	Banano

*Aplicar al suelo en hileras alternas en 50 plantas en una hectárea.

** Concentración recomendada para aplicar a los propágulos en el tratamiento previo a la plantación

bolsa a dosis de 40 g/bolsa, un mes antes de la siembra. En “vitroplantas” de cafeto también se recomienda aplicar en la bolsa, lo cual garantiza que se lleven a la plantación posturas sanas (López, 1995).

El uso de *P. lilacinus* es una alternativa para la sustitución del carbofuran que se aplica en cafeto para el control de *Meloidogyne* spp. y en plátano para el control del picudo negro. El carbofuran es un producto altamente tóxico (Clase Ib, DL50 oral en ratas 8.8 mg/kg); es uno de los plaguicidas más tóxicos para las aves, un solo gránulo puede matar a un ave pequeña; tiene una movilidad extrema en el suelo y posee potencial de lixiviación, se ha detectado en aguas subterráneas en Estados Unidos de Norteamérica (Castillo *et al.*, 1995).

P. lilacinus tiene un uso amplio en la agricultura urbana. Uno de los problemas más críticos que se enfrenta en los organopónicos son las contaminaciones con nematodos, los de mayor importancia económica son los formadores de agallas, en especial *Meloidogyne incognita* (Kofoid y White) Chitwood. La propiedad que tiene este hongo de sobrevivir por largos periodos de tiempo en diferentes sustratos, siempre que se conserve un buen nivel de humedad, ha permitido que en muchos organopónicos se mantengan las poblaciones nematodos en niveles que no causan daño al cultivo (Cuba, 2002b).

Bacterias entomopatógenas

Bacillus thuringiensis. Fue el primer entomopatógeno utilizado en Cuba en condiciones de campo. Las aplicaciones comenzaron a finales de los años 60 del siglo pasado. Las relaciones de colaboración científica con el ex-campo socialista de Europa del Este posibilitaron la entrada al país de productos comerciales en base a *B. thuringiensis*. El tabaco, los pastos y la col están entre los primeros cultivos donde se aplicó. En 1974 se trataron 1350 ha de col con un producto comercial de *B. thuringiensis* var. *kurstaki*, para el control de *Trichoplusia ni*. El éxito obtenido en el control de *T. ni*, del cogollero del tabaco (*Heliothis virescens*) y el gusano falso medidor de los pastos (*Mocis* spp.) estimuló el interés en este entomopatógeno y en el control microbial. Se desarrollaron investigaciones con cepas importadas, a la vez que se obtuvieron aislamientos en diferentes lugares del país.

B. thuringiensis es el entomopatógeno que mayor uso tiene y el que más se ha producido. En la década del 90 del siglo pasado se produjeron 12 335 toneladas por métodos artesanales e industriales (figura 6.2). El método más utilizado para su reproducción es el cultivo líquido estático,

en un sustrato que puede estar compuesto por jugos de frutas, jugos de vegetales o melazas (residuos del proceso de fabricación de caña de azúcar). El uso de uno u otro sustrato estará en dependencia de la disponibilidad en la localidad donde se encuentre el CREE. Por esta tecnología se obtiene un biopreparado con una concentración de $1-6 \times 10^8$ esporas y cristales/ml. El período de almacenamiento es de dos meses a temperaturas por debajo de 25°C. *B. thuringiensis* se produce actualmente en 114 CREE atendidos por el MINAG (Cuba, 2002a).

En 1993 terminó la construcción de la primera planta de biopreparados. La tecnología utilizada en las tres plantas en funcionamiento es el cultivo sumergido en fermentadores; se obtiene un biopreparado en forma de fluido concentrado, al que se adicionan preservantes (ácido sórbico y alumbre están entre los mejores) lo que permite que puedan ser almacenados a temperatura ambiental durante seis meses (Fernández-Larrea *et al.*, 1997; Fernández-Larrea, 1999). Se producen cuatro cepas que son usadas en una amplia variedad de cultivos para el control de un grupo importante de insectos, de nematodos y de diferentes grupos de ácaros, entre los que están los ácaros fitófagos, ácaros ectoparásitos de aves (*Megninia gynghimura* y *Ornithonyssus sylviarum*), y el ácaro de las colmenas de abejas (*Varroa jacobsoni* Oud.). También se ha determinado la efectividad biológica de varios aislamientos sobre *C. formicarius* y está en desarrollo un producto para el control de coleópteros (tabla 6. 8) (Carreras *et al.*, 1997; Fernández-Larrea, 1999; Fernández *et al.*, 2000; Rijo *et al.*, 2001; Márquez *et al.*, 2001a, 2001b, 2001c; Fernández *et al.*, 2001).

Virus entomopatógenos.

Los éxitos alcanzados en la investigación, producción y uso de hongos, bacterias y nematodos entomopatógenos contrastan con los discretos avances en la investigación y desarrollo de virus entomopatógenos. Entre los factores que determinan esa situación está el hecho de que el número de instituciones y de científicos que se dedican a las investigaciones con virus es relativamente pequeño.

Entre los resultados obtenidos se destacan el aislamiento y caracterización de varias cepas de Virus de la Poliedrosis Nuclear (VPN) de *T. ni*, *Manduca sexta* L., *S. frugiperda* y *H. virescens* y el desarrollo de una metodología para la reproducción del VPN de *H. virescens* y de *S. frugiperda*. La metodología está basada en la multiplicación del virus sobre las larvas de

Tabla 6.8 Uso de *Bacillus thuringiensis*

Cepas	Plagas	Dosis	Cultivos/animales
Btk (LBT-1)	<i>Plutella xylostella</i> , <i>Trichoplusia ni</i>	5-10 L/ha	Col y berro
	<i>Mocis latipes</i> , <i>Spodoptera</i> spp.	1-2 L/ha	Pastos
Btk (LBT-24)	<i>Spodoptera frugiperda</i>	2-4 L/ha	Maíz y arroz
	<i>Helicoverpa zea</i> , <i>Spodoptera</i> spp.	4-5 L/ha	Hortalizas, raíces y tubérculos
	Minadores, <i>Erinnyis ello</i> , <i>Trichoplusia ni</i> , <i>Diaphania hyalinata</i>	4-5 L/ha	Cucurbitáceas
Btk (LBT-21)	<i>Heliothis virescens</i>	5-10 L/ha	Tabaco
	<i>Manduca sexta</i>		
	<i>Spodoptera</i> spp.	1-5 L/ha	
Bt (LBT-13)	<i>Phyllocnistis citrella</i>	20 L/ha	Cítricos
	<i>Phyllocoptruta oleivora</i>		
	<i>Polyphagotarsonemus latus</i>		
	<i>Tetranychus tumidus</i>	5-10 L/ha	Banano
	<i>Liriomyza trifolii</i>	3-5 L/ha	Papa
	<i>P. latus</i> .		
Bt (LBT-13) (LBT-25)	<i>Megrinia gynglimura</i>	Solución al	Aves
	<i>Ornithonyssus sylviarum</i>	1%*	

*Las aves se sumergen en una solución al 1 % que se prepara a partir de un biopreparado de una concentración de 10^9 esporas y cristales/mL

su hospedante natural o de sustitución. Generalmente se utilizan larvas de *S. frugiperda* que se crían con una dieta artificial o con alimento natural (Ayala y Aquino, 1997).

Los biopreparados en base a VPN se producen en un número limitado de CREE y no está disponible un registro estadístico central de las cantidades producidas, aunque la metodología para su multiplicación está en fase de generalización en varias provincias desde hace varios años; lo que indica que hay limitaciones que necesitan ser identificadas en toda su extensión.

La estrategia actual para el uso de los VPN es la aplicación de los CO a partir de un macerado de insectos muertos, sin purificar. Para la multiplicación se emplean tres variantes: la cría del hospedante natural o de sustitución en el laboratorio, la recolección de insectos sanos en el campo y la colecta de insectos muertos por el virus en el campo. Para utilizar esta última variante se precisa seleccionar localidades donde la incidencia del

hospedante sea elevada, se aplica el virus y se espera entre siete y 12 días para la colecta de los cadáveres. Los cadáveres pueden conservarse en refrigeración por un periodo largo de tiempo. Esta variante es la más económica.

Los VPNSf y VPNHv están insertados en los programas de manejo integrado de *S. frugiperda* y *H. virescens*, en maíz y tabaco respectivamente (Piedra *et al.*, 1997). La primera aplicación del VPNHv en tabaco se realiza a partir de los 15 días del trasplante si en los muestreos realizados se observan puestas de huevos y/o larvas de los primeros instares o con una composición de la población donde las larvas con estadios superiores al 3^{ero} no excedan del 25 % a 30 % del total, pues la composición etárea de la población es determinante en la efectividad de los virus. La dosis de aplicación recomendada es de 100-150 EL/ha (EL= equivalente larval).

La disponibilidad de este grupo de entomopatógenos ha permitido sustituir cantidades apreciables de plaguicidas que están recomendados y aprobados para el control de plagas que son susceptibles a estos microorganismos. Los beneficios ecológicos, económicos y sociales de este manejo son indiscutibles y están por cuantificar. Entre los plaguicidas que han sido sustituidos total o parcialmente se encuentran: dicofol, tamarón, paratión, endosulfán, malatión y la fórmula duple.

En la década de los 90 del siglo XX se alcanzaron avances sustanciales en el desarrollo del control microbial de insectos, ácaros y nematodos. Entre estos destaca la construcción y puesta en marcha de tres plantas para la producción de agentes de control microbial y una planta piloto en el Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal del MINAG. Una de las mayores contribuciones involucra a *B. thuringiensis*; se logró el escalado y producción por cultivo sumergido que fue posible por la construcción de las tres Plantas de Bioplaguicidas; se desarrolló una formulación en polvo; se obtuvieron nuevos aislamientos y se desarrollaron productos para el control de ácaros, nematodos y coleópteros; y se estableció un patrón nacional de referencia para el control de calidad (Carvajal, 1995; Fernández-Larrea *et al.*, 1997; Sánchez *et al.*, 1997a; Fernández *et al.*, 2001; Márquez *et al.*, 2001c, 2001a). Otros hechos importantes fueron el desarrollo de la fermentación en estado sólido para la producción de hongos, el aislamiento de nuevas cepas de nematodos y el perfeccionamiento de las técnicas para su reproducción, el control de ácaros y ectoparásitos con agentes de control microbial, la obtención de nue-

vas cepas de hongos para el control de nematodos, y la elaboración y presentación de los protocolos para el registro de los productos biológicos (López, 1995; Sánchez *et al.*, 1997b; Fernández-Larrea, 1999; Rijo *et al.*, 2001; Márquez *et al.*, 2001a, 2001b).

Entre los factores que han contribuido al éxito de los resultados obtenidos están:

- El interés del Estado en el desarrollo de estrategias de manejo de plagas ambientalmente seguras.
- La existencia de un número elevado de profesionales, con amplia experiencia, vinculados al trabajo de control biológico en las áreas de la investigación, la enseñanza y la implementación en la producción.
- El diseño de programas de investigación que se insertan dentro de los Programas de Investigación Científico-Técnicos Nacionales y que tienen como objetivo principal dar respuesta a las necesidades de la producción agrícola, de modo que se garantice la seguridad alimentaria, con la debida calidad ambiental y además se contribuya al desarrollo humano local. Como se puede apreciar no se trata solamente de implementar una nueva tecnología.
- El hecho de que el control biológico no se ha utilizado como una estrategia aislada, sino que se ha insertado en los programas de Manejo Integrado de Plagas establecidos, como uno de sus componentes principales.
- La amplitud de las relaciones de colaboración, intercambio e integración entre instituciones de investigación, académicas y productivas.
- El nivel de organización y la infraestructura que soporta la actividad de Protección de Plantas en el país.
- La infraestructura desarrollada para la implementación del control biológico, la que incluye los CREE, las Plantas de Biopreparados y la Planta Piloto.
- El nivel cultural del campesinado cubano que ha permitido la adopción del control biológico con pleno conocimiento de sus ventajas.

BIBLIOGRAFÍA

Adams, J.R. 1991. Introduction and classification of viruses of invertebrates. p. 1-8. *In*: J.R. Adams; J.R. Bonani (eds.), Atlas of

- Invertebrates Viruses. CRC Press. Boca Raton, Florida, U.S.A.
- Adams, J.R.; J.T. McClintock. 1991. Baculoviridae. Nuclear Polyedrosis Viruses. Part 1. Nuclear Polyedrosis Viruses of Insects. p. 9-30. *In*: J.R. Adams; J.R. Bonami (eds.), Atlas of invertebrate viruses. CRC Press. Boca Raton, Florida, U.S.A.
- Alarcón, R.; G. Carrion. 1994. The use of *Verticillium lecanii* in coffee plantations as biological control of coffee rust. *Phytopathology* 29 (1): 82-85.
- Álvarez, Rosa M.; Ana N. San Juan; Eulalia Gómez; Y. Hernández; Teresita Lemes; Irene Reyes. 2001. Desarrollo de un proceso a escala semi industrial para la producción de un biopreparado en polvo del hongo *Verticillium lecanii*. p. 145. *En*: Resúmenes del II Congreso de la Sección Regional Neotropical de la Organización Internacional de Control Biológico. Matanzas, Cuba, junio de 2001.
- Alves, S. B. 1998 (ed.). Controle Microbiano de Insetos. 2^{da} ed. FEALQ. Piracicaba, Brasil: 1163 p.
- Ayala, J.L.; A. Aquino. 1997. Producción y empleo de insecticidas virales, una proyección para su desarrollo en Cuba. p. 51. *En*: Resúmenes III Tercer Seminario Científico Internacional de Sanidad Vegetal. La Habana, Cuba, 23-27 de junio de 1997.
- Burand, J.P.; E.J. Park. 1992. Effect of nuclear polyhedrosis virus infection on the development and pupation of gypsy moth larvae. *Journal Invertebrate Pathology* 60: 171-175.
- Carreras, Bertha; J.R. Barquín; Caridad Ricardo. 1997. Detección y evaluación de beta-exotoxina(s) en caldo de cultivo de *Bacillus thuringiensis* (Berliner). *Fitosanidad* 1 (1-4): 64-67.
- Carvajal, J. 1995. Uso de *Bacillus thuringiensis* cepa LBT-13 en el control de *Phyllocoptruta oleivora* en el cultivo de los cítricos. p. 18. *En*: Resúmenes III Encuentro Nacional Científico-Técnico de Bioplaguicidas. INISAV, La Habana, Cuba.
- Castillo, Luisa; F. Chaverri; C. Ruepert; Catharina Wesseling (eds.). 1995. Manual de Plaguicidas. Guía para América Central. Programa de Plaguicidas: Desarrollo, Salud y Ambiente. Universidad de Costa Rica, Heredia, Costa Rica: 680 p.
- Castiñeiras, A.; T. Cabrera; A. Calderón; O. Obregón. 1982. Virulencia de cuatro cepas de *Beauveria bassiana* sobre adultos de *Cylas formicarius elegantulus*. *Ciencia y Técnica en la Agricultura. Serie Protección de Plantas* 7(1): 24-27.
- Chilcott, C. N.; B. H. Knowles; D. J. Ellar; F. A. Drobniowski. 1990.

- Mechanism of action of *Bacillus thuringiensis israelensis* parasporal body. p. 45-65. *In*: H. de Barjac; D. J. Sutherland (eds.), *Bacterial Control of Mosquitoes & Black Flies*. Rutgers University Press, New Brunswick, Canada.
- Cuba. 2001. Lista oficial de plaguicidas autorizados. Centro Nacional de Sanidad Vegetal. Ministerio de la Agricultura. La Habana, Cuba: 361 p.
- Cuba. 2002 a. Producción de medios biológicos. Departamento de Estadísticas. Centro Nacional de Sanidad Vegetal. Ministerio de la Agricultura. La Habana, Cuba.
- Cuba. 2002 b. Manual Técnico de Organopónicos y Huertos Intensivos. Grupo Nacional de Agricultura Urbana (eds.), Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical. Ministerio de la Agricultura. La Habana, Cuba: 145 p.
- Estrada, María E. 2001. *Beauveria bassiana*: Una alternativa para el control biológico de *Diatraea saccharalis* (Fabricius, 1794). p. 75-80. *En*: L. Gomero; Milagros Tazza (eds.), *Innovación de Tecnologías Ecológicas para el Agro en América Latina*. Ediciones RAAA. Lima, Perú.
- Evans, H.; M. Shapiro. 1997. Viruses. p. 53. *In*: L. A. Lacey (ed.), *Manual of Techniques in Insect Pathology*. Academic Press, San Diego, USA.
- Fernández, Esllinda; Orietta Fernández-Larrea; M. Milán; Y. Díaz. 2000. Efectividad biológica de *Bacillus thuringiensis* sobre *Cylas formicarius elegantulus*. *Fitosanidad* 4 (1-2). 83-88.
- Fernández, Esllinda; Orietta Fernández-Larrea; María E. Márquez; Felicia Piedra; E. Laguardia; Elina Massó. 2001. Obtención de un producto de *Bacillus thuringiensis* para el control de *Cylas formicarius*. p. 144-145. *En*: Resúmenes II Congreso de la Sección Regional Neotropical de la Organización Internacional de Control Biológico. Matanzas, Cuba, junio de 2001.
- Fernández-Larrea, Orietta; A. Díaz; E. Laguardia; A. Calderón. 1997. Obtención de un biopreparado fluido de *Bacillus thuringiensis*. *Fitosanidad* 1 (1-4): 60-63.
- Fernández-Larrea, Orietta. 1999. A Review of *Bacillus thuringiensis* (Bt): Production and use in Cuba. *Biocontrol News and Information* 20 (1): 47N-48N.
- García, Irma. 1998. Obtención de aislamientos de *Nomuraea rileyi* (Farlow) Samson y su virulencia en larvas de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith). Tesis en opción al título de Master en Agroecología y Agricultura Sostenible. Universidad Agraria de La Habana, La Habana, Cuba:
- Gaugler, R.; H.K. Kaya. 1990. Entomopathogenic Nematodes in Biological

- Control. CRC Press. Boca Raton, Florida, U.S.A: 452 p.
- González, E. 2001. Selección de aislamientos nativos de *Verticillium lecanii* (Zimm.) Viégas para la lucha biológica de plagas en el cultivo del cafeto (*Coffea arabica* L.). Tesis presentada en opción al título de Master en Agroecología y Agricultura Sostenible. Universidad Agraria de La Habana, La Habana, Cuba: 77 p.
- Goodwin, R.H.; R.J. Milner; C.D. Beaton. 1991. Entomopoxvirinae. p. 259-285. In: J.R. Adams; J.R. Bonami (eds.), Atlas of invertebrate viruses. CRC Press, Boca Raton, Florida. U.S.A.
- Granados, D. 1980. Infectivity and mode of action of baculoviruses. Biotechnology and Bioengineering 22: 1377-1405.
- Habib, M.E.M.; C.F.S. Andrade. 1998. Bacterias patogénicas. p. 383-446. En: S.B. Alves (ed.), Controle Microbiano de Insetos. 2^{da} ed. FEALQ. Piracicaba, Brasil.
- Hajek, A. E.; R. J. St. Leger. 1994. Interactions between fungal pathogens and insect host. Annual Review of Entomology 39: 293-322.
- Hukuhara, T. 1985. Pathology associated with cytoplasmic polyhedrosis viruses. p.121-162. In: K. Maramorosh; K.E. Sherman (eds.), Viral Insecticides for Biological Control. Academic Press. Orlando, Florida, U.S.A.
- Humber, R.A. 1997. Fungi: Identification. p. 153-185. In: L.A. Lacey (ed.), Manual of Techniques in Insect Pathology. Academic Press. London, UK.
- Ignoffo, C. M.; C. García; R. A. Samson. 1989. Relative virulence of *Nomuraea* spp. (*N. rileyi*, *N. atypicola*, *N. anemonoides*) originally isolates from an insect, a spider and soil. Journal of Invertebrate Pathology 59 (3): 373-378.
- Ignoffo, C. M.; D. B. Boucias. 1992. Relative activity of geographical isolates of *Nomuraea* bioassayed against the cabbage looper and velvetbean caterpillar. Journal of Invertebrate Pathology 59 (2): 215-217.
- Ignoffo; C. M.; C. García. 1987. Susceptibility of six species of noctuid larvae to a biotype of *Nomuraea rileyi* (Farlow) from Thailand (Lepidoptera: Noctuidae). Journal of the Kansas Entomological Society 60 (1):156-158.
- Jiménez, L. C. 1998. Efectividad técnica de varios aislamientos de *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill sobre *Cylas formicarius* var. *elegantulus* Summer, en laboratorio y campo. Tesis en opción al título de Master en Agroecología y Agricultura Sostenible. Universidad Agraria de La Habana, La Habana, Cuba: 63 p.

- Johnston, J. R. 1917. Algunos hongos entomopatógenos de Cuba. Memoria de la Sociedad de Historia Natural Felipe Poey 3 (213): 1-25.
- Kaya, H. K.; R. Gaugler. 1993. Entomopathogenic nematodes. Annual Review of Entomology 38: 181-206.
- Kaya, H.; Patricia Stock. 1997. Techniques in insect nematology. 1999. p. 281-324. In: L. Lacey (ed.), Manual of Techniques in Insect Pathology. Academic Press, San Diego, U.S.A.
- López, Miriam. 1995. PAECISAV: Un novedoso nematocida biológico para el control de nematodos fitoparásitos. p. 4-5. En: Resúmenes III Encuentro Nacional Científico-Técnico de Bioplaguicidas. INISAV. La Habana, Cuba.
- Márquez, María E.; Leonor Garmendía; Mercedes Escobar; E. Fernández. 2001a. Cepas de *Bacillus thuringiensis* promisorias en el control de *Meloidogyne incognita*. p. 37. En: 33 Reunión Anual de la Organización de Nematólogos de los Trópicos Americanos, ONTA 2001. Matanzas, Cuba, junio de 2001.
- Márquez, María E.; Orietta Fernández-Larrea; Daimi Díaz. 2001b. Evaluación del efecto de *Bacillus thuringiensis* en el tratamiento de la varroasis. p. 144. En: Resúmenes del II Congreso de la Sección Regional Neotropical de la Organización Internacional de Control Biológico. Matanzas, Cuba, junio de 2001.
- Márquez, María E.; Orietta Fernández-Larrea; Lérida Almaguel. 2001c. Producción y evaluación de cultivos de *Bacillus thuringiensis* (Berl.) con efecto acaricida sobre *Polyphagotarsonemus latus* (Banks) (Acarina: Tarsonemidae). p. 143. En: Resúmenes del II Congreso de la Sección Regional Neotropical de la Organización Internacional de Control Biológico. Matanzas, Cuba, junio de 2001.
- Martínez, M. 2001. Comportamiento de la roya del cafeto y su relación con el antagonista *Verticillium lecanii* (Zimm.) Viégas en condiciones naturales. Tesis en opción al título de Master en Agroecología y Agricultura Sostenible. Universidad Agraria de La Habana, La Habana, Cuba: 79 p.
- McCoy, C.W.; A.G. Selhime; R.F. Kanel; A.J. Hill. 1971. Suppression of citrus rust mite populations with application of fragmented mycelia of *Hirsutella thompsonii*. J. Invertebr. Pathol. 17: 270-276.
- Moscardi, F. 1998. utilização de virus entomopatogénicos em campo. p. 509-544. En: S. B. Alves (ed.), Controle Microbiano de Insetos. 2^{da} ed. FEALQ. Piracicaba, Brasil.
- Murguido, C.; L. L. Vázquez; Olympia Gómez; Amelia Mateo. 1997. In-

- forme sobre la problemática mosca blanca geminivirus en Cuba. Boletín Técnico 5: 13 p.
- Murphy, F. A.; C. M. Fauquet; D. H. L. Bishop; A. W. Ghabrial; A. W. Jarvis; G. Martelly; M. E. Mayo; M. D. Summers (eds.). 1995. Virus Taxonomy: Classification and Nomenclature of Viruses, Sixth Report of the International Committee on Taxonomy of Viruses. Arch. Virology, Supl. 10: 1-586.
- Nickle, W.R.; H.E. Welch. 1984. History, development, and importance of insect nematology. p. 627-653. In: W.R. Nickle (ed.), Plant and insect nematodes. Marcel Dekker, New York, U.S.A.
- Omoto; C.; S. B. Alves. 1998. Mecanismos de defesa de insetos contra entomopatógenos. p. 55-74. En: S. B. Alves (ed), Controle Microbiano de Insetos. FEALQ 2^{da} ed. Piracicaba, Brasil.
- Payne, C.C. 1986. Insect pathogenic viruses as pest control agents. p. 183-200. In: J.M. Franz (ed.), Biological Plant and Health Protection: Biological Control of Plant Pests and of Vectors of Human and Animal Diseases. International Symposium of the Akademie der Wissenschaften und der Literatur, Mainz, November 15-17th, 1984. Fischer Verlag, Stuttgart, Germany.
- Pérez, R.; Zoila Trujillo; Carmen N. Zamora. 2001a. Efecto del hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. sobre *Attamyces bromatificus* Kreisel. Fitosanidad 5 (3): 21-24.
- Pérez, R.; Zoila, Trujillo. 2002. Combate de *Acromyrmex octospinosus* (Reich) (Hymenoptera: Formicidae), con el cebo micoinsecticida BIBISAV-2. Fitosanidad 6 (2): 41-46.
- Pérez, R.; Zoila, Trujillo; Adinet Carr; Carmen N. Morales. 2001b. BIBISAV-2: Cebo micoinsecticida para el combate de la bibijagua *Atta insularis* (Güerin) en Cuba. p. 150. En: Resúmenes II Congreso de la Sección Regional Neotropical de la Organización Internacional de Control Biológico. Matanzas, Cuba, junio de 2001.
- Piedra, Felicia; E. Pérez; E. Blanco. Manejo integrado de la palomilla del maíz (*Spodoptera frugiperda* J. E. Smith). p. 73. En: Resúmenes III Seminario Científico Internacional de Sanidad Vegetal. La Habana, Cuba, 23-27 de junio de 1997.
- Poinar, G. O. 1986. Entomophagous nematodes. p. 95-121. In: J. M. Franz (ed.). Biological Plant and Health Protection: Biological Control of Plant Pests and of Vectors of Human and Animal Diseases. International Symposium of the Akademie der Wissenschaften und der Literatur, Mainz, November 15-17th, 1984. Gustav Fischer Verlag,

- Stuttgart, Germany.
- Poinar, G.O.; G. M. Thomas. 1984. Laboratory guide to insect pathogens and parasites. Plenum Press, New York, U.S.A.: 285 p.
- Ribeiro, B. M.; M. L. Souza; E. W. Kitajima. 1998. Taxonomia, caracterização molecular e bioquímica de vírus de insetos. p. 481-507. *En:* S. B. Alves (ed.), Controle Microbiano de Insetos. 2^{da} ed. FEALQ. Piracicaba, Brasil.
- Rijo, Esperanza; Mercedes Luján; B. Szczypel; Nidia Acosta; María E. Márquez; A. Pérez; Orietta Fernández-Larrea; Rocío Larramendy. 2001. Microorganismos entomopatógenos reguladores de ácaros ectoparásitos de aves. p. 148. *En:* Resúmenes II Congreso de la Sección Regional Neotropical de la Organización Internacional de Control Biológico. Matanzas, Cuba, junio de 2001.
- Roberts, D. W.; S. B. Krasnoff. 1998. Toxinas e enzimas de fungos entomopatógenicos. p. 967-985. *En:* S. B. Alves (ed.), Controle Microbiano de Insetos. 2^{da} ed. FEALQ. Piracicaba, Brasil.
- Samson, R. A. 1974. *Paecilomyces* and some allied Hyphomycetes. *Stud. Mycological* 6: 1-119.
- Samson, R. A.; H. C. Evans; J. P. Latgé. 1988. Atlas of entomopathogenic. Springer- Verlag, Netherlands: 187 p.
- Sánchez, Mayda; Argelia Cejas; E. Laguardia; Tamara Mateo; Cristina Ocano; Orietta Fernández-Larrea; C. Madarriaga; E. Ponce; A. Martín; T. Pérez; A. Camarero; J. Jiménez; R. Fuentes; I. Rondón; R. Gómez; V. García; J. Ovies. 1997a. Formulado biológico en polvo a base de *Bacillus thuringiensis* Berl. var. *kurstaki*. p. 116. *En:* III Seminario Científico Internacional de Sanidad Vegetal. La Habana, Cuba, 23-27 de junio de 1997.
- Sánchez, Mayda; Orietta Fernández-Larrea; U. Gómez; E. Ponce; Cristina Ocano; E. Laguardia; Tamara Mateo; Carmen Nieves; A. Calzado; R. Fuentes; A. Morales; Caridad Alberti; Ileana Gutiérrez. 1997b. Obtención de un biopreparado en polvo del hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana* (Bals.) (Deuteromycotina: Hyphomycetes). p. 117. *En:* Resúmenes III Seminario Científico Internacional de Sanidad Vegetal. La Habana, Cuba, 23-27 de junio de 1997.
- Starnes, R. L.; C. Liu; P. G. Marrone. 1993. History, use, and future of microbial insecticides. *Am. Entomol.* 39: 83-91.
- Tanada, Y.; H. Kaya. 1993. Insect Pathology. Academic Press. San Diego, California, USA: 666 p.
- Thiery, I.; E. Frachon. 1997. Bacteria: Identification, isolation, culture

- and preservation of entomopathogenic bacteria, p. 55-75. *In*: L. A. Lacey (ed.), *Manual of Techniques in Insect Pathology*. Academic Press. London, UK.
- Trujillo, Zoila; R. Pérez. 2001. BIBISAV-1 una alternativa de control biológico sobre la bibijagua *Atta insularis* (Güerin) en Cuba. p. 128. *En*: Resúmenes del II Congreso de la Sección Regional Neotropical de la Organización Internacional de Control Biológico. Matanzas, Cuba, junio de 2001.
- World Wildlife. 2000. ¿Qué son los COPs? Disponible en <http://www.worldwildlife.org/toxics>. Conectado el 4 de mayo del 2002.

Capítulo VII

CONTROL BIOLÓGICO DE PATÓGENOS VEGETALES

INTRODUCCIÓN

El control biológico de los organismos que causan enfermedades en las plantas está mucho menos desarrollado que el de plagas de insectos, a pesar de que desde la más remota antigüedad se realizaban prácticas agrícolas empíricas algunas de las cuales constituyen hoy medidas de control biológico de los patógenos vegetales. Los procedimientos para el control de enfermedades por métodos culturales fueron perfilados 300 años a.n.e.; hace más de 5 000 años que los campesinos chinos practicaban la rotación de cultivos y la aplicación de abonos orgánicos con la finalidad de reducir la incidencia de las enfermedades y de incrementar la fertilidad de los suelos. El interés en el control biológico como método de control de enfermedades aumentó en los últimos años y aunque su desarrollo ha sido relativamente lento el potencial que representa para el manejo de las enfermedades es enorme y al igual que el de plagas de insectos tiene un futuro promisorio. La crisis de los sistemas agrícolas convencionales hace que sea un imperativo del momento el desarrollo y aplicación de nuevos métodos y técnicas de manejo de las enfermedades. El control biológico da respuesta a muchos de los problemas de la agricultura moderna y es uno de los componentes esenciales en el desarrollo de la agricultura sostenible. ¿Cómo contribuye el control biológico a la agricultura sostenible? Por ejemplo, con el laboreo mínimo o cero labranza, que forman parte de las prácticas agrícolas sostenibles, se pueden crear condiciones favorables para el desarrollo de los patógenos habitantes del suelo y nematodos, aquí el control biológico constituye un medio para incrementar los rendimientos de los cultivos por destrucción o supresión de la

fuente de inóculo de los patógenos, protegiendo a las plantas contra la infección o incrementando la resistencia. En este capítulo se describen los mecanismos principales involucrados en la acción de control, se exponen las estrategias desarrolladas para el manejo de antagonistas, se hace referencia a las bacterias del género *Pseudomonas* y se presentan los avances de Cuba en este tema.

ORIGEN DEL CONTROL BIOLÓGICO DE PATÓGENOS VEGETALES

Los primeros intentos de aplicación directa de control biológico de los organismos fitopatógenos fueron realizados entre 1920 y 1940. Durante esa época se hicieron ensayos en los que se inocularon suelos de viveros con 13 organismos antagonistas para controlar el damping-off de las posturas de pino. Los términos control biológico de patógenos y efecto supresivo fueron enunciados en 1931 (Cook y Baker, 1983). En las décadas del 50, 60 y 70 del siglo XX tuvo un progreso lento, esto era de esperar, pues justamente en esos años se produjo un desarrollo acelerado de la industria de plaguicidas y salieron al mercado un numeroso grupo de fungicidas de una efectividad muy alta.

En los años 80 del siglo XX resurge el interés en este método de control, la década se caracterizó por la realización de estudios básicos de los organismos con mayor potencial como agentes de control biológico y el desarrollo de metodologías para las investigaciones, así como de tecnologías para su producción masiva y comercialización.

Los últimos 15 años se caracterizaron por una intensa actividad de investigación en todo el mundo. En estos momentos se estudian muchas enfermedades diferentes buscando medios biológicos para su control. Esa tendencia se refleja en la enorme cantidad de publicaciones que sobre control biológico aparecen cada año en la literatura científica (Campbell, 1994; Wilson, 1997; Whipps, 1997; Backman *et al.*, 1997; Wilson y Backman, 1998; Fravel *et al.*, 1998; Hofstein y Chapple, 1999).

Los resultados no se han hecho esperar, hasta 1995 habían ingresado al mercado de agentes de control biológico al menos 30 productos comerciales para el control de patógenos de las plantas que habitan en el suelo (Wilson y Backman, 1998), en contraste con la exigua cantidad disponible en 1990.

La búsqueda acelerada de agentes de control biológico para el control de patógenos que se transmiten por el suelo es una respuesta a la baja

efectividad de los fungicidas que han venido utilizándose en el tratamiento de semillas para el control de estos patógenos. En contraste con los fungicidas foliares se presentó una situación bien diferente -que sólo comenzó a cambiar en fecha más reciente- pues la mayoría de los fungicidas utilizados hasta ahora para el control de patógenos foliares, florales y de postcosecha resultaban altamente efectivos. Consideraciones de orden biológico, económico, ecológico y social han hecho cambiar el panorama.

CONCEPTO DE CONTROL BIOLÓGICO DE PATÓGENOS VEGETALES

En la actualidad la definición de control biológico es bastante controvertida. Cook y Baker (1983) lo definieron como la reducción de la densidad de inóculo de un patógeno o de su capacidad para producir la enfermedad mediante la acción de uno o más organismos, excluyendo al hombre. La capacidad para producir la enfermedad considera el crecimiento, la infectividad, la agresividad, la virulencia y otras cualidades del patógeno o los procesos que determinan la infección, el desarrollo de síntomas y la reproducción.

Campbell (1989) lo definió, con más amplitud, “*como cualquier método de control de enfermedades de las plantas que utiliza organismos para reducir éstas*”. El control biológico incluye, según Campbell (1989):

- La rotación de cultivos y algunos sistemas de laboreo de suelo y prácticas de fertilización que afectan a los microorganismos
- La aplicación directa de los antagonistas a los patógenos o la aplicación de microorganismos beneficiosos a las plantas
- El uso de productos que cambian la microflora
- La mejora de plantas, conocida ésta como los cambios en el genoma de la planta que pueden afectar la susceptibilidad a las enfermedades y también la microflora (en la filosfera y la rizosfera).

Esta definición tan amplia es objeto de debate. El efecto positivo de muchas prácticas, como por ejemplo la rotación de cultivos o el uso de materia orgánica sobre la regulación de los organismos patógenos que habitan en el suelo es indiscutible, pero no son prácticas de control biológico, aunque de una manera indirecta contribuyan a éste.

MECANISMOS DE CONTROL BIOLÓGICO

Antagonismo

Entre los organismos a considerar en el control biológico están: el patógeno, el hospedante y el antagonista. En términos biológicos un antagonista es un miembro de una interacción que interfiere con otro miembro. En control biológico de fitopatógenos se denomina así a los organismos con potencial para interferir con éstos. Dentro de los antagonistas se encuentran: hongos, bacterias, nematodos, protozoos, virus y plantas (ejemplo, plantas trampa).

Una de las estrategias que se ha implementado en el control biológico de los organismos fitopatógenos está basada en la utilización de los antagonistas, los cuales pueden tener diferentes mecanismos de acción, entre los que se encuentran: la depredación, el parasitismo (denominado comúnmente como micoparasitismo), la antibiosis y la competencia (Elad y Misaghi, 1984). En fecha más reciente se han dado a conocer otros mecanismos como la resistencia sistémica adquirida (Sticher *et al.*, 1997; Martínez *et al.*, 1999).

Micoparasitismo

Es la acción de un hongo que parasita a otro. Un antagonista puede actuar utilizando a un hongo patógeno como fuente de alimento, al antagonista se le denomina micoparásito, no se le llama parásito, pues en fitopatología se considera a los hongos patógenos como parásitos, entonces el antagonista vendría a ser un «*hiperparásito*». Este término es utilizado por muchos autores (Sundheim y Tronsmo, 1986; Tronsmo, 1986). Es un fenómeno muy común entre todos los grupos de hongos desde los más simples Chytridiales hasta los más evolucionados Basidiomycetes (Sundheim y Tronsmo, 1986). El micoparasitismo constituye una alternativa en el control de los patógenos de las plantas, aunque en la práctica puede hacerse difícil explotarlo debido a que están involucrados tres organismos diferentes en esta acción: la planta, el patógeno y el micoparásito, y cada uno es afectado por el ambiente, las prácticas culturales y por los programas de control de plagas (figura 7.1) (Jarvis, 1983).

Los micoparásitos pueden ser biotróficos o necrotrofos, estos últimos son los que tienen mayor importancia (Tronsmo, 1986). Cuando atacan se produce una típica exólisis, destrucción de las paredes celulares

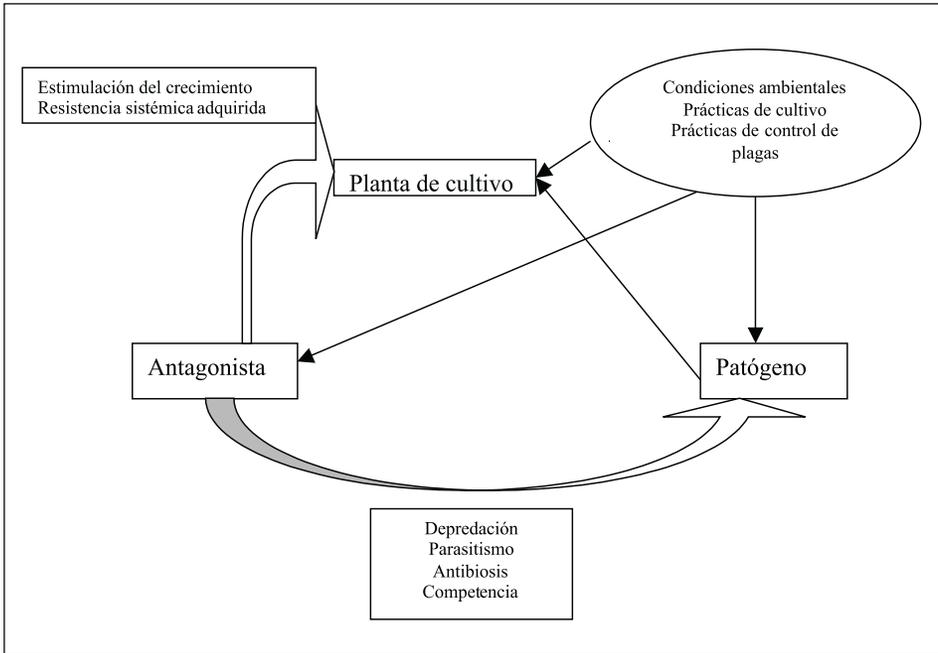


Figura 7.1 Interrelaciones en el control biológico

del hospedante por acción de quitinasas (basidiomicetos, ascomicetos), celulasas (oomicetos) y por consecuencia la muerte de la célula atacada (Chet, 1987). Entre los micoparásitos más conocidos y mejor estudiados se encuentran los hongos del género *Trichoderma*, el capítulo 8 está dedicado a éstos.

Antibiosis

La antibiosis es un proceso que se define como la interacción entre organismos en la cual uno o más de los productos metabólicos (toxinas o antibióticos) producidos por uno tiene un efecto negativo sobre el otro. Estos metabolitos funcionan como mecanismo de control biológico. La actividad antagónica de *Agrobacterium radiobacter* (Smith y Townsend) Conn sobre *Agrobacterium tumefaciens* (Smith y Townsend) Conn (agalla de la corona de los frutales de hueso) se atribuye a la producción del antibiótico Agrocin (Velikanov *et al.*, 1994; Dickinson *et al.*, 1995).

A pesar de que muchos microorganismos producen sustancias antimicrobianas y el fenómeno de la antibiosis puede ser fácilmente de-

mostrado «*in vitro*» (Dennis y Webster, 1971a, 1971b), es muy difícil detectar éste bajo condiciones naturales (Dubos, 1987). Esto explica porque aunque muchos antagonistas son capaces de producir antibióticos en cultivo puro tienen muy poco efecto bajo condiciones de campo.

Competencia

La competencia ocurre cuando dos o más organismos requieren el mismo recurso y el uso de éste por uno reduce la cantidad disponible para el otro (Campbell, 1989). Los microorganismos compiten fundamentalmente por recursos esenciales (carbono, nitrógeno, hierro), si éstos están en exceso no hay competencia. La competencia por el oxígeno, el espacio y la luz (autótrofos) también puede tener lugar.

Una forma de competencia muy especial que ha sido estudiada en detalle es la competencia por el hierro Fe^{3+} , considerada como un importante mecanismo de control biológico. Los microorganismos pueden competir por el Fe^{3+} (en los ambientes en que éste se encuentra limitado) mediante la producción de compuestos quelantes de Fe^{3+} denominados sideróforos. Los diferentes sideróforos difieren en su afinidad por el hierro, los que poseen la afinidad más alta pueden secuestrar todo el hierro o la mayor parte; si un antagonista produce mejor sideróforo que un patógeno puede privarlo de éste e impedir que se desarrolle; las bacterias del género *Pseudomonas* son un ejemplo de esta forma de competencia (figura 7. 2) (Baker y Griffin, 1995).

Resistencia sistémica adquirida

La resistencia sistémica adquirida es un concepto relativamente nuevo acerca del mecanismo fisiológico de defensa de las plantas contra patógenos fungosos (Ricard, 2002). La visión actual de la resistencia sistémica adquirida es que varias moléculas- no necesariamente dañinas a lo patógenos per se- son capaces de inducir respuestas de defensa en las plantas (Sticher *et al.*, 1997). Este mecanismo ha sido comprobado en *Trichoderma harzianum* Rifai; enzimas producidas por esa especie han sido identificadas como inductoras de la resistencia sistémica adquirida contra *Botrytis cinerea* Pers.:Fr. en fresas (Martínez *et al.*, 1999).

Un antagonista puede expresar su acción de más de una forma lo que quiere decir que esta puede ocurrir bajo más de un mecanismo. Por ejemplo, *Gliocladium* spp. es un micoparásito necrotrófico, algunas especies de

éste causan la muerte a su hospedante por secreción de antibióticos; el antibiótico gliotoxin fue identificado como el factor clave en el control de *Pythium ultimum* Trow y *Rhizoctonia solani* Kühn. También ejercen su acción como micoparásitos por producción de enzimas líticas que degradan las paredes celulares de sus hospedantes y permiten la penetración de éstos (Lumsden *et al.*, 1996; Harman y Kubicek, 1998).

El conocimiento del modo de acción de un antagonista es un factor decisivo para obtener éxito cuando se pretende introducirlo en un programa de manejo de enfermedades en el que se quieren hacer aplicaciones masivas. También es muy importante conocer las otras interacciones que están presentes, como las que se producen entre los antagonistas y las plantas de cultivo. El estudio de las relaciones entre *Trichoderma* y las plantas abre perspectivas novedosas para su uso (Martínez *et al.*, 1999; Ricard, 2002).

ESTRATEGIAS DESARROLLADAS EN EL MANEJO DE ANTAGONISTAS

Manejo de antagonistas residentes

Esta estrategia se fundamenta en la conservación del antagonista como enemigo natural a través del manejo del ambiente. En ésta las prácticas

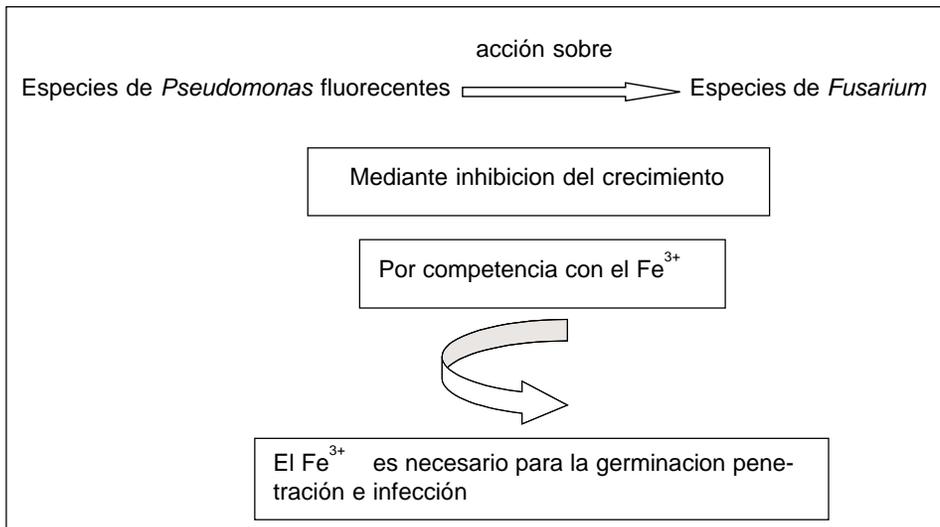


Figura 7. 2 Mecanismo de acción de *Pseudomonas* spp. sobre *Fusarium* spp.

culturales juegan un rol importante; se trata de modificar el ambiente, por ejemplo, añadiendo materia orgánica al suelo, de este modo los antagonistas nativos manifiestan el máximo de su potencial antagónico contra los fitopatógenos.

Los mecanismos de acción y el efecto de varios tipos de materia orgánica sobre la sobrevivencia y multiplicación de los patógenos de las plantas que se transmiten por el suelo han sido objeto de numerosas investigaciones en los últimos años. Existen innumerables referencias de patógenos que han sido controlados con enmiendas orgánicas al suelo, entre los que se encuentran: *Fusarium* spp., *Phytophthora cinnamomi* Rands. *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goidanich, *Rhizoctonia solani*, *Sclerotium* spp., *Streptomyces scabiei* (ex Thaxter) Lambert y Loria, y numerosas especies de nematodos fitoparásitos (tabla 7. 1).

Una de las más conocidas es el uso de materia orgánica para el control de *S. scabies* (sarna de la papa); la materia orgánica verde incorporada en la plantación incrementa la actividad microbiana de los antagonistas de *Streptomyces* (Muhammad *et al.*, 1995). En Australia quedó demostrado que el aumento del nivel de materia orgánica en suelos infestados con *P. cinnamomi* en aguacate resultó en el control de la enfermedad (Costa *et al.*, 1996).

La materia orgánica puede actuar por varias vías, mejorando la estructura del suelo, la nutrición de las plantas, así como afectando a los patógenos. Se ha demostrado que la mayor influencia de la materia orgánica sobre los patógenos vegetales es a través de modificaciones de las actividades microbianas. El control biológico de estos patógenos se produce por inactivación o lisis de las esporas, esclerocios o hifas, directamente seguido de un corto período de estimulación del crecimiento. La producción de antibióticos, la competencia por los nutrientes y el parasitismo son los mecanismos de acción a través de los cuales se ejerce el control.

Esta es una estrategia con la que se han obtenido buenos resultados y es una de las que más puede contribuir al desarrollo de la agricultura sostenible, además se enmarca dentro del aumento y conservación por mecanismos naturales, pero todavía falta mucho por evaluar para poder aprovechar todo el potencial que los antagonistas residentes pueden exhibir si se estimula el aumento y conservación de sus poblaciones.

Introducción de antagonistas

La atención de los investigadores en la mayor parte del mundo se concentra en esta estrategia (Cook, 1993), la cual se dirige en lo fundamental a

Tabla 7. 1 Enmiendas orgánicas que regulan patógenos

Enmiendas	Patógenos	Cultivos	Referencias
Quitina	<i>Meloidogyne</i> spp.	trébol blanco	Brown <i>et al.</i> , 1996
	<i>Meloidogyne incognita</i>	flores de bulbo	Tsay <i>et al.</i> , 1995
	<i>Rhizoctonia solani</i>		Jeyarajam, 1989
	<i>Sclerotium rolfsii</i>		
	<i>Fusarium oxysporum</i>		
Torta de nim	<i>M. incognita</i>	berenjena	Kumar y Vadivelu, 1996
Torta de higuera			
Tallos secos de trigo, arroz, maíz, caupi, alfalfa y soya	<i>Streptomyces scabiei</i>	papa	Muhammad <i>et al.</i> , 1995
Porciones de trébol egipcio, arroz, tagetes, tevetia y trigo	<i>M. incognita</i>	girasol	Abadir <i>et al.</i> , 1996
Pulpa de café composteada	<i>Meloidogyne javanica</i>	tomate	Zambolim <i>et al.</i> , 1996
Torta de nim y polvo de agujas de pino	<i>Meloidogyne</i> spp.	jengibre	Dohroo <i>et al.</i> , 1994
Torta de nim y torta de mostaza	<i>M. incognita</i>	caupi	Umarao y Goswami, 1996
Torta de nim y polvo de datura	<i>M. javanica</i>	quimbombo	Ehteshamul <i>et al.</i> , 1996
	<i>Macrophomina phaseolina</i>		
Gallinaza	<i>Pratylenchus</i> spp.	maíz	Gapasin, 1995
Torta de girasol	<i>S. rolfsii</i>	maní	Kulkarni <i>et al.</i> , 1995
Bagazo de aceitunas	<i>M. incognita</i>	tomate	D'Addabbo y Sasanelli, 1997
Residuos de olivo	<i>M. incognita</i>	tomate	D'Addabbo <i>et al.</i> , 1997
Sustancias húmicas	<i>Alternaria alternata</i>		
	<i>Fusarium culmorum</i>		Moliszewska y Pisarek, 1996
Torta de nim	<i>Plasmodiophora brassicae</i>	mostaza	Chattopadhyay, 1996
Residuos de césped	<i>Phytophthora cinnamomi</i>	aguacatero	Costa <i>et al.</i> , 1996
Residuos de col	<i>Didymella bryoniae</i>	melón de agua	Keinath, 1996

la introducción del antagonista al suelo, para controlar patógenos que tienen éste como hábitat, ya que el control de éstos por medios convencionales se hace más difícil. El desarrollo de investigaciones para el control de enfermedades foliares y post-cosecha data de una fecha más re-

cientista (Wilson y Wisniewski, 1995; Wilson M., 1997; Chalutz y Droby, 1998).

Las enfermedades de los patógenos que se transmiten por el suelo se controlaban tradicionalmente con prácticas culturales como rotación de cultivos, laboreo y adición de abonos orgánicos (Bailey, 1997). En la actualidad no queda la menor duda de que los microorganismos aplicados al suelo pueden reducir el efecto de los patógenos sobre las plantas; se han realizado muchos trabajos en diferentes partes del mundo que documentan bien esta afirmación (Mukhopadhyay, 1994). Sin embargo, aún resultan insuficientes los sistemas de control biológico disponibles a escala comercial para el control de enfermedades de las raíces en las condiciones de la producción agrícola.

Los suelos generalmente poseen comunidades biológicas estables y equilibradas, esto hace que el establecimiento de un antagonista después de su introducción se haga difícil, produciendo cambios en el ambiente puede ser posible que el organismo introducido encuentre un lugar en la nueva comunidad. Estos cambios pueden ser en las prácticas de cultivo, en el laboreo del suelo, en el régimen de riego, en el manejo de la materia orgánica, el uso de la solarización, la disminución de la dosis de plaguicidas o eliminación de éstos, etc. Cuando el antagonista queda establecido puede proteger a la planta de los patógenos.

Hasta aquí se ha visto que el control biológico puede ser realizado por cambios en el ambiente que estimulan las poblaciones microbianas o por introducción directa y aplicación de antagonistas. Esta última técnica es más aceptada en la producción agrícola que la manipulación del ambiente y aunque hay un grupo de hongos importantes que tienen potencial para el control biológico así como bacterias de los géneros *Pseudomonas* y *Bacillus* (Thomashow y Weller, 1995; Berger *et al.*, 1996) es realmente insignificante la cantidad de productos que se comercializan para el control de enfermedades. El obstáculo principal en el uso de antagonistas ha estado en la falta de tecnologías adecuadas que permitan su reproducción y formulación como productos comerciales para su posterior liberación.

ANTAGONISTAS UTILIZADOS COMO AGENTES DE CONTROL BIOLÓGICO

Entre los agentes de control biológico más estudiados se encuentran los organismos pertenecientes a los siguientes géneros: *Streptomyces*,

Pseudomonas, *Agrobacterium*, *Bacillus*, *Ampelomyces*, *Trichoderma* y *Gliocladium* (Wilson 1997, Wilson y Backman 1998), de éstos, *Trichoderma* es uno de los más promisorios (Chet, 1987; Baker, 1991; Elad, 1996; Tronsmo y Hjeljord, 1998; Ricard, 2002).

La literatura científica que se refiere al control de enfermedades con agentes de control biológico es vasta; generalmente describe resultados obtenidos en condiciones de casa de cristal y laboratorio, pero aún resulta insuficiente la que muestra resultados obtenidos en condiciones de campo. De hecho es así porque del elevado número de antagonistas probados en condiciones controladas y semicontroladas muy pocos resultan efectivos en condiciones de producción, generalmente se obtienen resultados que varían mucho en el tiempo y con el tipo de suelo. De ahí la importancia de las pruebas en condiciones de producción para el desarrollo de un agente de control biológico.

El número de antagonistas realmente efectivos es reducido y prácticamente se limita a dos grupos de organismos: los hongos, entre los que se destacan las especies pertenecientes al género *Trichoderma* y las bacterias, fundamentalmente de los géneros *Pseudomonas* y *Bacillus*. El capítulo 8 está dedicado al género *Trichoderma*.

Pseudomonas

Las bacterias antagonistas del género *Pseudomonas* se encuentran entre los agentes de control biológico más promisorios, también tienen acción como promotoras del crecimiento de las plantas. Al igual que *Trichoderma* están entre los pocos microorganismos que se han formulado y comercializado como agentes de control biológico. Entre las características que hacen posible su uso se encuentran:

- Fácil aislamiento del suelo
- Rápido crecimiento “*in vitro*”
- Requerimientos nutricionales sin grandes exigencias
- Identificación poco compleja
- Habitante común del suelo, especialmente de la rizosfera, lo que posibilita que crezcan y colonicen muy bien la raíz cuando son introducidas artificialmente
- Producción de antibióticos y sideróforos que son activos en el suelo
- Estimulación del crecimiento de las plantas

Las dos especies más estudiadas son *Pseudomonas fluorescens* (Trevisan) Migula y *Pseudomonas putida* (Trevisan) Migula (Laha *et al.*, 1996). Su efectividad en el control de hongos y bacterias se atribuye a la propiedad que tienen de excretar metabolitos con acción antibiótica, compuestos volátiles como el cianuro de hidrógeno (HCN) y sideróforos. En dependencia de la cepa de que se trate predominará la acción de uno u otro mecanismo, aunque lo más frecuente es que actúen de conjunto (Fujimoto *et al.*, 1995; Thomashow y Weller, 1995). *P. fluorescens* (cepa 2-79) se encuentra entre los agentes de control biológico más efectivos de *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* J. Walker.

Antibiosis

Muchas especies de *Pseudomonas* producen antibióticos “*in vitro*”, éstos se pueden encontrar en los filtrados de cultivos libres de células y se ha comprobado que duplican los efectos del agente que lo produce. Los antibióticos fenacin-1-ácido carboxílico y 2,4 diacetilfloroglucinol producidos por *P. fluorescens* 2-79 y *P. fluorescens* CHAO respectivamente, se aislaron de su hábitat natural (Thomashow y Weller, 1990).

Competencia

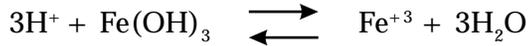
La producción de sideróforos permite que *Pseudomonas* ejerza una competencia activa (Baker y Griffin, 1995). La competencia se produce por el Fe^{+3} en ambientes donde éste se encuentre en bajas concentraciones (Weller, 1988; Glick y Basham, 1997). Las bacterias del género *Pseudomonas* sintetizan sideróforos, los cuales son sustancias químicas que se producen cuando hay escasez de hierro, éstos se enlazan a cationes, especialmente al Fe^{+3} , y ayudan al transporte dentro del organismo.

Los diferentes organismos, incluyendo las plantas superiores, producen sideróforos que difieren en su afinidad por el Fe^{+3} . La competencia ha sido estudiada en detalle por varios investigadores en la relación *Pseudomonas-Fusarium*, dado que en la regulación natural del patógeno (suelos supresores) se ha encontrado presente la bacteria (Thomashow y Weller, 1995).

¿Como funciona este mecanismo? Diferentes especies de *Fusarium* producen clamidosporas como un mecanismo de sobrevivencia, éstas requieren Fe^{+3} para la germinación, *Fusarium* produce sideróforos para capturar el Fe^{+3} necesario para ese proceso. En un ambiente donde existe una alta

disponibilidad de Fe^{+3} no hay competencia, las clamidosporas germinan y se produce la infección, al tener posibilidad el patógeno de colonizar la raíz.

En el suelo la competencia por el Fe^{+3} está determinada por el pH. El análisis de la siguiente ecuación, facilita la comprensión de este proceso.



En un suelo con pH, bajo el equilibrio estará desplazado hacia el Fe^{+3} , pero si el pH es elevado, el hierro, aunque sea abundante, está en una forma altamente insoluble y en esas condiciones es que se establece una intensa competencia en la rizosfera. En la competencia ganará el organismo que produzca los sideróforos con la más alta afinidad. Entre los sideróforos de más alta afinidad se encuentran los producidos por *Pseudomonas*, por eso en suelos con pH altos, en presencia de la bacteria se manifiestan poco las enfermedades producidas por *Fusarium*.

AFINIDAD POR EL Fe^{+3}

ALTA	—————→	BAJA
sideróforos >> <i>P. putida</i>	sideróforos > EDDHA >> <i>Fusarium</i>	sideróforos > EDTA
	hospedante	

Se caracterizaron químicamente dos sideróforos producidos por *Pseudomonas* del grupo fluorescentes: pyoverdine (pigmento amarillo verdoso) y pseudobactin, y se realizaron ensayos comparativos con los agentes quelantes artificiales EDDHA (ácido etilendiaminodi-o hidroxifenil acético) y EDTA (ácido etilendiaminotetraacético). Se demostró que el sistema de sideróforos del antagonista compite y controla el patógeno.

Hasta aquí se ha visto que el control biológico es una estrategia prometedora dentro del manejo de enfermedades en los sistemas agrícolas sostenibles. El antagonismo microbiano, junto con otros métodos no químicos y el manejo del ambiente a través de prácticas culturales son estrategias a las que se dará prioridad en el futuro.

CONTROL BIOLÓGICO DE ENFERMEDADES EN CUBA

Una de las características más notables de actual sistema de manejo de plagas en Cuba es la drástica reducción en el uso de plaguicidas químicos. Los éxitos alcanzados en la búsqueda de alternativas para el control de plagas de insectos han permitido que está sea más marcada en el caso de

los insecticidas, situación bien diferente es la que se presenta con los fungicidas, sobre todo para aquellos de amplio espectro que se recomiendan para el control de patógenos foliares.

La tendencia actual en el manejo de enfermedades es ir a la búsqueda de alternativas al control químico. En la década de los 80 del siglo XX se iniciaron numerosos ensayos con la finalidad de desarrollar agentes de control biológico, fundamentalmente para la regulación de patógenos que habitan en el suelo. Tal como sucedió en la mayor parte de la comunidad científica que se ocupa de este tema, las investigaciones con hongos antagonistas se concentraron en *Trichoderma*, los resultados de esos estudios se presentan en el capítulo 8.

Paralelo al desarrollo de agentes de control biológico de patógenos que habitan en el suelo se investiga en la búsqueda de agentes de control biológico de patógenos foliares, basados principalmente en *Trichoderma*, *Pseudomonas* y *Verticillium* (Pérez y Echemendía, 1993, 1994; Martínez *et al.*, 1994; González *et al.*, 1995; González y Martínez, 1996, 1998; Pérez, 1999; Díaz de Villegas, 1999; Villa, 1994, 1999; Alfonso y Villa, 2001; González, 2001; Villa *et al.*, 2000a, 2001; Martínez, 2001).

Pseudomonas

Las investigaciones con *Pseudomonas* comenzaron en la década de los 90 del siglo pasado. En ensayos realizados “*in vitro*” se encontraron aislamientos que inhibieron el crecimiento de los hongos *Alternaria solani* Sorauer, *R. solani*, *S. rolfsii* y *M. phaseolina* entre 80 % y 100% (Villa, 1994). Los estudios que se realizan actualmente tienen como objetivo fundamental la producción de metabolitos antifúngicos para el control de patógenos foliares y del suelo (Díaz de Villegas, 1999; Villa *et al.*, 2000b, 2001).

En Cuba en el desarrollo de *Pseudomonas* como agente de control biológico no se ha considerado la producción artesanal, a diferencia del resto de los organismos que se utilizan en el control microbioal. Se desarrolló una tecnología para la producción industrial de metabolitos antimicrobianos y sideróforos por fermentación sumergida mediante un sistema Batch incrementado, en un medio constituido por ácido glutámico, nitrato de amonio, fosfato de potasio, cloruro de sodio y sulfato de sodio. El producto final denominado Glutucid se presenta en forma de polvo humedecible (Díaz de Villegas, 1999; Villa *et al.*, 2001).

El aislamiento de *Pseudomonas* sp., cepa PSS a partir del cual se obtuvo el Gluticid fue identificado como *Pseudomonas aeuroginosa* (Schroeter) Migula (Villa *et al.*, 2000a). En ensayos realizados en condiciones controladas, en parcelas experimentales y en el campo para el control de enfermedades foliares y del suelo se encontró que Gluticid reduce la afectación por *Phytophthora nicotianae* (Breda de Haan) (en tabaco), *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary (en papa), *A. solani* (en papa y tomate), *Peronospora tabacina* (D.B. Adam) (en tabaco) (tabla 7.3), *Uromyces phaseoli* (Pers.) Wint. (en frijol común), *Pseudoperonospora cubensis* (en pepino) y *Mycosphaerella fijiensis* M. Morelet (en banano) (Villa *et al.*, 2000a, 2001). *P. aeuroginosa* (cepa PSS) también tiene efecto sobre *Curvularia gudauskasii* y *Curvularia senegalensis* que atacan la semilla agámica y botánica de la caña de azúcar. La mayor contribución del Gluticid está en la protección preventiva y al inicio de la incidencia de los patógenos, es además una nueva alternativa para la agricultura urbana.

Tabla 7.3 Efectividad de Gluticid sobre *P. tabacina* en tabaco y *A. solani* en tomate (Villa *et al.*, 2001).

Tratamientos	<i>Peronospora tabacina</i>			<i>Alternaria solani</i>			
	Porcentaje de afectación			Porcentaje de afectación			
	1	2	3	1	2	3	4
Gluticid	5.0	5.2	5.1	2.30	6.21	11.02	40.21
Mancozeb 80 PH	4.85	6.3	4.95	2.59	5.92	10.24	39.17
Testigo	7.7	7.0	11.25	2.62	10.71	30.19	62.21

^a Mancozeb se aplicó a dosis de 2.4 kg/ha.

^b La solución final de Gluticid tenía una concentración de 200 ppm, se aplicaron 5 l/parcela equivalente a 1g/parcela.

^c Las aplicaciones de Gluticid se realizaron con una frecuencia semanal.

Verticillium

Es uno de los agentes de control biológico que mayor potencial tiene para la agricultura sostenible, por la diversidad de organismos que puede regular; está presente en las principales regiones cafetaleras de Cuba. En condiciones naturales se puede encontrar parasitando varios de los organismos nocivos que tienen como hospedante este cultivo, entre los que se encuentra la roya *Hemilea vastatrix* Berkeley y Broome (González *et al.*, 1995).

El café se cultiva casi exclusivamente en las tres regiones montañosas del país (Martínez, 1996). En la región oriental se produce el 80 %, el 14 % en la zona central y en la región occidental el 6 %; se siembra bajo

sombra, en sistemas agroforestales donde las temperaturas son frescas, la humedad relativa alta y las precipitaciones frecuentes, la radiación solar al no incidir directamente sobre las plantas proporciona una menor iluminación, ese conjunto de condiciones favorecen que *Verticillium lecanii* (Zimmerman) Viégas pueda encontrarse presente durante todo el año (González, 2001).

Pero la sola presencia de *V. lecanii* no basta para que exista una regulación natural eficiente. Se ha observado que el parasitismo de *H. vastatrix* por *V. lecanii* en condiciones naturales tiene una efectividad baja, debido que el antagonista presenta una distribución muy limitada en el campo y en los meses de mayor infección de la roya los porcentajes de parasitismo son muy bajos.

La pústula de la roya es atacada cuando tiene un estado de desarrollo avanzado, el cubrimiento de las pústulas por *V. lecanii* (porcentaje de intensidad) en la mayoría de los casos presenta valores muy bajos, incluso menores que el 1 %, las hojas afectadas por la roya caen al suelo rápidamente y en el período de mayor incidencia de la roya las condiciones ambientales no son totalmente favorables al desarrollo del antagonista (Martínez, 2001). Por esa razón es importante la búsqueda de aislamientos nativos efectivos que puedan ser reproducidos por los métodos establecidos y utilizados como agentes de control biológico de la enfermedad.

Se determinó que cepas nativas de *V. lecanii* tienen un marcado efecto sobre la germinación y morfología de uredosporas de *H. vastatrix*. En presencia de una suspensión conidial de *V. lecanii* (cepas VI-01 y VI-02) la germinación de uredosporas fue 0 % y la deformación de 93.50 % y 89.50 % respectivamente. Las uredosporas pierden el color amarillo-naranja típico, adquieren una tonalidad más clara, que se convierte en gris, hasta que finalmente se tornan de color pardo oscuro (González y Martínez, 1996). El parasitismo de ambas cepas, en condiciones controladas, alcanzó valores de 100 % y 97.30 % respectivamente (González y Martínez, 1998).

Se plantea la necesidad de evaluar estas cepas en condiciones de producción, ya que *V. lecanii* constituye una alternativa valiosa en la regulación de *H. vastatrix* y otros organismos nocivos, y podría ser incorporado al sistema de lucha biológica en el marco del programa de manejo integrado del café. En ese cultivo está aprobado el uso de un grupo de plaguicidas (Cuba, 2002), algunos de los cuales tienen efecto nocivo sobre *V. lecanii* y otros organismos benéficos que forman parte del agroecosistema cafetalero.

Además de los agentes de control biológico antes mencionados, existen otros en los que el trabajo se encuentra en fase experimental. Se rea-

lizaron ensayos con el biopreparado de origen bacteriano Rizobac para evaluar su efecto sobre el desarrollo de *Capnodium* spp., en café (González *et al.*, 2001) y sobre *Fusarium* spp., en gladiolo (Hernández *et al.*, 2001). En café se evaluaron diferentes dosis y momentos de aplicación, se logró disminuir el alto índice de afectación que causa ese patógeno y estimular el crecimiento vegetal en el cultivo; en gladiolo se logró un 100 % de control, además de estimularse el crecimiento vegetal en el cultivo y acortar la fase de emisión de la espiga e incrementar la calidad de la flor.

***Bacillus subtilis* (Ehrenberg) Cohn**

Está entre las bacterias antagonistas objeto de estudio. En un ensayo realizado para determinar su efectividad sobre cuatro patógenos asociados a la semilla de arroz, *Alternaria padwickii* (Ganguley) M.B. Ellis, *Bipolaris oryzae*, *Fusarium moniliforme* Sheld. y *Sarocladium oryzae* (Sawada) W. Gams y D. Hawksw. se encontraron porcentajes de control superiores a 72 % (Cruz y Heredia, 2001).

BIBLIOGRAFIA

- Abadir, S. K.; A. E. Ismail; A. M. Kheir. 1996. Efficacy of soil amendment with plant wastes in the control of *Meloidogyne incognita* on sunflower. Pakistan Journal of Nematology 14 (2): 95-100.
- Alfonso, Isabel; Pilar, Villa. 2001. Evaluación de la cepa de *Pseudomonas* spp., cepa PSS en el control de hongos de la caña de azúcar. p. 147-148. *En*: Resúmenes de 41 Reunión Anual de la Sociedad Fitopatológica Americana, División del Caribe (APS-CD). Matanzas, Cuba, junio de 2001.
- Backman, P. A.; M. Wilson; J. F. Murphy. 1997. Bacteria for biological control of plant diseases. p. 153-182. *In*: N.A. Rechcigl; J.E. Rechcigl (eds.), Environmentally Safe Approaches to Integrated Pest Management. CRC Press, New York, U.S.A.
- Bailey, K. L. 1997. IPM Practices for Reducing Fungicide Use in Field Crops. p. 293-316. *In*: D. Pimentel (ed.), Techniques for Reducing Pesticide Use. John Wiley and Sons Ltd., New York, U.S.A.
- Baker, R. 1991. Four Horses of Biological Control. *In*: Proceeding of Symposium Biological Control of Plant Disease: "War in the Rhizosphere". Colorado State University, Minnesota Agricultural Experiment Station, Minnesota, USA, March 20, 1991. Miscellaneous Publication 72:1-12.

- Baker, R.; G. N. Griffin. 1995. Molecular strategies for biological control of fungal plant pathogens. p. 153-182. *In*: R. Reuveni (ed.), Novel Approaches to Integrated Pest Management. CRC Press, New York, U.S.A.
- Berger, A.; D. Hang Li; R. White; C. Leifert. 1996. Effect of pathogen inoculum, antagonist, density, and plant species on biological control of *Phytophthora* and *Pythium* damping-off by *Bacillus subtilis*. *Phytopathology* 86: 428-432.
- Brown, J.A.; F. J. Neville; S. U. Sarathchandra; R. N. Watson; N. R. Cox; A. J. Popay. 1995. Effects of chitin amendment on plant growth, microbial populations and nematodes in soil. p. 208-212. *In*: Proceedings of the Forty Eighth New Zealand Plant Protection Conference. Angus Inn., Hastings, New Zealand, 8-10 August 1995.
- Campbell, R. 1989. Biological control of microbial plants pathogens. Cambridge University Press, Cambridge, UK: 208 p.
- Campbell, R. 1994. Biological control of soil-borne diseases: some present problems and different approaches. *Crop Protection* 13: 4-12.
- Chalutz, E.; S. Droby. 1998. Biological control of postharvest diseases. p.157-170. *In*: G.S. Boland; L. D. Kuykendall (eds.), Plant-Microbe Interactions and Biological Control. Marcell Dekker, New York, U.S.A.
- Chattopadhyay, A. K. 1996. Soil amendment with lime and organic matter on the control of club root disease of rapeseed mustard. *Indian Phytopathology* 49 (3): 283-285.
- Chet, I. 1987. *Trichoderma* - Application, mode of action, and potential as a biocontrol agent of soil-borne plant pathogenic fungi. p. 137-160. *In*: I. Chet (ed.), Innovative approaches to plant diseases. Jhon Wiley and Sons, New York, U.S.A.
- Cook, R. J. 1993. Making greater use of introduced microorganisms for biological control of pathogens. *Annual Review of Phytopathology* 31: 53-80.
- Cook, R. J.; K. F. Baker. 1983. The Nature and Practice of Biological Control of Plant Pathogens. The American Phytopathology Society. St. Paul, Minnesota, U.S.A.
- Costa da, J. L. S.; J. A. Menge; W. L. Casale; L. L. S. da Costa. 1996. Investigations on some of the mechanisms by which bioenhanced mulches can suppress *Phytophthora* root rot of avocado. *Microbiological Research* 151 (2): 183-192.
- Cruz, Maylin; Irma de la C. Heredia. 2001. Antagonismo de *Trichoderma* spp., y *Bacillus subtilis* frente a hongos asociados a las semillas de

- arroz. p. 149. *En*: Resúmenes 41 Reunión Anual de la Sociedad Fitopatológica Americana, División del Caribe (APS-CD). Matanzas, Cuba, junio de 2001.
- Cuba. 2002. Registro Central de Plaguicidas. Lista oficial de plaguicidas autorizados. Ministerio de la Agricultura, La Habana, Cuba: 383 p.
- D'Addabbo, T.; N. Sasanelli. 1997. The use of organic amendments against plant-parasitic nematodes (*Daucus carota* and *Lycopersicon esculentum*). *Culture Protette* 26 (11): 93-97.
- D'Addabbo, T.; F. Lamberti; N. Sasanelli; G. Fontanazza; M. Patumi. 1997. The suppressive effect of soil amendments with olive residues on *Meloidogyne incognita* (*Lycopersicon esculentum*). *Nematologia Mediterranea* 25 (2):195-198.
- Dennis, C.; J. Webster. 1971a. Antagonistic properties of species-groups of *Trichoderma*. I. Production of nonvolatile antibiotic. *Transactions of the British Mycological Society* 57: 25-39.
- Dennis, C.; J. Webster. 1971b. Antagonistic properties of *Trichoderma* of volatile antibiotics. *Transactions of the British Mycological Society* 57: 41-48.
- Díaz de Villegas, María E. 1999. Producción y purificación de sideróforos a partir de *Pseudomonas* sp. PSS. Tesis en opción al Título de Master en Microbiología. Universidad de La Habana, La Habana, Cuba: 63 p.
- Dickinson, J. M.; J. R. Hanson; A. Trunch. 1995. Metabolites of some biological control agents. *Pesticides Science* 44 (4): 389-393.
- Dohroo, N. P.; O. Sharma; M. Sharma; R. S. Sarlach. 1994. Effect of organic amendments of soil on rhizome rot, nematodes and rhizosphere mycoflora of cumin (*Cuminum cyminum* L.). *Annals of Biology Ludhiana* 10 (2): 208-210.
- Dubos, B. 1987. Fungal antagonism in aerial agrobiocenosis. p. 107-136. *In*: I. Chet (ed.), *Innovative approaches to plant disease control*. John Wiley and Sons, New York, U.S.A.
- Ehteshamul, S.; M. Abid; V. Sultana; J. Ara; A. Ghaffar. 1996. Use of organic amendments on the efficacy of biocontrol agents in the control of root rot and root knot disease complex of okra. *Nematologia Mediterranea* 24 (1): 13-16.
- Elad, Y. 1996. Use of Trichodex (*Trichoderma harzianum* T 39) in IPM of *Botrytis cinerea* and other diseases. *Physiology Plant Pathology* 9: 54-55.
- Elad, Y.; I. J. J. Misaghi. 1984. Plant microbe and microbe-microbe. p. 21-46. *In*: G. Cooper-Driver; T. Swain; E. E. Conn (eds.), *Chemically Mediated Interactions between Plants and Other Organism*. Plenum

- Press, New York, U.S.A.
- Fravel, D. R.; W. J. Connick; J. A. Lewis. 1998. p. 187-201. *In*: H. D. Burges (ed.), *Formulation of Microbial Biopesticides: Beneficial Microorganisms, Nematodes and Seed Treatments*. Kluwer Press, Dordrecht, The Netherlands.
- Fujimoto, D.K.; D.M. Weller; L.S. Thomashow. 1995. Role of secondary metabolites in root disease production. p. 330-347. *In*: K.M. Inderjit; M. Dakshini; F.A. Einheling (eds.), *Allelopathy, Organisms, Processes and Applications*. ACS Symposium Series 582. American Chemical Society, Washington D.C., U.S.A.
- Gapasin, R. M. 1995. Evaluation of *Paecilomyces lilacinus* (Thom.) Samson for the control of *Pratylenchus* sp. in corn. *Biocontrol* 1(4): 35-39.
- Glick, B.R.; Y. Basham 1997. Genetic manipulation of plant growth-promoting bacteria to enhance biocontrol of phytopathogens. *Biotechnology Advances* 15: 353-378.
- González, E. 2001. Selección de aislamientos nativos de *Verticillium lecanii* (Zimm.) Viégas para la lucha biológica de plagas en el cultivo del café (*Coffea arabica* L.). Tesis en opción al Título de Master en Ciencias en Agroecología y Agricultura Sostenible. Universidad Agraria de La Habana, La Habana, Cuba: 77 p.
- González, E.; Magalys Bermúdez; Idania Peña; E. Lovaina; L. Calzada. 1995. Biocontrol de la roya del café (*Hemileia vastatrix*) en la zona centro occidental de Cuba con *Verticillium lecanii*. p. 45. *En*: Resúmenes V Simposio Internacional de Sanidad Vegetal en la Agricultura Tropical. Centro de Investigaciones Agropecuarias, Villa Clara, Cuba, junio de 1995.
- González, E.; Martínez, B. 1996. Efectividad in vitro de dos cepas de *Verticillium lecanii* (Zimm.) Viégas frente a *Hemileia vastatrix* Berk. y Br. *Revista Protección Vegetal* 11 (3): 173-178.
- González, E.; Martínez, B. 1998. Control biológico de la roya del café (*Hemileia vastatrix* Berk. y Br.) con *Verticillium lecanii* (Zimm.) Viégas. *Revista Protección Vegetal* 13 (2): 81-84.
- González, María E.; Annia Hernández; Miruldys Valcárcel. 2001. Biocontrol de *Capnodium* sp. y *Coccus viridis* en el cultivo del café (*Coffea* sp.) mediante la aplicación del Rizobac, biopreparado de origen bacteriano. p. 89-90. *En*: Resúmenes 41 Reunión Anual de la Sociedad Fitopatológica Americana, División del Caribe (APS-CD). Matanzas, Cuba, junio de 2001.
- Harman, G.E.; C.P. Kubicek. 1998. *Trichoderma* and *Gliocladium*: Enzymes,

- Biological Control and Commercial Applications, Vol. 2. Taylor and Francis. London, UK: 393 p.
- Hernández, Annia; Yuselin Toledo; Mayté Álvarez; Ramona Márquez. 2001. Estudio del efecto antagónico del Rizobac ante *Fusarium* sp. En el cultivo del gladiolo (*Gladiolus comunis*). p. 149-150. *En: Resúmenes de la 41 Reunión Anual de la Sociedad Fitopatológica Americana, División del Caribe (APS-CD)*. Matanzas, Cuba, junio de 2001.
- Hofstein, R.; A.C. Chapple. 1999. Commercial development of biofungicides. p. 77-102. *In: F.R. Hall; J.J. Menn (eds.), Biopesticides: Use and Delivery*. Humana Press, Totowa, New Jersey, U.S.A.
- Jarvis, W.R. 1983. Progress in the biological control of plant diseases. p. 1095-1099. *In: Proceeding 10th Congress Plant Protection*. Brighton, UK.
- Jeyarajam, R. 1989. Biological control of plant diseases. p. 375-390. *In: R. Jeyarajam (ed.), Perspectives in Plant Pathology. Today and Tomorrow's Printers and Publishers, New Delhi, India.*
- Keinath, A. P. 1996. Soil amendment with cabbage residue and crop rotation to reduce gummy stem blight and increase growth and yield of watermelon. *Plant Disease* 80 (5): 564-570.
- Kulkarni, S. A.; K. Srikant; S. Kulkarni. 1995. Effect of organic amendments and green manuring on the survival of collar rot fungus of groundnut. *Current Research University of Agricultural Sciences Bangalore* 24(8): 135-136.
- Kumar, S.; S. Vadivelu. 1996. Evaluation of organic amendments for the management of root-knot and reniform nematodes infecting brinjal, as compared with carbofuran. *Pest Management in Horticultural Ecosystems* 2 (2): 71-74.
- Laha; G. S.; R. P. Singh; J. P. Verma. 1996. Role of growth promoting rhizobacteria in plant disease management. p. 233-241. *In: V. P. Agnihotri; O. Prakash; R. Kishun; K. Misra (eds.), Disease Scenario in Crop Plants, Vol. II- Cereals, Pulses, Oilseeds and Cash Crops*. Int'l Books and Periodicals, New Delhi, India.
- Lumsden, R. D.; J.F. Walter; C.P. Baker; 1996. Development of *Gliocladium virens* for damping-off disease control. *Canadian Journal Plant Pathology* 18: 463-418.
- Martínez, B.; Y. Placencia; E. González. 1994. Efecto antibiótico de *Verticillium lecanii* frente a la roya del cafeto. p. 23. *En: Resúmenes II Encuentro Nacional de Bioplaguicidas*. La Habana, Cuba, 25-27 de octubre de 1994.

- Martínez, C.; O. Bernard; J.C. Baccou. 1999. Stimulation des défenses naturelles des plantes. Cellulases et protéases d'origine biologique: deux exemples d'éliciteurs. *Phytoma* 521: 16-19.
- Martínez, M. 2001. Comportamiento de la roya del café y su relación con el antagonista *Verticillium lecanii* (Zimm.) Viégas en condiciones naturales. Tesis en opción al Título de Master en Ciencias en Agroecología y Agricultura Sostenible. Universidad Agraria de la Habana, La Habana, Cuba: 79 p.
- Martínez, María de la A. 1996. Biología, ecología y manejo integrado de chinches harinosas del café (Homoptera: Pseudococcidae). Tesis en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. Ministerio de Educación Superior, La Habana, Cuba: 96 p.
- Moliszewska, E.; I. Pisarek. 1996. Influence of humic substances on the growth of two phytopathogenic soil fungi. *Environment International* 22 (5): 579-584.
- Muhammad, F. M.; M. N. Bajwa; M. A. Nasir; F. Mamad. 1995. Effect of different soil amendments on the incidence of common scab of potato. *Pakistan Journal of Phytopathology* 7 (2): 202-203.
- Mukhopadhyay, A. N. 1994. Biocontrol of soil-borne fungal plant pathogens: current status, further prospects and potential limitations. *Indian Phytopathol.* 47 (2): 119-126.
- Pérez, Nilda; Echemendía, Mayra. 1994. Efectividad de *Trichoderma* spp. en el control de la mancha púrpura. *Cultivos Tropicales* 15 (3): 53.
- Pérez, Nilda; Echemendía, Mayra. 1993. Control biológico de la roya de la caña de azúcar. p. 14. *En: Resúmenes I Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica.* Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias de la Habana, La Habana, Cuba, 12-14 de mayo de 1993.
- Pérez, Nilda. 1999. Control Biológico de *Alternaria porri* (Ellis) Cif. en cebolla con *Trichoderma* spp. Tesis en opción al Título de Master en Ciencias en Agroecología y Agricultura Sostenible. Universidad Agraria de La Habana, La Habana, Cuba: 56 p.
- Ricard, T. 2002. Development of Biofungicides. *Biotech International* 14 (4): 8-11.
- Sticher, L.; B. Mauch-Mani; J.P. Mettraux. 1997. Systemic Acquired Resistance. *Annual Review of Phytopathology* 35: 271-291.
- Sundheim, L.; A. Tronsmo. 1986. Hyperparasites in biological control. p. 53-70. *In: K. G. Mukerji; K. L. Garg (eds.), Biocontrol of Plant Diseases,* vol 1. CRC Press, Florida, U.S.A.
- Thomashow, L.S.; D.M. Weller. 1995. Current concepts in the use of

- introduced bacteria for biological disease control: mechanisms and antifungal metabolites. p. 187-235. *In*: G. Stacey; N. Keen (eds.), Plant Microbe Interactions Vol I. Chapman and Hall, New York, U.S.A.
- Thomashow. L.S.; D.M. Weller. 1990. Role of antibiotics and siderophores in biological control of take-all disease of wheat. *Plant Soil* 129: 93-99.
- Tronsmo, A. 1986. Use of *Trichoderma* spp. in biocontrol of necrotrophic pathogens. p. 348-362. *In*: N. J. Fokkema; J. van den Heuvel (eds.), Microbiology of the Phyllosphere. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Tronsmo, A.; L.G. Hjeljord. 1998. Biological control with *Trichoderma* species. p. 111-124. *In*: G.S. Boland; L. D. Kuykendall (eds.), Plant-Microbe Interactions and Biological Control. Marcell Dekker, New York, U.S.A.
- Tsay, T. T.; Y. H. Cheng; H. Y. Cheng; Y. Y. Lin; W. S. Wu. 1995. Occurrence and control of nematode diseases on bulbous flowers. *Plant Pathology Bulletin* 4 (4): 180-192.
- Umarao, T.; B. K. Goswami. 1996. Comparative efficacy of soil amendments with carbofuran against root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* on cowpea. *Pesticide Research Journal* 8 (1): 87-89.
- Velikanov, L. I.; E. Y. Cukhonosenko; S. I. Zavelishko. 1994. Comparison of hyperparasitic and antibiotic activity of the genus *Trichoderma* Pers.: Fr, and *Gliocladium virens* Miller. *Mikologiya I Fitopatologiya* 28 (6): 52-56.
- Villa, P. 1999. Producción de metabolitos a partir de *Pseudomonas* fluorescentes para su uso en el control biológico de hongos fitopatógenos. Tesis en opción al Título de Master en Microbiología. Universidad de La Habana, La Habana, Cuba: 58 p.
- Villa, Pilar. 1994. Estudios básicos para la obtención de un biopreparado a partir de pseudomonas fluorescentes. p. 62. *En*: Resúmenes II Encuentro Nacional de Bioplaguicidas. La Habana, Cuba, 25 al 27 de octubre de 1994.
- Villa, Pilar; Marusia Stefanova; S. Palma; D. Gómez. 2000a. Identificación de *Pseudomonas* sp., cepa PSS con efecto antagónico contra hongos fitopatógenos. Informe de investigación. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), La Habana, Cuba: 10 p.
- Villa, Pilar; María E. Díaz de Villegas; Marusia Stefanova. 2000b. Gluticid: Producto biológico cubano para el control de fitopatógenos foliares y del suelo. p. 293-301. *En*: Elizabeth Cornejo; Jéssica Córdova; Gloria

- Cornejo; G. Zvietcovich; Sonia Abarca; J. Calle; M. Valdivia; Julia Delgado (eds.), Vigésima Reunión Latinoamericana de Rhizobiología, Arequipa, Perú, 22 al 28 de octubre de 2000.
- Villa, Pilar; María E. Díaz de Villegas; Marusia Stefanova; Georgina Michelena. 2001. Proceso biotecnológico para la producción de un fungicida a partir de *Pseudomonas* sp. cepa PSS, con fines fitosanitarios. p. 65-74. *En*: L. Gomero y Milagros Tazza (ed.), Innovación de Tecnologías Ecológicas para el Agro. Ediciones RAAA, Lima, Perú.
- Weller, D. M. 1988. Biological control of soil-borne plant pathogens in the rhizosphere with bacteria. *Annual Review Phytopathology* 26: 379-407.
- Whipps, J. M. 1997. Developments in the biological control of soil-borne plants pathogens. p. 1-134. *In*: J. A. Calow (ed.), *Advances in Botanical Research* volume 26. Academic Press, London, UK.
- Wilson, C. L. 1997. Biological control and plant diseases - a new paradigm. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* 19: 158-159.
- Wilson, C. L.; M. E. Wisniewski (eds.). 1995. *Biological Control of Postharvest Diseases: Theory and Practice*. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, U.S.A.: 234 p.
- Wilson, M. 1997. Biocontrol of aerial plant diseases in agriculture and horticulture: current approaches and future prospects. *Journal Indian Microbiology and Biotechnology* 19 (3):188 -191.
- Wilson, M.; P. A. Backman. 1998. Biological Control of Plant Pathogens. p. 309-335. *In*: J. R. Ruberson; M. Dekker (eds.), *Handbook of Pest Management*. Academic Press, New York, U.S.A.
- Zambolim, L.; M. A. Santos; W. F. Becker; G. M. Chaves. 1996. Agro-waste soil amendments for the control of *Meloidogyne javanica* on tomato. *Fitopatologia Brasileira* 21 (2): 250-253.

Capítulo VIII

***TRICHODERMA SPP.* COMO AGENTE DE CONTROL BIOLÓGICO**

INTRODUCCIÓN

Entre las estrategias que se han implementado para el control biológico de los organismos fitopatógenos se encuentra la utilización de microorganismos antagonistas, entre los más estudiados y utilizados están los hongos pertenecientes al género *Trichoderma* Persoon ex Gray, 1821. Aislamientos de varias especies, entre las que sobresalen *Trichoderma harzianum* Rifai, *Trichoderma viride* Pers.: Fries, y *Trichoderma hamatum* (Bon.) (Tronsmo y Hjeljord, 1998), se han utilizado con éxito en una variedad amplia de cultivos (algodonero, toronja, manzano, vid, fresa, zanahoria, cebolla, tomate, lechuga, pimiento, tabaco), contra patógenos que se transmiten por el suelo y las semillas, patógenos foliares y de los productos almacenados (Chet e Inbar, 1994; Björkman, 1995; Wilson y Backman, 1998; Khetan, 2001). El propósito de este capítulo es abordar aspectos claves del conocimiento de los hongos pertenecientes al género *Trichoderma* que ayudaran a una mejor comprensión de su utilidad, exponer el estado de las investigaciones y uso en Cuba y presentar un estudio de caso que ilustra las diferentes etapas de la metodología de investigación para hallar aislamientos de *Trichoderma* efectivos en el control de un patógeno foliar: *Alternaria porri* (Ellis) Cif.

MECANISMOS DE ACCIÓN ANTAGÓNICA

En el capítulo siete se hizo referencia a los mecanismos de acción antagónica: micoparasitismo, antibiosis y competencia por los nutrientes, el conocimiento de los mismos es un requisito para la elaboración de un pro-

grama de control biológico exitoso. Estos mecanismos no son mutuamente excluyentes, *Trichoderma* puede actuar fundamentalmente a través de uno, por la acción combinada de varios de éstos o por otros que no caen en ninguna de estas categorías clásicas, como la resistencia sistémica inducida, lo cual dependerá de la raza del antagonista, la planta, el patógeno objeto de control y de las condiciones ambientales. Un caso donde los mecanismos de control biológico han sido estudiados en detalle es el de la interacción *Botrytis-Trichoderma*. El control de *Botrytis* por *Trichoderma*, en uvas, ocurre mediante la competencia por los nutrientes y por micoparasitismo de los esclerocios, lo que resulta en la supresión de la habilidad del patógeno para causar y perpetuar la enfermedad (Elad *et al.*, 1994; Elad *et al.*, 1995; Wilson, 1997).

Micoparasitismo

El micoparasitismo como mecanismo de acción antagónica en *Trichoderma* ha sido ampliamente estudiado (Chet, 1987; Chet e Inbar, 1994; De la Cruz *et al.*, 1995a, b), parte de estos estudios han sido publicados en extensas revisiones (Baker, 1987; Whipps *et al.*, 1988; Lorito, 1998; Chet *et al.*, 1998).

Este es un proceso complejo que ocurre en cuatro etapas (figura 8.1), el desarrollo de cada una depende de los hongos involucrados, de la acción biotrófica o necrotrófica del antagonista y de las condiciones ambientales. En los estudios de Chet (1987) y Chet *et al.* (1998) se puede encontrar una explicación detallada de cada una de estas etapas.

- **Crecimiento quimiotrófico.** El quimiotropismo positivo es el crecimiento directo hacia un estímulo químico (Chet, 1990). En la etapa inicial, de localización del hospedante, las hifas de *Trichoderma* crecen en dirección al patógeno como respuesta a un estímulo químico, se ha demostrado que *Trichoderma* puede detectar a distancia a sus posibles hospedantes.
- **Reconocimiento.** La segunda etapa es el reconocimiento. Las investigaciones realizadas a lo largo de muchos años con un número considerable de razas de *Trichoderma* y de especies de hongos fitopatógenos han demostrado que éste es efectivo sólo contra patógenos específicos. Bell *et al.* (1982) detectaron en un experimento en cultivo dual que *Trichoderma* puede tener una efectividad elevada sobre un aislamiento de un patógeno y tener un efecto mí-

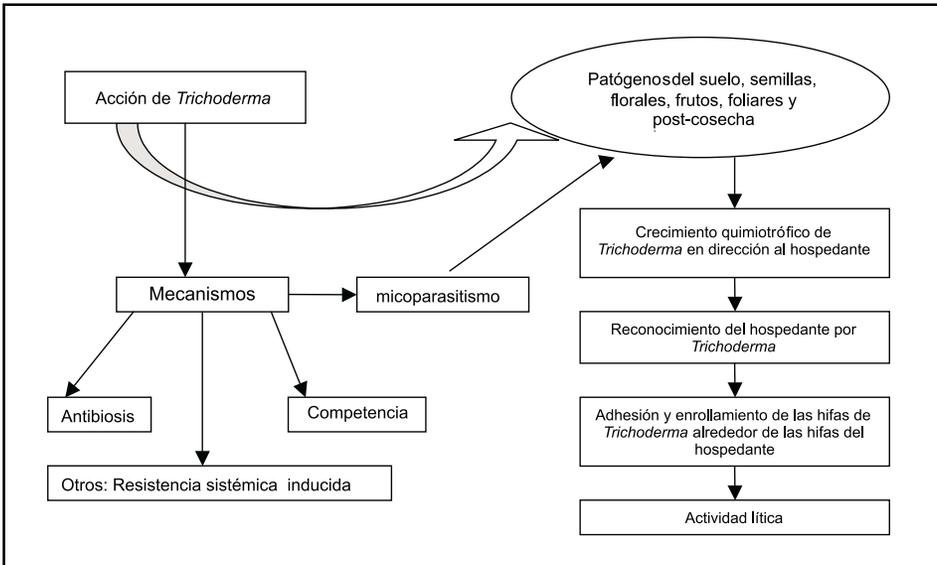


Figura 8.1 Mecanismos de acción antagonista de *Trichoderma*

nimo sobre otro aislamiento de la misma especie. El conocimiento de esta especificidad condujo a la idea de que el reconocimiento molecular entre *Trichoderma* y el hospedante es el evento esencial que precede al proceso antagonista (Chet *et al.*, 1998). El reconocimiento se realiza a través de interacciones lectinas-carbohidratos. Las lectinas son proteínas enlazadas a azúcares o glicoproteínas las cuales aglutinan células y están involucradas en las interacciones entre los componentes de la superficie de las células y su ambiente extracelular (Barondes, 1981 citado por Chet *et al.*, 1998). La producción de lectinas se ha investigado en *Rhizoctonia solani* (Kühn) (Barak y Chet, 1986) y *Sclerotium rolfsii* (Sacc.) (Barak y Chet, 1990). En todos los casos se encontraron evidencias directas de que las lectinas están involucradas en el micoparasitismo (Inbar y Chet, 1992, 1994).

- **Adhesión y enrollamiento.** Si la respuesta de reconocimiento es positiva las hifas de *Trichoderma* se adhieren a las hifas del hospedante mediante la formación de estructuras parecidas a ganchos y apresorios, y se enrollan alrededor de éstas (Golzman *et al.*, 1994). Esta es la fase que precede el inicio de la actividad de enzimas líticas.
- **Actividad lítica.** En esa etapa ocurre la producción de enzimas líticas extracelulares, fundamentalmente quitinasas, gluconasas y

proteasas, que degradan las paredes celulares y posibilitan la penetración (Haran *et al.*, 1996). Los puntos donde se produce la lisis y aparecen los orificios por donde penetra el micoparásito en las hifas del hongo hospedante, pueden ser observados al microscopio electrónico. La actividad de las enzimas quitinolíticas ha sido estudiada extensivamente, así como su función en el micoparasitismo (Lorito, 1998). Elad *et al.* (1982) recomendaron que los aislamientos de *Trichoderma* pueden ser seleccionados como agentes de control biológico en base a su capacidad para producir β -1,3-D glucanasa y quitinasa en presencia de quitina y glucan.

Antibiosis

Muchas razas de *Trichoderma* producen metabolitos secundarios volátiles y no volátiles, algunos de los cuales inhiben otros microorganismos con los que no hacen contacto físico, tales sustancias inhibitorias son consideradas antibióticos (Hjeljord y Tronsmo, 1998). Dennis y Webster (1971a) se encuentran entre los primeros investigadores en realizar los trabajos más completos acerca del papel de los antibióticos producidos por hongos del género *Trichoderma* sobre los patógenos de la plantas. Ellos relacionaron la actividad antibiótica de *Trichoderma* con compuestos no volátiles, entre los que se encontraba uno identificado como trichodermin y otros antibióticos peptídicos. Más tarde encontraron que la actividad antibiótica de algunos aislamientos era debida a la producción de compuestos volátiles y notaron que de los aislamientos más activos se desprendía un fuerte olor a coco (Dennis y Webster (1971b).

En la primera mitad de la década de los 80 del siglo pasado, el criterio prevaleciente, resumido por Chet (1987) era que aunque muchos aislamientos de *Trichoderma* podían producir sustancias inhibitorias la evidencia de su importancia en el control biológico era insuficiente. Entre los elementos que ayudaron a sustentar esta afirmación se encontraba el hecho de que los antagonistas más efectivos pertenecían a la especie *T. harzianum* y cuando su actividad fue estudiada ningún antibiótico típico pudo ser detectado. Esta opinión fue cambiando en la medida en que se obtuvieron nuevos resultados.

Los estudios de Lifschitz *et al.* (1986) demostraron que los antibióticos producidos por *Trichoderma* eran efectivos en el control de *Pythium* spp. en chícharo. Claydon *et al.* (1987) identificaron antibióticos volátiles del tipo de las pironas (5,6-dimetoxi-4-didroxy -3-(2-metil-1-oxohex-4-enyl)-2-

pirona) producidos por *T. harzianum*, con acción sobre varios hongos, cuando esos antibióticos fueron adicionados a una mezcla de suelo y turba se redujo significativamente la incidencia de *R. solani*.

Se han identificado nuevos metabolitos con actividades antifúngicas y se ha ido profundizando en el rol que juega la antibiosis como mecanismo de control biológico (Velikanov *et al.*, 1994; Shkalikov y Shekhovtsova, 1994; Filipchuk *et al.*, 1995; Correa *et al.*, 1995). La estructura y proceso de biosíntesis de algunos de estos metabolitos ha sido estudiada y se ha evaluado la capacidad de biosíntesis de *Trichoderma* y *Gliocladium* como un criterio para su aplicación como agente de control biológico (Dickinson *et al.*, 1995).

Competencia

La presencia de *Trichoderma* en suelos agrícolas y naturales en todo el mundo se considera la primera evidencia de que éste es un excelente competidor por el espacio y los recursos nutricionales. *Trichoderma* está biológicamente adaptado para una colonización agresiva de los nutrientes disponibles y para sobrevivir en forma de clamidosporas o conidios cuando éstos son escasos. La rápida velocidad de crecimiento, esporulación abundante y rango amplio de sustratos sobre los que puede crecer hace que sea muy eficiente como saprofito y cuando se usa como agente de control biológico, en situaciones que involucren alguna forma de competencia por los nutrientes (Hjeljord y Tronsmo, 1998).

La competencia puede producirse por tejidos necróticos, exudados de las plantas y sitios lesionados o con heridas. Un ejemplo típico de competencia por tejidos necróticos es el que se presenta entre *Trichoderma* y dos patógenos necrotróficos como *Botrytis* spp. y *Sclerotinia* spp. que invaden los tejidos senescentes y muertos de las plantas y de allí pasan a los tejidos sanos. Las aplicaciones de *Trichoderma* sobre la vid durante la floración retardan la colonización por *Botrytis*, por competencia por los tejidos senescentes y reducen el nivel de la enfermedad en los frutos (Elad y Kirshner, 1993; Elad, 2000).

El conocimiento de la competencia por el exudado de las plantas entre *Pythium* spp. y *Trichoderma* ha sido utilizado con éxito para establecer un sistema de control biológico de este patógeno (Harman y Björkman, 1998); diferentes especies de *Pythium* responden muy rápido al exudado de las semillas, los esporangios germinan e infectan éstas en unas pocas horas (4-6) después de la siembra en un suelo infestado, el tratamiento de las

semillas con *Trichoderma* reduce la germinación de los esporangios (Harman y Nelson, 1994), dicha reducción se atribuye a la competencia por los estimulantes de la germinación. La competencia por los nutrientes en los sitios donde se han producido heridas también ha sido aprovechada con éxito en el control biológico, un ejemplo clásico es del control de *Chondrostereum purpureum* (Pers.:Fr.) Pouzar con *T. viride* (Grosclaude *et al.*, 1973).

En condiciones naturales muchas veces resulta complejo conocer si dicho mecanismo está envuelto en la regulación. Las enmiendas al suelo con materia orgánica o la infestación artificial de éste con diferentes densidades de inóculo de los patógenos y del agente de control biológico han sido utilizadas para investigar la competencia.

CONTROL BIOLÓGICO CON *TRICHODERMA* EN DIFERENTES AMBIENTES

El control con *Trichoderma* puede realizarse en los diferentes ambientes donde se produce el ataque de los patógenos. La selección del método de aplicación se hace teniendo en cuenta los patógenos que se pretenden controlar y el sitio de la planta donde se produce el ataque. El control se aplica a las semillas; al suelo; en la superficie aérea, a las flores, frutos y hojas y a los productos cosechados, en éstos últimos es muy difícil lograr un control efectivo y hasta el presente es donde menor desarrollado se ha alcanzado (Tronsmo y Hjeljord, 1998). En la tabla 8.1 aparecen biopreparados que han sido registrados y comercializados para su uso en el control de patógenos en diferentes ambientes.

Control biológico en las semillas. El tratamiento de semillas tiene dos objetivos. El primero es la protección; se define como la habilidad del tratamiento para proteger las semillas contra los agentes patógenos que ésta conlleva o de los que habitan en el suelo, para este propósito necesita ser efectivo en un período corto de tiempo que puede ir de 7 a 14 días. El segundo es la protección en el tiempo de las partes subterráneas de la planta; algunas cepas de *Trichoderma* tienen habilidad para competir en la rizosfera y son capaces de colonizar la raíz y el espacio adyacente a ésta a partir de la semilla tratada (Harman y Björkman, 1998).

Este es uno de los métodos más utilizados por las ventajas que ofrece. En primer lugar facilita el establecimiento de *Trichoderma* en la rizosfera de la planta, se pueden tratar de una vez cantidades grandes de semillas con mucha eficiencia y la cantidad de *Trichoderma* que se necesita es rela-

Tabla 8.1 Biopreparados registrados basados en *Trichoderma* spp.

Especie	Producto	Productor	Patógeno a controlar
<i>T. harzianum</i> (raza 1295-22)	RootShield T-22 Planter Box	BioWorks	<i>Pythium</i> spp. <i>Rhizoctonia solani</i> <i>Sclerotinia homoeocarpa</i> <i>Fusarium</i> spp. <i>Botrytis cinerea</i>
<i>T. harzianum</i> + <i>T. viride</i>	Promote	JH Biotech	<i>Pythium</i> spp. <i>R. solani</i> . <i>Fusarium</i> spp.
<i>T. harzianum</i> (ATCC 20475) + <i>T. polysporum</i> (ATCC 20475)	Binab T	Bioinnovation AB	<i>Chondrostereum purpureum</i> <i>Endothia parasitica</i> <i>Verticillium malthousei</i> <i>Heterobasidium annosum</i> <i>Armillaria mellea</i> <i>Ceratocystis ulmi</i>
<i>T. harzianum</i> (raza T-39)	Trichodex	Makhteshim Chemical Works	<i>B. cinerea</i> <i>Uncinula necator</i> <i>Erysiphe cichoracearum</i>
<i>T. virens</i> (G20)	SoilGard	Termo-Trilogy	<i>Phytophthora</i> spp. <i>Thielaviopsis</i> spp. <i>Pythium</i> spp. <i>Fusarium</i> spp. <i>Sclerotinia</i> spp. <i>Sclerotium rolfsii</i> <i>R. solani</i>

tivamente pequeña si se compara con la que se adiciona al sustrato para la siembra en semilleros o para la aplicación directa al campo, lo que resulta mucho más económico.

El tratamiento puede realizarse por diferentes métodos: aplicación del producto en forma de polvo seco, usando un ingrediente inerte, como por ejemplo el grafito, para aumentar la adherencia a las semillas; aplicación del biopreparado en forma de pasta en mezcla con un ingrediente que forme una película adherente y la cobertura por peletización (Harman y Björkman, 1998).

Un elemento a considerar cuando se tratan semillas es la velocidad con que el patógeno y el antagonista colonizan ésta. Muchas especies de *Trichoderma* tienen una velocidad de germinación lenta respecto de algunos patógenos muy agresivos, por ejemplo *P. ultimum* es capaz de germinar

después de dos horas en contacto con los exudados de las raíces, lo cual disminuye el tiempo de colonización de la semilla (Harman y Nelson, 1994). Taylor *et al.* (1991) recomiendan en esos casos la doble peletización de la semilla, primero se aplica el antagonista y después un nutriente, cuando la semilla se pone en contacto con la humedad del suelo el nutriente adicionado se disuelve y *Trichoderma* puede germinar rápidamente y colonizar antes que el patógeno sea estimulado por las secreciones de las raíces. Se sugiere tener esto en consideración en el momento de diseñar formulaciones para la protección de las semillas.

Control biológico en el suelo. El mayor énfasis en las investigaciones con *Trichoderma* se ha puesto en el control de los patógenos que tienen el suelo como hábitat. Una de las razones fundamentales de esa tendencia es que el ambiente del suelo es mucho más favorable para el establecimiento de un antagonista que otros, como por ejemplo la filosfera. De hecho el control biológico con *Trichoderma* ha sido más exitoso en la rizosfera que en otros ambientes (Khetan, 2001).

El control biológico en el suelo y en las semillas está muy relacionado. Una gran parte de las aplicaciones de *Trichoderma* para el control de patógenos que habitan el suelo se realiza a través del tratamiento de semillas tal como se describió anteriormente. Uno de los objetivos de aplicar *Trichoderma* a las semillas es establecer el agente localmente en la rizosfera (Harman y Nelson, 1994). Otros métodos para introducir biopreparados de *Trichoderma* en el suelo son la aplicación directa al surco o a voleo, en el momento de la siembra, en estos casos generalmente como gránulos, por ejemplo *T. virens* formulado como SoilGard (tabla 8.1) o incorporado junto con enmiendas orgánicas (Tronsmo y Hjeljord, 1998).

Gran parte del éxito que se obtiene con el uso de biopreparados en base a *Trichoderma* dependen del método de aplicación, por esa razón a la mezcla con enmiendas orgánicas se ha prestado tanta atención. La introducción de diferentes enmiendas orgánicas al suelo previo a la siembra y a la aplicación de *Trichoderma* condiciona un ambiente favorable para la multiplicación y colonización de éste. Se ha comprobado que la efectividad es aún mayor si *Trichoderma* se incorpora como parte de un compost (Hoitink *et al.*, 1997).

Diferentes razas de *T. harzianum* han resultado muy efectivas en el control de *Fusarium*, *Pythium*, *Phytophthora* y *Rhizoctonia* en maíz, algodón, soya, papa, tomate, tabaco, remolacha, frijoles, maní y frutales (Khetan, 2001).

Control en la superficie aérea (flores, frutos y follaje). Aunque el control biológico de las enfermedades fungosas en la superficie aérea de las plantas puede ser posible aplicando principios semejantes a los que se aplican para el control de las enfermedades de las raíces éste difiere del último en aspectos esenciales, en primer lugar ha sido menos estudiado - entre otras causas- debido a su efectividad moderada, que con frecuencia es menor del 50 %, a un espectro de acción estrecho y velocidad de acción lenta (Elad, 1990); y por otra parte, a la disponibilidad de fungicidas relativamente efectivos contra la mayoría de los patógenos fungosos foliares (Wilson, 1997).

La efectividad moderada puede deberse a que el ambiente en la filosfera es un hábitat más hostil para los microorganismos que el suelo. La escasa disponibilidad de nutrientes, las temperaturas extremas, el polvo y la intensidad de la radiación solar son condiciones que dificultan el establecimiento de los antagonistas (Elad, 1990), sólo aquellos muy agresivos pueden establecerse por si mismos antes de la llegada de los patógenos y por tanto ser capaces de frenar el desarrollo de la enfermedad; entre los antagonistas con esas características se encuentran especies pertenecientes al género *Trichoderma* (Elad y Kirshner, 1993; Elad, 1994).

Las formulaciones diseñadas para aplicaciones en la filosfera generalmente contienen aditivos (nutrientes y adherentes) para facilitar la colonización por *Trichoderma*. Se ha de tener en cuenta que esos aditivos no estimulen al patógeno bajo las condiciones de escasez de nutrientes que existe en ese lugar.

Hasta hace poco tiempo las investigaciones realizadas sobre control biológico de las enfermedades foliares estaban centradas en el control de patógenos bacterianos. El hecho de que en los últimos años se haya incrementado el número de casos de fungoresistencia, por ejemplo, a los benzimidazoles y dicarboximidas (Wilson, 1997), la preocupación por los efectos negativos de los fungicidas sobre el agroecosistema y el elevado costo de obtención de nuevos productos plantea la necesidad de desarrollar estrategias de control alternativas y por tanto se ha incentivado el interés en el control biológico de las enfermedades foliares causadas por hongos.

Inicialmente las investigaciones se concentraron en el uso de *Trichoderma* spp. y *Gliocladium* spp., para el control de *Botrytis cinerea*, en uva y fresa (Wilson y Backman, 1998). *B. cinerea* es uno de los patógenos más nocivos para una amplia variedad de cultivos, *T. harzianum* ha sido usado exitosamente en el control de éste en numerosos países (Elad y Kirshner, 1993; Elad y Shtienberg, 1995; O'Neill *et al.*, 1996).

Los primeros resultados obtenidos con *B. cinerea* estimularon la búsqueda y se amplió el rango de patógenos foliares que pueden ser potencialmente controlados con *Trichoderma* spp. Elad *et al.* (1994) hicieron un grupo de recomendaciones para el control de *B. cinerea* con *T. harzianum* que pueden resultar válidas para el control de otros patógenos en la superficie aérea de las plantas. Las recomendaciones están basadas en la vigilancia de las condiciones climáticas, que pueden favorecer el desarrollo de la enfermedad, en específico la humedad y temperatura.

ESTADO DE LAS INVESTIGACIONES Y USO DE *TRICHODERMA* EN CUBA

Trichoderma es el primer antagonista de que se tiene noticias en Cuba. Las investigaciones con éste alcanzaron su mayor desarrollo en la década de los 90 del siglo pasado y abarcaron aspectos relacionados con su biología, búsqueda de cepas promisorias, modo de acción, producción masiva, métodos de aplicación y compatibilidad con otras medidas de control de plagas y microorganismos que se utilizan en la agricultura cubana como agentes de control biológico y biofertilizantes (Pérez *et al.*, 1990a; Andreu *et al.*, 1991; Fernández-Larrea *et al.*, 1992; Sandoval y López, 1994; Sáenz *et al.*, 1994; García y Sandoval, 1994; Pérez *et al.*, 1994; Fernández, 1995; Sandoval *et al.* 1995; Stefanova *et al.*, 1995).

Control de patógenos del suelo

La mayor parte de las investigaciones conducidas con *Trichoderma* en diferentes instituciones científicas y académicas cubanas han estado dirigidas al control de hongos fitopatógenos habitantes del suelo (Pérez *et al.*, 1989; Andreu *et al.*, 1991; Echemendía *et al.*, 1991; Alfonso, 1991; Stefanova y Sandoval, 1995; Fernández, 1995; Sandoval *et al.*, 1995), lo cual está en correspondencia con la tendencia que prevalece en la gran mayoría de las instituciones que en otros países se dedican a los estudios con *Trichoderma* como agente de control biológico.

Entre los patógenos que mayor atención han recibido se encuentran los pertenecientes a los géneros *Phytophthora*, *Rhizoctonia*, *Pythium*, *Sclerotium* y *Fusarium* (Stefanova y Sandoval, 1995; Espino y Stefanova, 2000; Vinajeras y Padrón, 2000). El control de éstos es muy difícil, tienen habilidad para permanecer activos en el suelo por largos períodos de tiempo aún en ausencia de sus hospedantes y el bromuro de metilo que fue la

sustancia más utilizada para el tratamiento de los semilleros de diversas plantas hortícolas y del tabaco se eliminó por los severos daños ambientales que ha provocado. En el año 2001 cesaron las importaciones de bromuro de metilo destinadas a la desinfección de los semilleros, cada año se importaban aproximadamente 80 toneladas. La eliminación fue posible por la introducción de la tecnología de las bandejas flotantes en sustitución del sistema tradicional. Al concluir el año 2000 el uso de bromuro de metilo en tabaco había disminuido en un 52.5 % (Pérez, 2001).

De las cepas probadas, la A-34 de *T. harzianum* resultó ser de las más efectivas, y se seleccionó para su uso en tomate cultivado en hidropónicos¹ y pimiento contra *Rhizoctonia solani*, *Phytophthora parasitica* Dast. y *Phytophthora capsici* Leonian, respectivamente (Stefanova y Sandoval, 1995). En la tabla 8.2 aparece un grupo de hongos patógenos del suelo y foliares sobre los cuales *Trichoderma* ha tenido un determinado efecto, en condiciones que van desde ensayos de laboratorio hasta aplicaciones en el campo.

El tabaco es uno de los cultivos donde mayor impacto ha tenido el uso del antagonista. El preparado obtenido a partir de la cepa A-53 de *Trichoderma* spp. se recomienda aplicar en semilleros tradicionales de tabaco para el control de *Phytophthora parasitica* var. *nicotianae* Breda de Haan, cuando los niveles de inóculo son bajos (Fernández, 1995), pues se ha comprobado que con un nivel de inóculo alto la efectividad del agente de control biológico es baja.

Control de patógenos foliares

La tendencia seguida en Cuba en las investigaciones conducentes a la búsqueda de agentes de control biológico de los patógenos fungosos foliares fue la misma que prevaleció en otras partes del mundo. Durante 1986-1990 se realizaron investigaciones conducentes a la búsqueda de agentes de control biológico para el control de la roya de la caña de azúcar *Puccinia melanocephala* H. & P. Syd., organismo muy devastador que amenazaba con arruinar la industria azucarera. En la zafra 1979-1980 las pérdidas ascendieron a 500 millones de arrobas de caña y dejaron de exportarse alrededor de un millón de toneladas de azúcar (Rodríguez, 1995).

La situación existente apresuró la búsqueda de diversos medios para el control de dicho patógeno, de ahí que se realizaran tentativas por encontrar

¹ En los últimos años de la década de los 80 y principios del 90 del siglo pasado una parte importante de la producción de tomate se realizaba en condiciones de hidroponía.

agentes de control biológico efectivos, entre los antagonistas estudiados se encontraba *T. viride*, las pruebas realizadas en condiciones de casa de cristal demostraron que fue capaz de inhibir la formación de soros. En las plantas tratadas aparecían manchas con el color rojizo característico de las lesiones producidas por *P. melanocephala*, pero éstas eran lisas, ya que se inhibió la esporulación (Pérez *et al.*, 1990b). Ese fue el primer intento de control biológico con *Trichoderma* de un patógeno foliar en el país (Pérez y Echemendía, 1993).

Entre los patógenos foliares bajo estudio se encuentran *Alternaria solani* Soramer, *Alternaria porri*, *Pseudoperonospora cubensis* (Berk Curt) Rostov, *Erysiphe cichoracearum* C. D. y *Uromyces phaseoli*, (Pers.)Wint. (Pérez y Echemendía, 1994; Martínez y Solano, 1995; Rodríguez *et al.*, 1998; Castellanos *et al.*, 2001). De 1996 a 1998 se investigó la posibilidad del uso de *Trichoderma* spp. para el control de patógenos fungosos foliares en papa, frijol y pepino como una alternativa al uso de los fungicidas en sistemas de producción orgánicos. La efectividad de *Trichoderma* en el control del tizón temprano en papa (*A. solani*) fue moderada y disminuyó a medida que avanzó la edad del cultivo y la presión de inóculo. En frijol se produjo una reducción en la incidencia de la roya (*U. phaseoli*). La efectividad en el control del mildiu veloso (*P. cubensis*) en pepino alcanzó valores del 50 % (Castellanos *et al.*, 2001).

Métodos de aplicación. Los biopreparados cubanos en base a *Trichoderma* se aplican por varios métodos que incluyen el tratamiento de semillas; la mezcla con diferentes sustratos para la producción de plántulas en semilleros tradicionales, cepellón, bandejas y bolsas; la aplicación por inmersión de las plántulas en una suspensión conidial de *Trichoderma* previo al trasplante, la aplicación directa al suelo y la aspersión foliar. Los métodos más utilizados son los dos primeros.

En la actualidad es una práctica habitual la aplicación de *T. harzianum* a las semillas de tomate y otras hortalizas para el control de patógenos causantes del “damping-off”. En base al éxito alcanzado en pruebas realizadas en condiciones de hidroponía se decidió extender el tratamiento al cultivo por siembra directa, para lo cual se propuso el tratamiento de la semilla por inmersión. Se realizaron ensayos para encontrar la mejor variante de tratamiento y se determinó que un tiempo de inmersión de 10 minutos y secado al sol durante tres días garantizaba una cobertura de la semilla por *T. harzianum* de 91 y 100 % para las variedades Campbell 28 y HC-38-80 (García y Sandoval, 1994).

Una de las formas en que más efectiva puede resultar la acción de *Trichoderma* es cuando se aplica teniendo como vehículo algún material

Tabla 8.2 Hongos y nematodos fitopatógenos que han sido controlados con *Trichoderma* spp.

Cepa	Patógenos	Cultivo	Referencias
<i>Trichoderma</i> spp.	<i>Thielaviopsis paradoxa</i>	Caña de azúcar	Pérez <i>et al.</i> , 1989
<i>Trichoderma viride</i>	<i>Puccinia melanocephala</i>	Caña de azúcar	Pérez <i>et al.</i> , 1990b
<i>Trichoderma</i> spp.	<i>T. paradoxa</i>	Caña de azúcar	Echemendía <i>et al.</i> , 1991
<i>Trichoderma</i> spp.	<i>Colletotrichum falcatum</i>	Caña de azúcar	Alfonso, 1991
<i>Trichoderma</i> spp.	<i>Alternaria solani</i> <i>Rhizoctonia solani</i>	Tomate	Andreu <i>et al.</i> , 1991
<i>Trichoderma</i> spp.	<i>P. melanocephala</i>	Caña de azúcar	Pérez y Echemendía, 1993
<i>Trichoderma</i> spp.	<i>Alternaria porri</i>	Cebolla	Pérez y Echemendía, 1994
<i>Trichoderma</i> spp. cepas A-53 y A-84	<i>Phytophthora nicotianae</i>	Tabaco	Sáenz <i>et al.</i> , 1994
<i>Trichoderma</i> spp.	<i>A. solani</i>	Tomate	Martínez y Solano, 1995
<i>Trichoderma</i>	<i>P. parasitica</i> var. <i>nicotianae</i>	Tabaco	Fernández, 1995
Cepa A-53 <i>T. harzianum</i>	<i>P. parasitica</i>	Tomate	Rodríguez y Sandoval, 1998
Cepa A-34 <i>T. harzianum</i>	<i>Pseudoperonospora cubensis</i>	Pepino	Rodríguez <i>et al.</i> , 1998
Cepa A-34	<i>Erysiphe cichoracearum</i>		
<i>Trichoderma</i> spp.	<i>A. porri</i>	Cebolla	Pérez, 1999 Pérez, 2001
<i>Trichoderma</i> spp.	<i>Phytophthora parasitica</i>	Mandarino Cleopatra Pomelo Duncan	Aranguren <i>et al.</i> , 2000
<i>T. harzianum</i>	<i>Meloidogyne incognita</i>	Tomate	Danger <i>et al.</i> 2000
<i>Trichoderma</i> spp. cepa G-6	<i>M. incognita</i>	Culantro, perejil y lechuga	Olivares y Devesa, 2000
<i>Trichoderma</i> spp. cepa G-6	<i>Macrophomina phaseolina</i> <i>Cladosporium</i> spp. <i>Lasiodiplodia theobromae</i> <i>Fusarium</i> spp.	Semillas soya y frijol	Wilson y Devesa, 2000
<i>T. harzianum</i> cepa A-34	<i>Rotylenchulus reniformis</i>	Lechuga	Méndez y Polanco, 2000
<i>T. harzianum</i> cepa A-34	<i>F. oxysporium</i> <i>R. solani</i> <i>Sclerotium rolfsii</i>	Rosas y mariposa	Vinajeras y Padrón, 2000
<i>Trichoderma</i> spp.	<i>Phytophthora infestans</i> <i>Uromyces phaseoli</i> <i>P. cubensis</i>	Papa Frijol Pepino	Castellanos <i>et al.</i> , 2001
<i>T. harzianum</i> cepa A-34	<i>P. parasitica</i> <i>R. solani</i> <i>Pythium aphanidermatum</i>	Tomate	Sandoval <i>et al.</i> , 2001

orgánico. Sáenz *et al.* (1994) evaluaron el establecimiento en sustrato orgánico de los aislamientos de *Trichoderma* A-53 y A-84 recomendados para el control de *P. nicotianae* en tabaco y encontraron que *Trichoderma* permaneció viable en cachaza y turba por más de tres meses y la concentración de los propágulos se mantuvo prácticamente estable durante 45 días de incubación (3×10^4 - 6×10^5 conidios/g). Los dos aislamientos se mantuvieron viables en cachaza después de estar sometida a radiaciones solares por 5 días. La adición de cachaza como vehículo de *Trichoderma* a suelos infectados con *P. nicotianae* redujo la incidencia de la enfermedad en un 23 % comparado con un 96 % de plantas muertas en el testigo.

En la producción de plántulas de tabaco mediante el sistema de “cepellón” la aplicación de *Trichoderma* se realiza al sustrato en el que se colocarán las semillas. En un ensayo realizado por Espino y Stefanova (2000) se estudio la colonización en zeolita, cachaza, suelo, turba y paja de arroz; el porcentaje más alto de colonias de *Trichoderma* se encontró en paja de arroz, seguido por cachaza. *Trichoderma* permaneció viable durante toda la fase de semillero y protegió al cultivo contra *P. nicotianae* entre un 60 y un 80 %. En el sistema en bandejas se utiliza un sustrato compuesto por turba negra y cascarilla de arroz, a éste se le incorpora *Trichoderma*. La adición de *Trichoderma* al sustrato orgánico tiene múltiples beneficios para la futura planta, en primer lugar *Trichoderma* coloniza la rizosfera y cuando se produce el trasplante ya está protegida y así se mantiene durante un periodo prolongado de tiempo. Un procedimiento similar se aplica a la producción de plántulas de hortalizas.

Aunque se han desarrollado diferentes métodos para la producción de plántulas aún continúa la producción de hortalizas en semilleros tradicionales, en esos casos, las aplicaciones al suelo se realizan habitualmente durante la fase de establecimiento, se recomienda realizar un tratamiento con *T. harzianum* a los canteros antes de la siembra de las semillas y el siguiente uno o dos días después a dosis de 40 g/m^2 (Cuba, 2002).

Producción masiva. Los resultados de las investigaciones realizadas con *Trichoderma* durante la década del 70 y del 80 del siglo pasado crearon las bases para iniciar su producción masiva en el año 1993, en los conocidos Centros Reproductores de Entomófagos y Entomopatógenos. A partir de diferentes cepas de *Trichoderma* se obtienen los productos biológicos por métodos artesanales: En dependencia de la disposición de recursos materiales del CREE se utiliza uno de los métodos siguientes: cultivo sobre soporte sólido, cultivo sobre soporte líquido (estático) y cultivo bifásico (líquido-sólido).

El sustrato más utilizado es la cabecilla de arroz (subproducto generado durante el proceso de molinado del grano). La concentración del biopreparado sólido es de $2-3 \times 10^9$ conidios/g, se aplica en dosis de 20g/m² y en el líquido es de $2-3 \times 10^8$ conidios/mL y se recomienda su uso a dosis de 40 L en 400 L de solución final (Fernández-Larrea, 2001). La cabecilla de arroz tiene una alta demanda para otros usos, por ejemplo, la alimentación animal, por lo cual se buscan otras sustancias que permitan sustituirla en parte o totalmente, en dependencia de la calidad del producto obtenido.

Entre las alternativas evaluadas está la paja de arroz. Una cepa de *T. viride* con actividad contra patógenos del suelo, fue cultivada sobre paja fina de arroz en pequeñas bolsas de polipropileno en condiciones de laboratorio durante 28 días. Se determinó la concentración y el porcentaje de germinación de éstas a diferentes intervalos de tiempo. La concentración se mantuvo entre 8×10^8 y 2×10^9 conidios/g en todas las variantes hasta los 70 días, el porcentaje de germinación fue superior a 90 % (Pérez *et al.*, 1994).

Un aspecto importante a considerar en la producción masiva es el control de calidad y las pruebas de bioensayo. En los productos obtenidos por métodos artesanales se determina pureza, pH, concentración de los conidios, viabilidad de los conidios y efectividad biológica por la técnica de cultivo dual. Para los productos sólidos sometidos a molido se comprueba además tamaño de partícula. En la tabla 8.3 se presentan los parámetros de calidad a evaluar durante el proceso de producción.

De 1993 a 1999 se habían producido por métodos artesanales 1031 t de biopreparados de *Trichoderma* (figura 8.2), esto representa una media anual de 147 toneladas. Los biopreparados obtenidos se aplican cada

Tabla 8.3 Parámetros a considerar en el control de calidad del proceso de producción de *Trichoderma* (Elaborado a partir de Fernández-Larrea, 2001)

Etapas del Proceso	Parámetros a evaluar				
Medios de cultivo	esterilidad	pH	materias primas		
Inóculo	pureza	concentración de conidios	viabilidad de conidios		
Incubación	temperatura del cuarto de incubación				
Producto final	pureza	características culturales	concentración	pH	efectividad biológica por técnica cultivo dual
Almacenamiento	temperatura	estabilidad en el tiempo			

año en más de 100 000 hectáreas de tabaco, tomate y pimiento, tanto en campo como en cultivos protegidos. Esas cantidades resultan insuficientes. Entre las restricciones que la producción artesanal impone están las limitaciones en el volumen de producción y la imposibilidad de almacenar por largos períodos de tiempo a temperatura ambiente los productos obtenidos. En los últimos años se han realizado ensayos con la finalidad de obtener biopreparados mediante procedimientos industriales a partir de procesos de fermentación sumergida y en estado sólido. Ésta se considera una alternativa tecnológica muy eficiente desde el punto de vista productivo y económico ya que permite obtener productos fúngicos de alta calidad, para los cuales existe un mercado potencial (Fernández-Larrea, 2001).

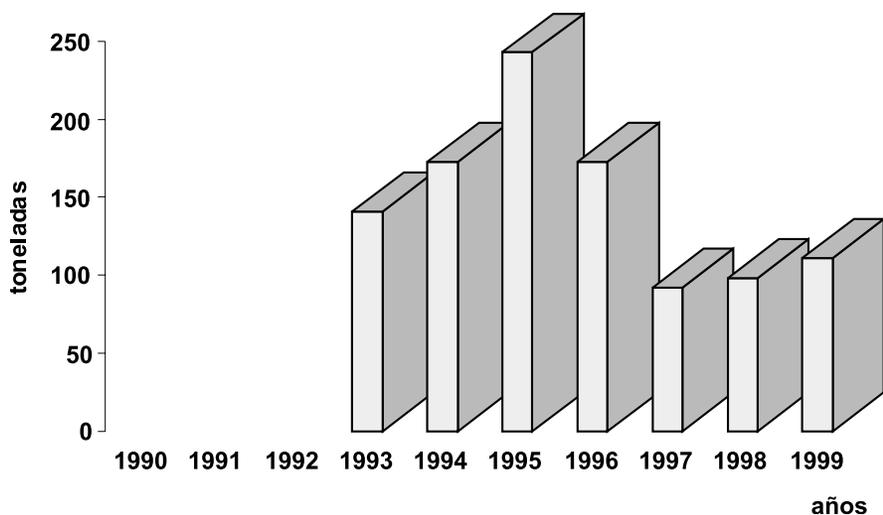


Figura 8.2 Producción de *Trichoderma* (t) en CREE del MINAG

ESTUDIO DE CASO. CONTROL BIOLÓGICO DE *Alternaria porri* (Ellis) Cif. EN CEBOLLA CON *Trichoderma harzianum*

La cebolla y el ajo son dos especies vegetales que se han cultivado en el mundo aproximadamente durante 5 000 años. Según algunas referencias históricas, desde principios del siglo XIX se les encontraba en algunas localidades de La Habana y de la actual provincia de Sancti Spiritus, y años más tarde y hasta la actualidad a todo lo largo del país (Savón y Marrero, 1997). El rendimiento comercial potencial de las variedades de

cebolla más cultivadas en Cuba - 'Red Creole' y 'Texas Early Grano' - es de 22 y 28 t/ha respectivamente, sin embargo, apenas se alcanza una media nacional de 5 t/ha (Savón y Marrero, 1997). Entre las causas de esa disminución tan notable en los rendimientos están las enfermedades fungosas, la mancha púrpura (*Alternaria porri* (Ellis) Cif.) ocupa el primer lugar en importancia y junto a *Thrips tabaci* Lind. llega a reducir los rendimientos en 40 % (Huerres y Caraballo, 1988), de ahí que sea necesario establecer medidas de control que resulten efectivas en la reducción del nivel de daño a un mínimo.

El control de *A. porri* no puede estar basado en el uso de fungicidas. Existe una preocupación que hay que tener en consideración y es que algunos de los fungicidas más efectivos que se recomiendan para su control producen efectos adversos sobre los mamíferos como la feminización (Anonymous, 1994). Otro aspecto a considerar es el económico, para la importación de fungicidas se necesita disponer de moneda libremente convertible, pero éstos se venden al productor bajo un sistema de subsidio, por lo cual el Estado lo oferta en pesos cubanos, es comprensible que cualquier ahorro que se produzca es sustancial para la economía del país y por otra parte está la necesidad de producir cebolla orgánica con un nivel de comercialización aceptable (Huerres *et al.*, 2001).

Entre los casos de éxito de control biológico en la superficie foliar reportados en la literatura se encuentran fundamentalmente las royas, los mildius pulverulentos y las enfermedades causadas por los siguientes géneros de patógenos: *Alternaria*, *Epicoccum*, *Sclerotinia*, *Septoria*, *Drechslera*, *Venturia*, *Plasmopara*, *Erwinia*, *Pseudomonas* y *Botrytis* (Elad *et al.*, 1994; Sutton, 1995; Wilson y Backman, 1998).

Los hongos pertenecientes al género *Alternaria* por ser invasores del filoplano que pueden crecer extensivamente sólo cuando las condiciones ambientales les son particularmente favorables, pueden ser vulnerables a la competencia por los nutrientes que establecen diferentes agentes de control biológico, como *Trichoderma* (Campbell, 1989), por lo que es de esperar que la enfermedad mancha púrpura pueda ser regulada mediante aplicaciones del hongo antagonista *Trichoderma*, contribuyendo así a reducir el potencial de inóculo y las aplicaciones de fungicidas. El trabajo tuvo como objetivos la obtención de aislamientos de *Trichoderma* spp., en localidades de la provincia de La Habana donde se cultivan cebolla y ajo, la determinación del grado de antagonismo de éstos sobre *A. porri*, la identificación de los aislamientos más promisorios y la evaluación de su efectividad en condiciones semicontroladas y de campo.

I.1. Aislamiento e identificación de *Trichoderma*

Los ensayos se realizaron en los laboratorios de Protección Vegetal de la Facultad de Agronomía de la Universidad Agraria de La Habana (UNAH) y en el Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria (CENSA). Los aislamientos se hicieron a partir de muestras de suelo de los municipios Melena del Sur y Quivicán donde se cultivan cebolla y ajo.

La metodología utilizada para realizar los aislamientos fue la descrita por Elad y Chet (1983). Después de cuatro días de incubación se obtuvieron aislamientos de *Trichoderma* y se purificaron. La identificación de los aislamientos estuvo basada fundamentalmente en las características culturales y morfológicas de *Trichoderma* cultivado sobre Agar Malta (AM) al 2 % (20 g de extracto de malta Oxoid, 20 g de agar, 1000 mL de agua bidestilada). Todos los aislamientos crecieron en placas Petri de 9 cm de diámetro, incubados durante dos días a $25 \pm 1^\circ\text{C}$, en la oscuridad y a continuación expuestos a luz para su esporulación.

Se hicieron exámenes macroscópicos y microscópicos (microcultivos) de cada aislamiento teniendo en cuenta las descripciones que aparecen en las revisiones del género hechas por Rifai (1969), Bisset (1984, 1991abc), Gams y Bisset (1998) y Samuels, 1996. Las características evaluadas fueron la velocidad de crecimiento; el aspecto y color de las colonias esporuladas por el anverso y reverso y el olor que emana de éstas; disposición de los conidióforos; disposición, forma y tamaño de las células conidiógenas, y forma, aspecto, tamaño y color de los conidios. Se determinó la especie de los aislamientos más promisorios.

I. 2. Prueba de antagonismo por la técnica de cultivo dual

Además de los aislamientos obtenidos en suelos donde se cultivan cebolla y ajo, se probaron otros tres* (tabla 8.4) con conocida efectividad *in vitro* en el control de otro patógeno foliar: *Alternaria solani*. Las colonias de *Trichoderma* fueron mantenidas en tubos en cuñas de AM y las de *A. porri* sobre Papa Dextrosa Agar (PDA Oxoid) y conservados a 4°C hasta la realización del ensayo.

En placas Petri de 9 cm, sobre medio de cultivo PDA, fueron sembrados discos de micelio (5 mm) de cada aislamiento de *Trichoderma* spp. y de *A. porri*, a una distancia de 50 mm. En el testigo se sembró solamente un disco de micelio de cada uno de los aislamientos probados. Se utilizaron cinco placas en cada combinación. El ensayo fue replicado tres veces. Esta técnica

Tabla 8.4 Origen de los aislamientos de *Trichoderma* spp.

Aislamientos	Lugar de Procedencia	Aislamientos	Lugar de Procedencia
T921	Melena del Sur	T927	Quivicán
T922	Melena del Sur	T928	Quivicán
T923	Melena del Sur	T9210	Quivicán
T924	Melena del Sur	T83*	San Nicolás de Bari
T925	Melena del Sur	T84*	Guines
T926	Quivicán	T85*	Guines

Tabla 8.5 Escala de Clases (Bell *et al.*, 1982)

Clase 1	<i>Trichoderma</i> spp. crece completamente sobre la colonia del patógeno y cubre la superficie del medio de cultivo.
Clase 2	<i>Trichoderma</i> spp. crece al menos sobre las dos terceras partes de la superficie del medio de cultivo.
Clase 3	<i>Trichoderma</i> spp. y el patógeno cubren aproximadamente la mitad de la superficie del medio de cultivo.
Clase 4	El patógeno crece al menos en las dos terceras partes del medio de cultivo limitando el crecimiento de <i>Trichoderma</i> spp.
Clase 5	El patógeno crece sobre la colonia de <i>Trichoderma</i> spp. ocupando toda la superficie del medio de cultivo.

de cultivo dual fue adaptada para el montaje de microcultivos. Se realizaron observaciones macroscópicas y microscópicas (en microcultivos), diariamente, para describir los cambios que ocurren durante la interacción patógeno-antagonista. A los siete días de incubación se evaluó el grado de antagonismo mediante la clave de Bell *et al.* (1982) (tabla 8.5).

I. 3. Efecto de *Trichoderma* spp. sobre la germinación conidial de *A. porri*

Para la realización de este ensayo se escogieron los siete aislamientos de *Trichoderma* que mostraron grado de antagonismo 1 en cultivo dual. A partir de colonias puras, de siete días de edad, fueron preparadas suspensiones conidiales a las concentraciones que aparecen en la tabla 8.6. La suspensión conidial de *A. porri* (2.5×10^4 conidios/mL) fue preparada a partir de conidios colectados de manchas formadas en hojas de cebolla de la variedad 'Texas Early Grano 502' PRR (amarilla). Se seleccionaron manchas características, abundantemente esporuladas y se conservaron a

Tabla 8.6 Concentración conidial de aislamientos de *Trichoderma spp.*

Aislamientos	Concentración (conidios/mL)
T921	$2,61 \times 10^7$
T924	$2,42 \times 10^7$
T925	$2,91 \times 10^7$
T927	$2,01 \times 10^7$
T928	$1,99 \times 10^7$
T9210	$2,03 \times 10^7$
T85	$2,31 \times 10^7$

10°C hasta la realización del ensayo. La colecta de conidios se realizó barriendo con un pincel de cerdas suaves la mancha esporulada.

Las suspensiones se prepararon con agua destilada estéril y una gota de Tween-80 al 0,1%. La concentración fue determinada con cámara de Neubauer. Se prepararon cámaras húmedas (cuatro en cada tratamiento). En cada una se colocaron dos portaobjetos de cristal y en éstos cuatro gotas de la suspensión conidial de los aislamientos de *Trichoderma spp.* y de *A. porri*. En el testigo se colocaron sólo gotas de la suspensión conidial de *A. porri*.

Las cámaras húmedas se incubaron a $25 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 42 h. Se contó el número de esporas germinadas de *A. porri* de un total de 25 en cada gota, determinándose el porcentaje de germinación. El ensayo se replicó tres veces. Los datos obtenidos fueron transformados por la expresión $\text{arc sen}\sqrt{p}$, sometidos a un análisis de varianza de clasificación simple y las medias comparadas por la Dócima de Rango Múltiple de Duncan (Duncan, 1955).

I. 4. Efectividad de *Trichoderma harzianum* sobre *A. porri*, en cebolla bajo condiciones semicontroladas

En la realización de este ensayo, al igual que en el de campo, se utilizó el aislamiento de *T. harzianum* (T924) y la variedad de cebolla 'Texas Early Grano' PRR (amarilla). Ambos ensayos fueron conducidos bajo un fondo de infección natural.

La cebolla se sembró en bolsas de polietileno (una planta por bolsa) que contenían suelo Ferralítico rojo típico. Se prepararon suspensiones conidiales de *T. harzianum* a una concentración aproximada de 10^8 conidios/mL, a partir de un cultivo puro que se obtuvo en caldo malta. La concentración fue

determinada con cámara de Neubauer. Se realizaron tres aplicaciones por aspersión foliar (atomizador manual), 50 mL por planta, a partir de los 40 días de la siembra, con intervalos de 15 días. El control fue asperjado con agua. Las evaluaciones se realizaron a los 55, 70 y 85 después de la siembra, se determinó el índice de infección mediante la fórmula de Townsend y Heuberguer (1944).

$$I = \frac{\sum n \cdot v}{K N} \cdot 100$$

donde:

I: intensidad de la enfermedad en %

n: número de plantas en cada grado

V: valor según escala de grados

N: número total de plantas investigadas

K: mayor grado de la escala

Escala de grados

Número de la escala	Número de manchas por planta
0	0
1	1-2
2	3-4
3	5-6
4	7-8
5	> 8

El diseño utilizado fue totalmente aleatorizado con cuatro réplicas y 20 plantas en cada una. Los datos de porcentaje se transformaron mediante la expresión $2 \arcsin \sqrt{p}$, fueron sometidos a un análisis de varianza de clasificación simple y las medias comparadas según la Dócima de Rango Múltiple de Duncan (Duncan, 1955).

I. 5. Efectividad de *T. harzianum* sobre *A. porri* en cebolla, en condiciones de campo

El ensayo fue realizado en las áreas de producción del Complejo Científico Docente de la Universidad Agraria de La Habana, durante tres campa-

ñas de siembra, sobre suelo Ferralítico rojo típico, con un contenido de materia orgánica de 3,3%, pH 5,9 y riego por aspersión. La cebolla fue sembrada en parcelas de 60 m², cinco canteros a doble hilera, separadas 20 cm (con una distancia de camellón de 90 cm y entre plantas de 5 cm). Las labores culturales se realizaron según el Instructivo Técnico del Cultivo (Cuba, 1993), excepto la aplicación de plaguicidas.

El diseño experimental utilizado fue de bloques al azar, con cuatro réplicas y dos tratamientos: aplicación foliar de *T. harzianum* y testigo sin aplicación. Las aplicaciones comenzaron a los 40 días posteriores a la siembra. Se aplicó por aspersión foliar (mochila manual) una suspensión con una concentración de 10⁸ conidios/mL y una dosis de 4x10¹³ conidios/ha.

Se realizaron evaluaciones a los 50, 65 y 80 días posteriores a la siembra. En los tres canteros centrales de cada parcela se marcaron 60 plantas, y se determinó el índice de infección como se indicó en el ensayo anterior al igual que la transformación de los datos y la comparación de medias.

La cosecha se realizó entre los 95 y 105 días después de la siembra. El estimado de rendimiento se calculó a partir del peso de una muestra de 60 plantas y del número total de plantas en la parcela. La temperatura, humedad relativa y precipitaciones fueron registradas en la Estación Meteorológica de Tapaste.

II. Resultados y discusión

II.1. Aislamiento e identificación de *Trichoderma*

De las muestras de suelo recogidas se obtuvieron nueve aislamientos de *Trichoderma*, los cuáles fueron denominados T921, T922, T923, T924, T925, T926, T927, T928, T910. En todos los casos se observaron colonias con bordes regulares, con crecimiento rápido, entre 6-9 cm de diámetro después de 72-96 horas de incubación a una temperatura de 25 ± 1°C, micelio aéreo ralo o flocoso, frecuentemente limitado en el margen de la colonia por un halo de color blanco, de algunos de los aislamientos se desprendía un olor claramente distinguible a coco.

El reverso de la colonia incoloro o amarillento pálido. La esporulación fue variable desde conidios que formaban ramilletes que se encontraban diseminados por toda la superficie del medio, concentrados cerca del borde de la placa Petri o formando halos concéntricos. El color blanco que inicialmente tomaron las colonias de algunos aislamientos se fue oscure-

ciendo para finalmente adoptar un color que fue de un verde azulado claro o verde amarillento a verde oscuro en dependencia de éste, en ningún caso apareció la coloración marrón.

Al realizar observaciones microscópicas se comprobó la presencia de clamidosporas en la mayoría de los aislamientos, conidióforos relativamente estrechos y flexuosos, con ramificaciones primarias surgiendo a intervalos iguales, con frecuencia en pares o en verticilos de dos o tres y cortos. Las células conidiógenas se encontraban mayormente dispuestas en verticilos de dos a tres y de forma lageniforme. Los conidios siempre verdes, de paredes lisas o rugosas y de forma globosos, subglobosos, ovoides o elipsoidales. Las observaciones realizadas se corresponden con las descripciones del género *Trichoderma* hechas por Rifai (1969) y con la sección *Trichoderma* (Bisset, 1984, 1991 abc; Gams y Bisset, 1998 y Samuels, 1996).

Entre los aislamientos promisorios se encontraban T927 y T924, por ubicarse en la clase 1 según el grado de antagonismo y por ser los que mayor porcentaje de inhibición de la germinación conidial produjeron. El aislamiento T927 se caracterizó por colonias de crecimiento muy rápido (2.25 cm/día), micelio de crecimiento uniforme, ralo. Esporulación en forma de pústulas compactas, de color blanco acuoso al principio a verde azulado oscuro con el paso de los días, reverso no coloreado, olor inconfundible a coco. Conidióforos poco ramificados, las ramificaciones se presentaron solas, en pares, o tres en forma de verticilo, con apariencia flexuosa. Las células conidiógenas frecuentemente en pares, surgiendo solas o en verticilos de tres, estrechamente lageniformes, con medidas de 8.5-13.4 x 2.5-3.0 μm . Conidios rugosos, de globosos a elipsoidales y de colores que van desde el verde azulado a verde oscuro, de 4.2-4.7 X 3.5-3.9 μm . Estas características permitieron ubicar el aislamiento T927 en el género *Trichoderma* sección *Trichoderma*, especie *Trichoderma viride* Pers., 1794; Fries, 1829; = *Trichoderma lignorum* (Tode) Harz.

El aislamiento T924 se caracterizó por colonias de crecimiento rápido (2.25 cm/día), esporulación con apariencia granular o polvorienta debido a su densidad, con una coloración que pasó de verde amarillento a verde oscuro con mucha rapidez, reverso de la colonia amarillento pálido con un tenue olor a tierra. Los conidióforos se presentaron con una distribución regular, formando una estructura piramidal, las células conidiógenas de forma ampuliforme a lageniforme, con mayor frecuencia se observaron en verticilos de tres a cuatro, de tamaño 3.7-7.4 x 2.6-3.4 μm . Los conidios lisos, de forma subglobosos a ovoides, tamaño de 2.4-3.6 x 2.1-

2.8 μm y color verde pálido. Estas características permitieron ubicar el aislamiento T924 en el género *Trichoderma* sección *Trichoderma*, especie *Trichoderma harzianum* Rifai 1969.

II. 2. Prueba de antagonismo por la técnica de cultivo dual

Como se aprecia en la tabla 8.8, siete de los 12 aislamientos de *Trichoderma* se ubicaron en la clase 1 y el resto en la clase 2. La ubicación de los aislamientos T922, T924, T925, T927, T928, T9210 y T85 en la clase 1 significa que el efecto antagonista frente a *A. porri* es elevado. En todos los casos se observó que ambos hongos detuvieron su crecimiento inmediatamente después que las hifas hicieron contacto. El crecimiento de la colonia de *A. porri* resultó inhibido a las 72-94 horas de incubación. Se observó una línea blanca que delimitaba el crecimiento de ambas colonias constituyendo ésta la zona de inhibición. La zona de inhibición causada por el antagonista fue temporal, después de un breve detenimiento *Trichoderma* creció por encima de la colonia de *A. porri* y finalmente la cubrió completamente observándose una densa esporulación en esa zona en la mayoría de los aislamientos.

Al realizar observaciones microscópicas se apreció que el aspecto de las hifas y conidios de *A. porri* varió considerablemente con respecto al testigo. Los conidios sanos presentaban un aspecto normal, con color pardo oscuro característico, paredes celulares bien definidas y el contenido citoplasmático completo. Sin embargo, en el cultivo dual se apreciaron hifas y conidios de *A. porri* desintegrados parcial o totalmente, con una coloración más tenue. El contenido citoplasmático se mostró desorganizado, granuloso, con vacuolas, y expulsado al exterior por ruptura de las paredes celulares.

Estos resultados concuerdan con lo señalado por Chet *et al.*, (1998) acerca de los marcados cambios morfológicos que ocurren en las células parasitadas del hospedante donde el citoplasma queda totalmente destruido. La degradación de hifas y conidios podría provocar una inhibición de la infección causada por el patógeno y por consiguiente una menor diseminación.

En numerosos ensayos realizados por diferentes investigadores ha quedado demostrado que la degradación y ruptura de las paredes celulares del hospedante por *Trichoderma* ocurre mediante un proceso enzimático en el que participan enzimas extracelulares fundamentalmente del tipo quitinasas (Elad, 1993; Chet e Inbar, 1994; De la Cruz *et al.*, 1995a,b;

Tabla 8.8 Actividad antagonista de aislamientos de *Trichoderma* frente a *A. porri*

Aislamiento	Clase
T921	2
T922	1
T923	2
T924	1
T925	1
T926	2
T927	1
T928	1
T9210	1
T83	2
T84	2
T85	1

Lorito, 1998; Chet *et al.*, 1998). Los efectos morfológicos observados evidencian la acción de los aislamientos de *Trichoderma* evaluados. El parasitismo de *Trichoderma* es destructivo.

II. 3. Efecto de *Trichoderma* spp. sobre germinación conidial de *A. porri*

Los siete aislamientos de *Trichoderma* tuvieron un efecto marcado sobre la germinación conidial de *A. porri* (figura 8.3). Los porcentajes de germinación estuvieron por debajo del 40 % excepto para el aislamiento T928 (57.33 %). La mayor inhibición se produjo con el aislamiento T924 (*T. harzianum*), con un porcentaje de germinación de 8.93 %, lo que indica la posibilidad de lograr determinada reducción en la severidad de la enfermedad con el uso del antagonista. Al deprimirse la germinación es de esperar menores índices de infección y por consiguiente una disminución en la diseminación del patógeno.

Trichoderma a diferencia de otros agentes de control biológico, actúa como micoparásito y además produce diferentes metabolitos que pueden afectar la germinación conidial del hospedante. En el caso de un patógeno necrotrófico como *A. porri* que necesita nutrientes exógenos para la germinación y crecimiento del tubo germinativo, esto representa una ventaja que puede ser aprovechada. Kumar y Sing (1984) lograron inhibir la germinación conidial de *Alternaria solani* en presencia de un filtrado de *T. koningii*.

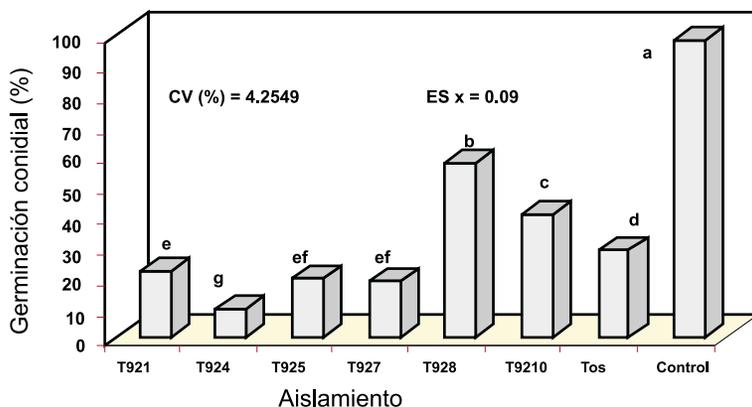


Figura 8.3 Germinación de conidial de *A. porri* en presencia de *Trichoderma* spp

Las enzimas CHIT42, CHIT40 y CHIT72 de la raza P1 de *T. harzianum* y de la raza 41 de *Trichoderma virens* (J. Millar, Giddens & Forester von Arx, Beih) tienen un marcado efecto inhibitorio sobre la germinación y elongación hifal de varios patógenos fungosos entre los que se encuentra *Alternaria* spp. (Lorito, 1998). Las endoquitinasas responsables de las actividades líticas y antifungosas están consideradas entre las más efectivas en comparación con otros tipos de enzimas líticas (De la Cruz *et al.*, 1995a,b; Lorito *et al.*, 1998). De hecho las enzimas de *Trichoderma* son capaces de producir lisis no solamente en las estructuras más “blandas” como el extremo terminal de las hifas jóvenes, si no en aquéllas más “duras” como las paredes quitinosas de las hifas maduras, conidios, clamidosporas y esclerocios (Benhamou y Chet, 1996).

II. 4. Efectividad de *T. harzianum* sobre *A. porri* en cebolla, bajo condiciones semicontroladas

En la tabla 8. 9 se aprecia que los índices de infección en las plantas tratadas con el antagonista resultaron más bajos que en el testigo en los tres momentos de evaluación (1.1%; 27.2% y 43.7%). Al realizar el análisis estadístico se encontraron diferencias significativas para $p < 0.01$ entre *T. harzianum* y el testigo. La disminución en los índices de infección se encuentra dentro de los rangos de efectividad determinados para este antagonista frente a otros patógenos foliares en condiciones experimentales semejante (Martínez y Solano, 1995).

Tabla 8.9 Efecto de *T. harzianum* sobre *A. porri* en cebolla en condiciones semicontroladas

Tratamientos	Índice de infección en %					
	55 días		70 días		85 días	
	Xtransf	Xorig.	Xtransf	Xorig.	Xtransf	Xorig
<i>T. harzianum</i>	0.21 a	1.12	1.10	27.25	1.45	43.75
Testigo	0.41 b	4.27	1.63	53.00	1.94	67.75
ESx	0.014**		0.042**		0.021**	
CV %	8.629		6.15		2.52	

Medias con letras desiguales difieren significativamente según Dócima de Rango Múltiple de Duncan para $P \leq 0.01$ (Duncan, 1955).

II. 5. Efectividad de *T. harzianum* sobre *A. porri* en cebolla, en condiciones de campo.

En los ensayos de campo las aplicaciones de *T. harzianum* comenzaron a los 40 días después de la siembra, antes de que aparecieran los primeros síntomas. Los tratamientos se repitieron cuatro veces y a dosis altas (8×10^{13} conidios/ha), pues las condiciones sobre la superficie de las plantas en general y de la cebolla en particular no son muy favorables para la introducción de microorganismos antagonistas comparado con las condiciones que pueden presentarse en el suelo.

Los resultados obtenidos en los ensayos de campo se muestran en las tablas 8.10, 8.11 y 8.12. Se aprecia que en las tres siembras los porcentajes de infección de la mancha púrpura son menores en las parcelas tratadas con *T. harzianum* respecto a las parcelas no tratadas. Los resultados del análisis estadístico muestran que hay diferencias significativas entre los índices de infección en un mismo año. Como se observa el índice de infección continua aumentando en ambos tratamientos a través del tiempo, pero este aumento es más lento donde se aplicó el biocontrol (haciéndose mayor la diferencia con el testigo sin aplicación), aunque la humedad relativa existente durante la mayor parte del tiempo, en el período de las tres siembras, alcanzó en diferentes momentos valores por encima del 80 %, lo que según Rodríguez (1985) y Ariosa y Herrera (1984) favorece la infección.

Por otra parte la temperatura llegó a valores máximos absolutos por encima de 25°C, que es el valor óptimo para la germinación de los conidios del patógeno (Rodríguez, 1985). Durante 1996-1997 permanecieron du-

Tabla 8.10 Efecto de *T. harzianum* sobre *A. porri* en cebolla, en condiciones de campo (siembra 1994-1995)

Tratamientos	Índice de infección en %					
	50 días		65 días		80 días	
	Xtransf	Xorig	Xtransf	Xorig	Xtransf	Xorig
<i>T. harzianum</i>	0.42 a	4.45	0.82 a	15.92	1.21 a	32.20
Testigo	0.59 b	8.47	1.25 b	34.25	2.25 b	81.25
ESx	0.012**		0.026**		0.046**	
CV %	4.6		5.38		5.38	

Medias con letras desiguales difieren significativamente según Dócima de Rango Múltiple de Duncan para $P \leq 0.01$ (Duncan, 1955).

Tabla 8.11 Efecto de *T. harzianum* sobre *A. porri* en cebolla, en condiciones de campo (siembra 1995-1996)

Tratamientos	Índice de infección en %					
	50 días		65 días		80 días	
	Xtransf	Xorig	Xtransf	Xorig	Xtransf	Xorig
<i>T. harzianum</i>	0.46 a	5.50	0.86 a	17.50	1.37 a	40.25
Testigo	0.61 b	9.10	1.23 b	33.25	2.44 b	88.25
ESx	0.008**		0.017**		0.049**	
CV %	3.06		3.16		5.16	

Medias con letras desiguales difieren significativamente según Dócima de Rango Múltiple de Duncan para $P \leq 0.01$ (Duncan, 1955).

Tabla 8.12 Efecto de *T. harzianum* sobre *A. porri* en cebolla, en condiciones de campo (siembra 1996-1997)

Tratamientos	Índice de infección en %					
	50 días		65 días		80 días	
	Xtransf	Xorig	Xtransf	Xorig	Xtransf	Xorig
<i>T. harzianum</i>	0.52 a	6.62	0.93 a	20.25	1.33 a	38.25
Testigo	0.74 b	13.37	1.36 b	39.50	2.28 b	82.25
ESx	0.017**		0.013**		0.055**	
CV %	5.509		2.33		6.105	

Medias con letras desiguales difieren significativamente según Dócima de Rango Múltiple de Duncan para $P \leq 0.01$ (Duncan, 1955).

rante más tiempo las condiciones climáticas favorables para el desarrollo de *A. porri*, en esta siembra los índices de infección fueron ligeramente superiores respecto a los anteriores, tanto en el testigo, como en las parcelas tratadas con *T. harzianum*.

Las condiciones climáticas que favorecieron el desarrollo del patógeno también tuvieron una influencia positiva sobre el desarrollo del antagonista. La humedad está considerada como el parámetro ambiental de más influencia en la distribución de *Trichoderma* en el suelo (Danielson y Davey, 1973). Ésta es también considerada un factor limitante en la habilidad de un antagonista para colonizar la filosfera y por consiguiente para competir y controlar a los patógenos foliares (Elad y Kirshner, 1993). Entre los 35 y 40 días después de la siembra, en los tres años, se presentaron valores altos de humedad relativa, entre 80 % y 92 %. La germinación conidial de *Trichoderma* es sensible a la humedad y *Trichoderma* coloniza la filosfera con mayor eficacia cuando ésta es alta (Elad y Kirshner, 1993; Gullino, 1992). En las aplicaciones en invernadero se encontró, que la humedad relativa afecta más la eficacia de los agentes de control biológico que la temperatura (Elad *et al.*, 1995).

Independientemente de las limitantes impuestas por la temperatura y la humedad hay que tener en cuenta que las aplicaciones en el momento apropiado ofrecen ventajas competitivas al antagonista, por lo que se recomienda aplicar antes de que aparezcan los primeros síntomas o inmediatamente después de su aparición, como se hizo en este caso.

La disminución en el índice de infección en las parcelas tratadas con *T. harzianum* determinó un incremento en el peso promedio de los bulbos de cebolla en comparación con las parcelas no tratadas. El análisis estadístico realizado arrojó que existen diferencias significativas para $p < 0.05$ entre el peso de los bulbos (tabla 8. 13).

El rendimiento estimado (media de tres siembras) fue de 12.3 t/ha en las parcelas tratadas con *T. harzianum* y 8.2. t/ha en el testigo. Teniendo en consideración estos resultados es de esperar que la disminución en el uso de fungicidas represente además de un beneficio social un beneficio económico, pues a pesar del elevado número de aplicaciones que se hacen el rendimiento promedio nacional es de 5 t/ha (Savón y Marrero, 1997).

Con el control biológico en general no se alcanza un control tan efectivo como el que se puede alcanzar con los fungicidas; pero el solo hecho de que haya disminuido el índice de infección es ya una razón para considerar la posibilidad de aplicación. Nótese como el porcentaje de infección se mantiene en valores más bajos hasta bien avanzado el ciclo del cultivo.

Tabla 8.13. Peso (g) de bulbos de cebolla en parcelas tratadas con *T. harzianum*

Tratamientos	Peso (g)
<i>T. harzianum</i>	34.54 a
Testigo	23.6 b
ESx	0.456**
CV %	15.47

Medias con letras desiguales difieren significativamente según Dócima de Rango Múltiple de Duncan para $P \leq 0.01$ (Duncan, 1955).

Además una efectividad moderada puede ser suficiente para no aplicar fungicidas o aplicar dosis reducidas de éstos siempre que sean compatibles con el control biológico, lo que permite reducir el nivel de residuos de plaguicidas en los productos agrícolas. Huerres *et al.*, (2000) recomiendan cosechar las plantas de cebolla entre los 90 y 100 días después de la siembra, cuando no se aplican fungicidas para el control de la mancha púrpura. Si se tiene en cuenta esa recomendación y además se hacen aplicaciones de *T. harzianum* podrían producirse cantidades apreciables de cebolla reduciendo el uso de fungicidas, aún en las variedades de menor potencial productivo, como la utilizada en este ensayo.

BIBLIOGRAFÍA

- Alfonso, F. 1991. Actividad antagónica “in vitro” de *Trichoderma* spp. y *Aspergillus* spp. contra *Colletotrichum falcatum* Went. p. 116-117. *En: Resúmenes IV Simposio Internacional de Sanidad Vegetal en Agricultura Tropical*. Universidad Central de Las Villas, Santa Clara, Cuba, 21-22 de febrero de 1991.
- Andreu, C.M.; R. Cupull; M. Abreu. 1991. Biocontrol de enfermedades de los semilleros de tomate. p. 116. *En: Resúmenes IV Simposio Internacional de Sanidad Vegetal en Agricultura Tropical*. Universidad Central de Las Villas, Santa Clara, Cuba, 21-22 de febrero de 1991.
- Anonymous. 1994. Another feminizing hormone found. *Science News* 146: 15.
- Aranguren, M.; Alina García; Yania Suárez. 2000. Evaluación de las potencialidades de un aislado de *Trichoderma* como agente para el biocontrol de *Phytophthora parasitica* en cítricos. p. 18. *En: Resúmenes MIP'2000. Forum Tecnológico sobre Manejo Integrado de Plagas*.

- INISAV, La Habana, 27-28 de mayo de 2000.
- Ariosa, María D.; L. Herrera. 1984. Evaluación de los daños causados por el tizón o mancha púrpura (*A. porri* Ellis) en dos variedades de cebolla (*A. cepa* L.) y ajo porro (*A. porrum* L.). Centro Agrícola 11 (1): 15-20.
- Baker, R. 1987. Mycoparasitism: ecology and physiology. Canadian Journal Plant Pathology 9:370-379.
- Barak, R.; Chet, I. 1986. Determination by fluorescein diacetate staining of fungal viability during mycoparasitism. Soil Biology Biochemistry 18: 315-319.
- Barak, R.; Chet, I. 1990. Lectin of *Sclerotium rolfsii*: its purification and possible function in fungal-fungal interaction. Appl. Bacteriol. 69: 101-112.
- Bell, D.K.; H.D. Wells; C.R. Markman. 1982. In vitro antagonism of *Trichoderma* spp. against six fungal pathogens. Phytopathology 72:379-382.
- Benhamou, N.; I. Chet. 1996. Parasitism of sclerotia of *Sclerotium rolfsii* by *Trichoderma harzianum*: ultrastructural and cytochemical aspects of the interactions. Phytopathology 86: 1406-1414.
- Bisset, J. 1984. A revision of the genus *Trichoderma*: I. Section *Longibrachiatum*, new section. Can. J. Bot. 62: 924-931.
- Bisset, J. 1991a. A revision of the genus *Trichoderma*: II. Infrageneric classification. Can. J. Bot. 69: 2357-2372.
- Bisset, J. 1991b. A revision of the genus *Trichoderma*: III. Section *Pachybasium*. Can. J. Bot. 69: 2373-2417.
- Bisset, J. 1991c. A revision of the genus *Trichoderma*: II. Additional notes on section *Longibrachiatum*. Can. J. Bot. 69: 2418-2420.
- Björkman, T. 1995. Promoting agricultural sustainability through the use of rhizosphere competent fungi as alternative to soil fungicide. Sustainable Agriculture Research and Education (SARE). Research Projects Northeast Region (1988-1995) U.S.A.: 19 p.
- Campbell, R. 1989. Biological control of microbial plant pathogens. Cambridge University Press, Cambridge, UK: 208 p.
- Castellanos, L; María E. Lorenzo; Mercedes González; Marusia Stefanova. 2001. Control de enfermedades foliares con el uso de antagonistas. p. 148. *Err*: Resúmenes II Congreso de la Sección Regional Neotropical de la Organización Internacional de Control Biológico. Matanzas, Cuba, junio de 2001.
- Chet, I. 1987. *Trichoderma*- Application, mode of action, and potential as a biocontrol agent of soil-borne plant pathogenic fungi. p. 137-160. *In*: I. Chet (ed.), Innovative Approaches to plant diseases. Wiley & Sons, New York, U.S.A.

- Chet, I. 1990. Mycoparasitism-recognition, physiology and ecology. p. 725-733. *In*: R. Baker; P. E. Dunn (eds.), *New Directions in Biological Control: Alternatives for Suppressing Agricultural Pests and Diseases*. Alan R. Liss, Inc., New York, U.S.A.
- Chet, I.; J. Inbar. 1994. Biological control of fungal pathogens. *Applied Biochemistry and Biotechnology* 48 (1): 37-43.
- Chet, I.; N. Benhamou; S. Haran. 1998. Mycoparasitism and lytic enzymes. p. 153-172. *In*: G.E. Harman; C.P. Kubicek (eds.), *Trichoderma & Gliocladium*. Volume 2. Enzymes, biological control and commercial applications. Taylor & Francis Ltd., London, UK.
- Claydon, N.; M. Allan; J.R. Hanson; G.A. Avent. 1987. Antifungal alkyl pirones of *Trichoderma harzianum*. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 88: 503-513.
- Correa, A.; S. Rebuffat; B. Bodo; M.F. Roquebert; J. Dupont; L. Betucci. 1995. In vitro inhibitory activity of trichorzianines on *Sclerotium rolsfii* Sacc. *Crytogamie Mycologie* 16 (3): 185-190.
- Cuba. 1993. Normas Técnicas para los cultivos de ajo y cebolla. Ministerio de la Agricultura. La Habana: 52 p.
- Cuba. 2002. Programa de defensa fitosanitaria para hortalizas: tomate, pimiento, col, ajo, cebolla. Departamento de Programas de Defensa. Centro Nacional de Sanidad Vegetal. Ministerio de la Agricultura, La Habana: 48 p.
- Danielson, R. M.; C. B. Davey. 1973. The abundance of *Trichoderma* propagules and distribution of species in forest soils. *Soil. Biol. Biochem.* 5: 485-494.
- Danger, L.; Blanca L. Tassé; Caridad Jiménez; N. González. 2000. Efectividad de *Paecilomyces lilacinus* y *Trichoderma harzianum* sobre el crecimiento de posturas de tomate (*Lycopersicon esculentum*) y el control de *Meloidogyne incognita* en fase de semillero. p. 6. *En: Resúmenes MIP'2000. Forum Tecnológico sobre Manejo Integrado de Plagas*. INISAV, La Habana, 27-28 de mayo de 2000.
- De la Cruz, J.; J.A. Pintor-Toro; T. Benítez; A. Llobell; L.C. Romero. 1995a. A novel endo- β -1,3-glucanase, *BGN13.1*, involved in the mycoparasitism of *Trichoderma harzianum*. *Journal Bacteriology* 177 (23): 6937-6945.
- De la Cruz, J.; J.A. Pintor-Toro; A. Benítez; A. Llobell. 1995b. Purification and characterization of endo- β -1,3-glucanase from *Trichoderma harzianum* that is related to its mycoparasitism. *Journal Bacteriology* 177 (7): 1864-1871.
- Dennis, C.; J. Webster. 1971a. Antagonistic properties of species-groups

- of *Trichoderma* I. Production of non-volatile antibiotics. Trans. Br. Mycol. Soc. 57: 41-48.
- Dennis, C.; J. Webster. 1971b. Antagonistic properties of species-groups of *Trichoderma* II. Production of volatile antibiotics. Trans. Br. Mycol. Soc. 57: 25-39.
- Dickinson, J.M.; J.R. Hanson; A. Trunch. 1995. Metabolites of some biological control agents. Pesticides Sciences 44 (4): 389-393.
- Duncan, A. 1955. A multiple range test. Biometrics 11: 1-41.
- Echemendía, Mayra; Nilda Pérez; B. Martínez; Isabel de la C. 1991. Efecto antagónico de siete aislamientos de *Trichoderma* spp. frente a *Thielaviopsis paradoxa* (de Seynes) Hönh. p. 118-119. En: Resúmenes IV Simposio Internacional de Sanidad Vegetal en Agricultura Tropical. Universidad Central de Las Villas, Santa Clara, Cuba, 21-22 de febrero de 1991.
- Elad, Y.; I. Chet 1983. Improved selective media for isolation of *Trichoderma* spp. or *Fusarium* spp. Phytoparasitica 9: 59-68.
- Elad, Y. 1993. Microbial suppression of infection by foliar pathogens. IOBC Bulletin 16:3-7.
- Elad, Y. 1990. Reasons for the delay in development of biological control of foliar pathogens. Phytoparasitica 18: 99-105.
- Elad, Y. 1994. Biological control of grape grey mould by *Trichoderma harzianum*. Crop Protection 13: 35-38.
- Elad, Y. 2000. Biological control of foliar pathogens by means of *Trichoderma harzianum* and potential modes of action. Crop Protection 19: 709-714.
- Elad, Y.; B. Kirshner. 1993. Survival in the phylloplane of an introduced biocontrol agent (*Trichoderma harzianum*) and populations of the plant pathogen *Botrytis cinerea* as modified by abiotic conditions. Phytoparasitica 21: 303-313.
- Elad, Y.; D. Shtienberg. 1995. *Botrytis cinerea* in greenhouse vegetables; chemical, cultural, physiological and biological controls and their integration. Integrated Pest Management Review 1: 15-29.
- Elad, Y.; I. Chet; Y. Henis. 1982. Degradation of plant pathogenic fungi by *Trichoderma harzianum*. Canadian Journal Microbiology 28: 719-725.
- Elad, Y.; L. M. Gullino; D. Shtienberg; C. Aloï. 1994. Coping with tomato grey mould under Mediterranean conditions. Crop Protection 14:105-109.
- Elad, Y.; N. E. Malathrakis; A. J. Dik. 1995. Biological control of *Botrytis* incited diseases and powdery mildews in greenhouse crops. Crop Protection 15: 224-240.

- Espino, Maribel; Marusia Stefanova. 2000. Colonización por *Trichoderma harzianum* de diferentes sustratos para el sistema de cepellón en el cultivo del tabaco. p. 17. *En: Resúmenes MIP'2000. Forum Tecnológico sobre Manejo Integrado de Plagas.* INISAV, La Habana, 27-28 de mayo de 2000.
- Fernández, A. 1995. Alternativas de lucha para la enfermedad pata prieta del tabaco. CID-INISAV Boletín Técnico 4: 23 p.
- Fernández-Larrea, Orietta. 2001. Temas interesantes acerca del control microbiológico de plagas. CID-INISAV, La Habana, Cuba: 138 p.
- Fernández-Larrea, Orietta; A. Calderón; M. Fraga. 1992. Metodología de reproducción de cepas de *Trichoderma* spp., para el biocontrol de hongos fitopatógenos. Informe técnico de investigación. INISAV, La Habana, Cuba: 8 p.
- Filipchuk, O.D.; T.V. Plotnikova; V.A. Yaroschenko; G.G. Vyatkina. 1995. Biological protection of tobacco seedling from diseases. *Zashchita Rastenii Moskva* 8: 18-19.
- Gams, W.; J. Bisset. 1998. Morphology and identification of *Trichoderma*. *In: C. Kubicek; G. Harman (eds.)*, p. 3-34, *Trichoderma and Gliocladium* Volume 1: Basic biology, taxonomy and genetics. Taylor & Francis, London, UK.
- García, Dania; Ileana Sandoval. 1994. Tiempo óptimo de tratamiento de semillas de tomate con *Trichoderma harzianum*. p. 19-20. *En: Resúmenes BioPlag'94. II Taller Nacional de Plaguicidas Biológicos de Origen Botánico.* INIFAT, La Habana, Cuba, 5-7 de abril de 1994.
- Golman, G. H.; C. Haynes; G. E. German. 1994. Molecular and cellular biology of biocontrol by *Trichoderma* spp. *TIBTECH* 12: 478-482.
- Grosclaude, C.; J. Ricard; B. Dubos. 1973. Inoculation of *Trichoderma viride* spores via pruning shears for biological control of *Stereum purpureum* on plum tree wounds. *Plant Dis. Rep.* 57: 25-28.
- Gullino, M. L. 1992. Control of *Botrytis* rot of grapes and vegetables with *Trichoderma* spp. p. 125-132. *In: E. C. Tjamos; G. C. Papavizas; R. J. Cook. (eds.)*, *Biological Control of Plant Diseases: Progress and Challenges for the Future.* Plenum Press, New York, U.S.A.
- Haram, S.; Schickler, H.; I. Chet. 1996. Molecular mechanisms of litic enzymes involved in the biocontrol activity of *Trichoderma harzianum*. *Microbiology* 142: 2321-2331.
- Harman, G.E.; E.B. Nelson. 1994. Mechanisms of protection of seed and seedling by biological seed treatments: implications for practical disease control. p. 283-292. *In: T. Martin (ed.)*, *Seed Treatments:*

- Progress and Prospects. Proceeding BCPC Monograph No 57. The British Crop Protection Council, Farnham, UK.
- Harman, G.E.; T. Björkman. 1998. Potential and existing uses of *Trichoderma* and *Gliocladium* for plant disease control and plant growth enhancement. p. 229-265. *In*: G.E. Harman; C.P. Kubicek (eds.), *Trichoderma & Gliocladium*. Volume 2. Enzymes, biological control and commercial applications. Taylor & Francis Ltd., London, UK.
- Hjeljord, L.; A. Tronsmo. 1998. *Trichoderma* and *Gliocladium* in biological control: an overview. p. 131-151. *In*: G.E. Harman; C.P. Kubicek (eds.), *Trichoderma & Gliocladium*. Volume 2. Enzymes, biological control and commercial applications. Taylor & Francis Ltd., London, UK.
- Hoitink, H.A.J.; A.G. Stone; D.Y. Dan. 1997. Suppression of plant disease by composts. *HortScience* 32:184-187.
- Huerres, Consuelo; N. Caraballo. 1988. Horticultura. Editorial Pueblo y Educación, La Habana, Cuba: 193 p.
- Huerres, Consuelo; Nayivis del Sol; Vivian Ramos; Janet Llanos y Milagros González. 2001. Producción de cebolla orgánica. *Centro Agrícola* 28 (4): 71-74.
- Inbar, J.; I. Chet. 1992. Biomimics of fungal cell-cell recognition by use of lectin-coated nylon. *Journal of Bacteriology* 174: 1055-1059.
- Inbar, J.; I. Chet. 1994. A newly isolated lectin from the plant pathogenic fungus *Sclerotium rolfsii*: purification, characterization and role in mycoparasitism. *Microbiology* 140: 651-657.
- Khetan, S.K. 2001. Biofungicides. p. 167-197. *In*: *Microbial Pests Control*, Marcell Dekker Inc., New York, U.S.A.
- Kumar, K.; H. Singh. 1984. "In vitro" antagonistic studies between *Alternaria solani* and saprophytic microflora isolated from potato leaves. *Indian Journal of Mycology and Plant Pathology* 13 (1): 24-27.
- Lifshitz, R.; M.T. Whindham; R. Baker. 1986. Mechanism of biological control of preemergence damping-off of pea by seed treatment with *Trichoderma* spp. *Phytopathology* 76: 1206-1212.
- Lorito, M. 1998. Chitinolytic enzymes and their genes. p 73-99. *In*: G.E. Harman; C.P. Kubicek (eds.), *Trichoderma & Gliocladium*. Volume 2. Enzymes, biological control and commercial applications. Taylor & Francis Ltd., London, UK.
- Martínez, B.; T. Solano. 1995. Antagonismo de *Trichoderma* spp. frente a *Alternaria solani* (Ellis y Martin) Jones y Grout. *Revista Protección Vegetal* 10:221-225.
- Méndez, Mayra; A. Polanco. 2000. Efectividad de *Trichoderma harzianum*

- cepa A-34, en el control del nematodo *Rotylenchulus reniformes* en el cultivo de la lechuga (*Lactuca sativa*). p. 14. *En: Resúmenes MIP'2000. Forum Tecnológico sobre Manejo Integrado de Plagas. INISAV, La Habana, Cuba, 27-28 de mayo de 2000.*
- Olivares, Noris; Luz J. Devesa. 2000. Control de *Meloidogyne incognita* con el hongo *Trichoderma* spp. cepa G6. p. 11. *En: Resúmenes MIP'2000. Forum Tecnológico sobre Manejo Integrado de Plagas. INISAV, La Habana, Cuba, 27-28 de mayo de 2000.*
- O'Neill, T. M.; A. Niv; Y. Elad; D. Shtienberg. 1996. Biological control of *Botrytis cinerea* on tomato stem wounds with *Trichoderma harzianum*. *Europ. J. Plant Pathol.* 102:635-643.
- Pérez, María de los Ángeles; J. González; C. Reyna; Nilda Morales. 1994. Determinación de la concentración de esporas y viabilidad de la biomasa de *Trichoderma viride* obtenida mediante fermentación sólida bajo diferentes condiciones. p. 16. *En: Resúmenes II Taller Nacional de Plaguicidas Biológicos de Origen Botánico. INIFAT, La Habana, Cuba, 5-7 de abril de 1994.*
- Pérez, Alberto. 2001. Notables avances en la protección de la capa de ozono. *Granma Internacional.* 23 de abril 2001. La Habana, Cuba
- Pérez, Nilda. 1999. Control biológico de *Alternaria porri* (Ellis) Cif. en cebolla con *Trichoderma* spp. Tesis en opción al Título Académico de Master en Agroecología y Agricultura Sostenible. Universidad Agraria de La Habana, La Habana, Cuba: 56 p.
- Pérez, Nilda. 2001. Control biológico de *Alternaria porri* (Ellis) Cif. en cebolla con *Trichoderma* spp. p. 89-107. *En: L. Gomero y Milagros Tazza (eds.), Innovación de Tecnologías Ecológicas para el Agro en América Latina. Resultados del Primer Concurso Latinoamericano. RAP-AL, Lima, Perú.*
- Pérez, Nilda; B. Martínez; Raisa Díaz. 1990a. Efecto de diferentes condiciones de cultivo en el desarrollo de *Trichoderma viride*. I. Temperatura y humedad relativa. *Revista de Protección de Plantas* 5(1-3): 38-44.
- Pérez, Nilda; B. Martínez; Plácida Moisés. 1989. Efecto antagónico de tres aislamientos de *Trichoderma* spp. sobre *Thielaviopsis paradoxa*. p. 30. *En: Resúmenes IV Jornada Científico-Técnica de Sanidad Vegetal. Cienfuegos, Cuba, 22 y 23 de junio de 1989.*
- Pérez, Nilda; Mayra Echemendía. 1993. Control biológico de la roya de la caña de azúcar. p.30. *En: Resúmenes I Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica. Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias de la Habana, La Habana, Cuba, 12-14 de mayo de 1993.*

- Pérez, Nilda; Mayra Echemendía. 1994. Efectividad de *Trichoderma* spp. en el control de la mancha púrpura. Cultivos Tropicales 15 (3):53.
- Pérez, Nilda; Mayra Echemendía; B. Martínez. 1990b. Control biológico de la roya de la caña de azúcar *Puccinia melanocephala* H. & P. Syd. Informe de Resultado 008. Tema: Razas, epidemiología y pérdidas de la roya de la caña de azúcar 1986-1990. INICA, La Habana, Cuba:12 p.
- Rifai, M. A. 1969. A revision of the genus *Trichoderma*. Mycol. Pap. 116:1-56.
- Rodríguez, F. 1985. Metodología para el señalamiento de la aparición de la mancha púrpura de la cebolla causada por *A. porri* (Ellis) (Nierg). p. 73-74. *En:* Metodologías de señalización y Pronóstico. Centro Nacional de Sanidad Vegetal. Ministerio de la Agricultura, La Habana, Cuba.
- Rodríguez, F.; Ileana Sandoval. 1998. Efectividad de diferentes productos químicos y del biopreparado de *Trichoderma harzianum* (Rifai) contra enfermedades fúngicas del tomate de hidropónico. Fitosanidad 2 (1-2): 51-56.
- Rodríguez, F.; Marusia Stefanova; U. Gómez. 1998. Efecto del biopreparado de *Trichoderma harzianum* (Rifai) contra *Pseudoperonospora cubensis* (Berk. Curt.) Rostov y *Erysiphe cichoracearum* D.C. en pepino (*Cucumis sativus* L.). Fitosanidad 2 (1-2):41-43.
- Rodríguez, María del Carmen. 1995. La roya de la caña de azúcar. Revista Cañaveral 1 (4): 48-50.
- Sáenz, Mercedes; Ileana Sandoval; María L. Martínez. 1994. Uso de materia orgánica en semilleros de tabaco como vehículo de *Trichoderma* spp. para el biocontrol de *Phytophthora nicotianae* Breda de Haan. p. 17-18. *En:* Resúmenes BioPlag'94. II Taller Nacional de Plaguicidas Biológicos de Origen Botánico. INIFAT, La Habana, Cuba, 5-7 de abril de 1994.
- Samuels, G. J. 1996. *Trichoderma*: a review of biology and systematics of the genus. Mycol. Res. 100: 923-935.
- Sandoval, Ileana; María O. López. 1994. Hiperparasitismo "in vitro" de *Trichoderma* spp. sobre algunos hongos fitopatógenos. p. 20. *En:* Resúmenes II Taller Nacional de Plaguicidas Biológicos de Origen Botánico. INIFAT, La Habana, Cuba, 5-7 de abril de 1994.
- Sandoval, Ileana; María O. López; Dania García; I. Mendoza. 1995. *Trichoderma harzianum* (cepa A-34). Un biopreparado de amplio empleo para micopatologías en tomate y pimiento. CID-INISAV Boletín Técnico 3: 38 p.
- Sandoval, Ileana; María O. López; Marusia Stefanova; Blanca Bernal; M.

- Neyra; Dania García; F. Rodríguez. 2001. Hongos que causan damping-off en el tomate y control con *Trichoderma harzianum* cepa A34 para el manejo integrado de plagas del cultivo en Cuba. p. 152. *En:* Resúmenes II Congreso de la Sección Regional Neotropical de la Organización Internacional de Control Biológico. Matanzas, Cuba, junio de 2001.
- Savón, J.; A. Marrero. 1997. Aliáceas: ajo, cebolla y cebollino. p. 25-26. *En:* A. Casanova (ed.), Memorias 25 Aniversario del Instituto de Investigaciones Hortícolas "Liliana Dimitrova". La Habana, Cuba.
- Shkalikov, V.A.; O.N. Shekhovtsova. 1994. Biological protection of wheat from root rots. *Zashchita Rastenii Moskva* 11:20-24.
- Stefanova, Marusia; Ileana Sandoval. 1995. Efectividad de biopreparados de *Trichoderma* spp. en el control de hongos fitopatógenos de suelo. *CID-INISAV, Boletín Técnico* 2: 22 p.
- Stefanova, Marusia; Ileana Sandoval; Ana Fernández. 1995. Compatibilidad entre cepas de *Trichoderma* spp. y agentes biopesticidas, biofertilizantes y bioestimulantes. Informe técnico de investigación. INISAV, La Habana, Cuba: 10 p.
- Sutton, J. C. 1995. Evaluation of microorganisms for biocontrol: *Botrytis cinerea* and strawberry, a case study. p.171-188. *In:* Advances in Plant Pathology. Arizona Press, Arizona, U.S.A.
- Taylor, A.G.; T.G. Min; G.E. Harman. 1991. Liquid coating formulation for the application of biological seed treatments of *Trichoderma harzianum*. *Biological Control* 1: 16-22.
- Townsend, G.R.; J.W. Heuberger. 1944. Methods for estimating losses caused by diseases with fungicides experiments. *Plant Dis. Rep.* 27: 340-345.
- Tronsmo, A.; L.G. Hjeljord. 1998. Biological control with *Trichoderma* species. p. 111-124. *In:* G. S. Boland; L.K. Kuykendall (eds.), Plant-Microbe Interactions and Biological Control. Marcel Dekker, New York, U.S.A.
- Velikanov, L.I.; E. Cukhonosenko; S.I. Zavelishko. 1994. Comparison of hyperparasitic and antibiotic activity of the genus *Trichoderma* Pers.: Fr., and *Gliocladium virens* Miller. *Mikologiya I Fitopatologiya* 28 (6): 52-66.
- Vinajeras, Delcys; J. Padrón. 2000. Efectividad de *Tichoderma harzianum* como biocontrol de hongos presentes en cultivos de rosas (rojas y amarillas), príncipes negros y mariposas. p.16. *En:* Resúmenes MIP'2000. Forum Tecnológico sobre Manejo Integrado de Plagas.

- INISAV, La Habana, 27-28 de mayo de 2000.
- Whipps, J.M.; K. Lewis; R.C. Cooke. 1988. Mycoparasitism and plant disease control. p. 161-187. *In*: M.N. Burge (ed.), Fungi in biological control systems. Manchester University Press, Manchester, USA.
- Wilson, Dayanis; Luz J. Devesa. 2000. Aplicación del hongo *Trichoderma* spp. cepa G6 para la desinfección de semillas de leguminosas. p. 10. *En*: Resúmenes MIP'2000. Forum Tecnológico sobre Manejo Integrado de Plagas. INISAV, La Habana, 27-28 de mayo de 2000.
- Wilson, M. 1997. Biocontrol of aerial plant diseases in agriculture and horticulture: Current approaches and futures prospects. *Journal Indian Microbiology and Biotecnology* 19 (3): 188-191.
- Wilson, M.; P.A. Backman. 1998. Biological control of plants pathogens. p. 309-335. *In*: J.R. Ruberson; M. Dekker (eds.), *Hanbook of Pest Management*. Academic Press, New York, U.S.A

NOMBRES VULGARES Y CIENTÍFICOS DE PLANTAS

Acelga	<i>Beta vulgaris</i>
Aguacate	<i>Persea americana</i>
Ajonjolí	<i>Sesamum indicum</i>
Albahaca	<i>Ocimum basilicum</i>
Alfalfa	<i>Medicago sativa</i>
Algodonero	<i>Gossypium hirsutum</i>
Arroz	<i>Oryza sativa</i>
Banano	<i>Musa sp.</i>
Berenjena	<i>Solanum melongena</i>
Berro	<i>Nasturtium officinale</i>
Boniato	<i>Ipomoea batatas</i>
Cacao	<i>Theobroma cacao</i>
Cafeto	<i>Coffea arabica</i>
Calabaza	<i>Cucurbita moschata</i>
Caléndula	<i>Calendula officinalis</i>
Canavalia	<i>Canavalia ensiformis</i>
Canola	<i>Brassica napus</i>
Canutillo	<i>Commelina sp.</i>
Caña de azúcar	<i>Saccharum sp. hybridus</i>
Casuarina	<i>Casuarina</i>
Caupí	<i>Vigna unguiculata</i>
Cebolla	<i>Allium cepa</i>
Cebollino	<i>Allium schoenoprasum</i>
Chícharo	<i>Pisum sativum</i>
Chile	<i>Capsicum frutescens</i>
Cilantro	<i>Coriandrum sativum</i>
Coco	<i>Cocos nucifera</i>
Col	<i>Brassica oleracea</i>

Col china	<i>Brassica pekinensis</i>
Crotalaria	<i>Crotalaria juncea</i>
Culantro	<i>Coriandrum sativum</i>
Datura	<i>Datura spp.</i>
Dolicho	<i>Lablab purpureus</i>
Eneldo	<i>Anethum graveolens</i>
Flor de muerto	<i>Tagetes spp.</i>
Fresa	<i>Fragaria ananassa Duchesne</i>
Frijol	<i>Phaseolus vulgaris</i>
Frijol terciopelo	<i>Mucuna pruriens</i>
Garbanzo	<i>Cicer arietinum</i>
Girasol	<i>Helianthus annuus</i>
Gladiolo	<i>Gladiolus communis</i>
Habichuela	<i>Vigna unguiculata</i>
Hibisco	<i>Hibiscus</i>
Hinojo	<i>Foeniculum vulgare</i>
Jengibre	<i>Zingiber officinale</i>
Lechuga	<i>Lactuca sativa</i>
Lima	<i>Citrus aurantiifolia</i>
Maíz	<i>Zea mays</i>
Malanga	<i>Xanthosoma sagittifolium</i>
Maní	<i>Arachis hypogaea</i>
Mango	<i>Mangifera indica</i>
Manzano	<i>Malus comunis</i>
Melocotonero	<i>Prunus persica</i>
Melón	<i>Cucumis melo</i>
Millo	<i>Sorghum bicolor</i>
Mostaza	<i>Sinapis alba</i>
Mostaza de la India	<i>Brassica juncea</i>
Naranja	<i>Citrus sinensis</i>
Nim	<i>Azadirachta indica</i>
Olivo	<i>Olea europaea</i>
Palma datilera	<i>Phoenix dactylifera</i>
Papa	<i>Solanum tuberosum</i>
Papaya	<i>Carica papaya</i>
Pepino	<i>Cucumis sativus</i>
Plimiento	<i>Capsicum annuum</i>
Quimbombó	<i>Abelmoschus esculentus</i>
Pino	<i>Pinus spp.</i>
Plátano	<i>Musa sp.</i>
Rabanito	<i>Raphanus sativus</i>
Remolacha	<i>Beta vulgaris var. saccharifera</i>
Rosal	<i>Rosa</i>

Sábila
Sesbania
Sorgo
Soya
Tabaco
Tomate
Toronja
Trébol blanco
Trébol rojo
Trigo
Vid
Yuca
Yute
Zanahoria

Aloe vera
Sesbania spp.
Sorghum bicolor
Glycine max
Nicotiana tabacum
Lycopersicon esculentum
Citrus x paradisi
Melilotus albus
Trifolium pratense
Triticum vulgare
Vitis vinifera
Manihot esculenta
Corchorus olitorius
Daucus carota