

PORTADA

Editores:

José M^a Egea
Botánica
Facultad de Biología
Universidad de Murcia
Campus de Espinardo
30100. Murcia

Julio C. Tello
Producción Vegetal
Escuela Técnica Superior
Universidad de Almería
La Cañada de San Urbano
04120. Almería

Miguel Angel Altieri
Dpto. de Control Biológico
Universidad de Berkeley
California

Comité Editorial

Itziar Aguirre
Ciencias Agroforestales
Universidad Sevilla. España

Marta Astier
Instituto de Ecología
Morelia. Mexico

Antonio Bello
Agroecología
Centro Ciencias Medioambientales
CSIC Madrid. España

María Soledad Catalá
Horticultura
IMIDA. Murcia. España

Celia de La Cuadra
Centro de Recursos Filogenéticos
INIA. Alcalá de Henares. España

Freddy Delgado
Agroecología Universidad Cochabamba
Brasil

Concha Fabeiro
Producción Vegetal
Universidad de Castilla la Mancha
Albacete. España

Carlos García Izquierdo
Conservación de Suelos, Agua
y manejo de Residuos Orgánicos.
CEBAS-CSIC. Murcia. España

Victor González
Coordinador Técnico. SEAE
Catarroja. Valencia

Steve Gliessmann
Agroecología
Universidad de Santa Cruz
California. USA

Antonio Gómez Sal
Ecología
Universidad de Alcalá de Henares
Madrid. España

Manuel González de Molina
Geografía, Historia y Filosofía
Universidad Pablo de Olavide
Sevilla. España

Gloria Isabel Guzmán.
CIFAED
Granada. España

Concepción Jordá
Ingeniería Agroforestal
Universidad Politécnica
Valencia. España

Fabio Kessler
Fitossanidade
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Brasil

Juana Labrador
Biología y Producción Vegetal
Universidad de Extremadura
Badajoz. España

Alfredo Lacasa
Protección de Cultivos
IMIDA. Murcia. España

Nicolás Lampkin
Institute of Rural Sciences
University Wales. UK

José Miguel Martínez Carrión
Dpto. Economía Aplicada
Universidad de Murcia

Jaime Morales
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente
Guadalajara. Mexico.

Urs Niggli
Forschungsinstitut für biologischen Landbau
Frick. Suiza

Fernando Nuez
Biotecnología
Univ. Politécnica de Valencia. España

José Luis Porcuna
Sanidad Vegetal
Consejería de Agricultura y Medio Ambiente
Valencia. España

Francisco Roberto Caporal
Asistencia Técnica y Extensión Rural
Ministerio del Desarrollo Agrario. Brasil

Félix Romojaro
Maduración, Conservación y Calidad de
Productos Agrarios
CEBAS-CSIC. Murcia. España

Xavier Sanz
Biología Vegetal (Botánica)
Universidad Central de Barcelona. España

Santiago Sarandón
Agroecología
Universidad Nacional de la Plata. Argentina

Juan José Soriano
Consejería de Agricultura
Junta de Andalucía Sevilla. España

Victor Toledo
Etnoecología
Universidad Nacional Autónoma
Michoacán. Mexico

Juan Torres Guevara
Biología
Universidad Nacional Agraria La Molina.
Perú

Jaume Vadell
Biología
Universidad de Islas Baleares

Evaluadores

Este volumen ha sido coordinado y evaluado por Clara Nichols (University of California, Berkeley, USA)

Edita:



<http://www.um.es/publicaciones>
e-mail: publicaciones@um.es

Subscription/Subscripciones. Servicio de Publicaciones, Universidad de Murcia, calle Vistalegre s/n, 30007 Murcia, España. Teléfono: 968363887, Fax: 968363414.
<http://www.um.es/spumweb>
ISSN: 1887-1941
D.L.: MU-1705-2006
Imprime: FG Graf • e-mail: fggraf@gmail.com

Submission of papers/Envíos de manuscritos para publicar en Agroecología. Normas de publicación en páginas finales.

Facultad de Biología

Universidad de Murcia

Agro ecolo gía

Vol.
5

2010



INDICE VOLUMEN 5

CONTRIBUCIONES AGROECOLÓGICAS PARA RENOVAR LAS FUNDACIONES DEL MANEJO DE PLAGAS	7
Clara Ines Nicholls	
SOBRE EL CARÁCTER MULTIFUNCIONAL DE LA AGROECOLOGÍA: EL MANEJO DE LA MATRIZ AGRÍCOLA Y LA CONSERVACIÓN DE ESPECIES SILVESTRES COMO SISTEMAS METAPOBLACIONALES	23
Diego Griffon, Dayaeth Alfonso, Maria Josefina Hernandez	
ESTUDIO DE LA MACROFAUNA EDÁFICA (ORDEN ARANEAE). SU RIQUEZA Y ABUNDANCIA EN INVERNÁCULOS SUJETOS A UN MANEJO CONVENCIONAL Y EN TRANSICIÓN AGROECOLÓGICA. PARTIDO DE LA PLATA, ARGENTINA	33
Ignacio Baloriani Gabriel, Mariana Marasas, Marco Antonio Benamú, Santiago Javier Sarandón	
COMPLEJIDAD ECOLÓGICA Y EL CONTROL DE PLAGAS EN UN CAFETAL ORGÁNICO: DEVELANDO UN SERVICIO ECOSISTÉMICO AUTÓNOMO	41
Ivette Perfecto, John Vandermeer, Stacy M. Philpott	
RESULTADOS DE UN PROCESO DE CAPACITACIÓN EN INNOVACIÓN PARTICIPATIVAS PARA LA ADOPCIÓN DEL MANEJO AGROECOLÓGICO DE LA BROCA DEL CAFÉ EN CUBA	53
Luis L. Vázquez, Carlos Murguido, Aurelio Navarro, Mario García	
REVALORANDO VIEJAS PRÁCTICAS MAYAS DE MANEJO DE PLAGAS DEL MAÍZ PARA LA AGRICULTURA DEL FUTURO	63
Helda Morales, Pedro Ramírez, Heidi Liere, Soledad Rodas, Juan Carlos López	
CONSIDERACIONES ECOLÓGICAS PARA EL DESARROLLO DE PROGRAMAS DE MANEJO INTEGRADO DE MALEZAS	73
Fabián D. Menalled	
DISMINUYENDO LA RELEVANCIA DE LOS PLAGUICIDAS. ALTERNATIVAS A SU USO	79
Nilda Pérez, Ciro Infante, Cristina Rosquete, Alfredo Ramos, Carlos González	

CONTRIBUCIONES AGROECOLÓGICAS PARA RENOVAR LAS FUNDACIONES DEL MANEJO DE PLAGAS

Clara Ines Nicholls

University of California, Berkeley, 217 Mulford Hall -3114 Berkeley, California 94720. USA

Resumen

Las estrategias de manejo integrado de plagas (MIP) han estado dominadas por la idea del producto considerado como "la bala mágica" para controlar los brotes de plagas. Los enfoques del MIP no han abordado las causas ecológicas de los problemas de plagas en la agricultura moderna. En este artículo se plantea que los problemas de plagas pueden solucionarse mediante la reestructuración del manejo de los sistemas agrícolas, quebrando el monocultivo vía esquemas de diversificación que maximicen una serie de fortalezas preventivas, aprovechando las ventajas inherentes de los agroecosistemas diversificados, usando tácticas terapéuticas que actúan estrictamente como complementos de los procesos de regulación natural. Estos enfoques suponen un conocimiento profundo de los procesos del agroecosistema, incluyendo los factores naturales que suprimen las poblaciones de plagas, con el objetivo final de diseñar sistemas agrícolas a nivel de finca y de paisaje que fomentan los procesos de regulación natural de plagas.

Palabras claves: Manejo ecológico de plagas, agroecosistemas diversificados, Agroecología.

Summary

Agroecological foundations for a renewed basis for pest management

The strategies of Integrated Pest management (IPM) have been dominated by a "magic bullet" mentality to control pest outbreaks. IPM approaches do not address the ecological root causes of pest problems in modern agriculture. This paper poses that the only sustainable way by which pest problems can be addressed is by re-structuring the management of agroecosystems, breaking the monoculture nature of the systems with diversification schemes that maximize preventive forces as the inherent ecological mechanisms of diversified agroecosystems are strengthened. Therapeutic approaches may strictly be used as complimentary tactics to natural regulation mechanisms. This agroecological approach requires a deep understanding of agroecosystem processes, including how to enhance the natural factors that inhibit and suppress pest populations at the field and landscape levels.

Key words: agroecology, ecological pest management

1. Introducción

El concepto de manejo integrado de plagas (MIP) surgió a principios de 1970 en respuesta a las preocupaciones sobre los impactos de los plaguicidas en el medio ambiente. Al proporcionar una alternativa a la estrategia de intervención unilateral con productos químicos, se esperaba que el MIP pudiera cambiar la filosofía de la protección de cultivos a una comprensión más profunda de la ecología de los insectos y de los cultivos, que resultaría en una estrategia basada en uso de varias tácticas complementarias. Fue previsto que la teoría ecológica proporcionaría una base para predecir cómo los cambios específicos en las prácticas de producción y los insumos podrían afectar los pro-

blemas de plagas. También se pensó que la ecología ayudaría en el diseño de sistemas agrícolas menos vulnerables a los brotes de plagas. En estos sistemas los plaguicidas se utilizarían como suplementos ocasionales a los mecanismos de regulación natural. De hecho, muchos autores escribieron artículos y documentos científicos que representan la base ecológica de la manejo de plagas (Southwood y Way 1970, Price y Waldbauer 1975, Pimentel y Goodman 1978, Levins y Wilson 1979). Pero a pesar de todo este trabajo inicial, que proporcionó gran parte de las fundaciones ecológicas necesarias, la mayoría de los programas de MIP se han desviado para convertirse en esquemas de "Manejo Inteligente de Pesticidas" y han fallado en integrar la teoría ecológica en la práctica.

Además, el hecho bien conocido, de que la estructura y las políticas agrícolas vigentes (muchas influenciadas por las presiones de la industria de agroquímicos y de la biotecnología) han favorecido a las propiedades de gran tamaño y a la producción de monocultivos especializados, características que perpetúan la dependencia en los plaguicidas. Lewis *et al.* (1997) sostienen que la razón principal por la cual, la ciencia del MIP ha sido lenta en proporcionar un entendimiento profundo que ayude a los agricultores a ir más allá de los métodos de producción actual, es porque las estrategias de MIP han estado durante mucho tiempo dominadas por la idea de la "bala mágica" para controlar los brotes específicos de plagas. Los enfoques del MIP no han abordado las causas ecológicas de los problemas de plagas en la agricultura moderna. Todavía prevalece una visión estrecha de que ciertas plagas específicas afectan la productividad y que la única forma de superar este factor limitante es a través de las nuevas tecnologías, puesto que este sigue siendo el objetivo principal. Hoy en día el énfasis está en la compra de insumos biológicos tales como los insecticidas microbianos usados ampliamente en lugar de insecticidas químicos. Este tipo de tecnología se refiere a un enfoque técnico dominante llamado "substitución de insumos". La idea es puramente técnica, caracterizado por la mentalidad del factor limitante, que ha permanecido en la investigación agrícola convencional en el pasado. Agrónomos y otros científicos de las áreas agrícolas han sido educados bajo el indicativo de la "ley del mínimo" como un dogma central. Según este, en un momento determinado hay un único factor que limita el rendimiento y la única manera de superar ese factor es con el uso de un insumo externo que sea apropiado. Una vez que el primer factor limitante (áfidos, por ejemplo) ha sido superado con un insecticida específico como insumo correcto, el rendimiento puede aumentar hasta que otro factor limitante (ácaros, por ejemplo) limita el rendimiento, debido que se eliminaron con el insecticida aplicado los ácaros depredadores. Este nuevo factor requiere otro insumo, acaricida, en este caso, y así sucesivamente, perpetuando el proceso del tratamiento de los síntomas en lugar de abordar las causas reales que provocan un desequilibrio ecológico (Altieri y Rosset 1996).

La comprensión de las habilidades de los insectos que explican por qué las plagas se adaptan rápidamente a los agroecosistemas es importante, también es necesario entender porque ciertos agroecosistemas son más susceptibles a las plagas. Mediante el diseño de agroecosistemas que por un lado afecten el desarrollo de las plagas y por el otro sean menos vulnerables a la invasión de estas, los agricultores pueden sustancialmente reducir la incidencia de plagas.

Se argumenta que las soluciones a largo plazo de los problemas de plagas pueden solamente lograrse mediante la reestructuración del manejo de los sistemas

agrícolas, de manera que maximicen la construcción de una serie de fortalezas preventivas, con tácticas terapéuticas que actúan estrictamente como copias de seguridad de los procesos de regulación natural. Lewis *et al.* (1997) proponen tres enfoques para mantener las poblaciones de plagas en niveles que no causen daño, aprovechando las ventajas inherentes de los ecosistemas: (1) el manejo de ecosistemas; (2) atributos de los cultivos y el nivel de interacciones multitróficas y (3) tratamientos terapéuticos con interrupciones mínimas. Estos enfoques suponen un conocimiento profundo de los procesos subyacentes del manejo de los ecosistemas, incluyendo los factores naturales que suprimen las poblaciones de plagas, con el objetivo final de diseñar prácticas agrícolas que fomentan esos procesos de regulación natural de plagas.

Thies y Tschardtke (1999) sostienen que los enfoques del manejo de plagas deben implicar el trabajo a escala regional, reconociendo la heterogeneidad espacial del paisaje. Esta estrategia requiere un enfoque de cooperación de toda el área, porque las fuentes de las plagas están más allá de los límites del campo, por lo que es importante incluir en los estudios conceptos claves de la ecología del paisaje.

2. Agroecología y manejo de plagas

Una manera de seguir avanzando en el enfoque del manejo de los ecosistemas y en el Manejo Integrado de Plagas (MIP) es a través de la comprensión de que la salud de los cultivos y los rendimientos sostenibles de los agroecosistemas se derivan de un equilibrio adecuado entre los cultivos, suelos, nutrientes, luz solar, humedad, y los organismos existentes. Un agroecosistema es productivo y saludable cuando el balance ecológico prevalece y cuando las plantas siguen siendo resilientes, es decir son capaces de tolerar el estrés y la adversidad. Perturbaciones ocasionales se pueden superar con agroecosistemas vigorosos, que son adaptables, y lo suficientemente diversos como para recuperarse una vez que el estrés ha pasado (Altieri y Rosset 1996). Si la causa de la enfermedad, de las plagas, de la degradación del suelo, etc. se entiende como un desequilibrio, entonces el objetivo del tratamiento agroecológico es recuperar el equilibrio, poniendo en marcha la tendencia natural del agroecosistema a la reparación en sí. Esta tendencia se conoce en la ecología como homeostasis, el mantenimiento de las funciones internas del sistema y el los mecanismos de defensa para compensar los factores de estrés externos. Pero para alcanzar y mantener la homeostasis se requiere de un entendimiento profundo de la naturaleza de los agroecosistemas y de los principios por los cuales ellos funcionan. Afortunadamente, hay un nuevo enfoque científico integrador que permite esa comprensión. La agroecología proporciona principios ecológicos básicos sobre cómo estudiar, di-

señar y manejar los agroecosistemas que son productivos, duraderos, y que conservan los recursos naturales (Altieri 1995). La agroecología va más allá de una visión unidimensional de los agroecosistemas, su genética, la agronomía, la edafología, etc., para conjugar un entendimiento de los sistemas ecológicos y sociales de los niveles de co-evolución, estructura y función. En lugar de centrarse en un componente particular del agroecosistema, la agroecología enfatiza la interrelación de todos los componentes del agroecosistema y la dinámica compleja de los procesos ecológicos tales como el ciclo de nutrientes y la regulación de las plagas (Gliessman 1999).

Desde una perspectiva de manejo, el objetivo agroecológico es proporcionar un ambiente equilibrado, con rendimientos sostenibles, con una fertilidad del suelo biológicamente mediada y una regulación natural de plagas a través del diseño diversificado de los agroecosistemas y el uso de tecnologías de bajos insumos (Altieri 1994). La estrategia se basa en principios ecológicos que optimizan el reciclaje de nutrientes y la acumulación de materia orgánica, flujos cerrados de energía, conservación de agua y suelo, que conducen a poblaciones de plagas y enemigos naturales equilibrados. La estrategia aprovecha la complementación que resulta de las diversas combinaciones entre cultivos, árboles y animales en el tiempo y en el espacio (Altieri y Nicholls 1999). Estas combinaciones determinan el establecimiento de una biodiversidad funcional planeada y una biodiversidad asociada que presta servicios ecológicos claves que subsidian los procesos ecológicos que subyacen la salud del agroecosistema. En otras palabras, los conceptos ecológicos son utilizados para favorecer los procesos naturales y las interacciones biológicas que optimizan sinergias, de manera que las fincas diversificadas puedan patrocinar su propia fertilidad, protección de cultivos, y productividad a través de la activación de la biología del suelo, el reciclaje de nutrientes, y el incremento de los artrópodos benéficos y antagonistas. Basados en estos principios, los agroecólogos involucrados en el manejo de plagas han desarrollado un marco para alcanzar la salud del cultivo mediante la diversificación del agroecosistema y el mejoramiento de la calidad del suelo, pilares fundamentales de la salud del agroecosistema. El objetivo principal es mejorar la inmunidad del agroecosistema (mecanismos de control natural de plagas) y los procesos reguladores (ciclo de nutrientes y regulación de poblaciones) a través de prácticas de manejo y diseños agroecológicos que incrementan la diversidad genética y de especies, la acumulación de materia orgánica y la actividad biológica de el suelo (Altieri 1999).

Los agroecosistemas pueden ser manipulados para mejorar la producción, con menos impactos negativos ambientales y sociales y menor dependencia en insumos externos (Altieri 1995). El diseño de estos sistemas

se basa sobre la aplicación de los siguientes principios ecológicos (Reinjets *et al.* 1992):

1. Mejorar el reciclaje de biomasa y optimizar el balance del flujo de nutrientes.
2. Asegurar las condiciones del suelo favorables para el crecimiento de los cultivos, mediante el manejo de la materia orgánica del suelo y la actividad biológica.
3. Minimizar las pérdidas de suelo y agua, mediante el manejo del microclima, la cosecha de agua y las coberturas del suelo.
4. Promover la diversificación de especies y genética de los agroecosistemas en el tiempo y en el espacio a nivel de finca y paisaje.
5. Mejorar las interacciones biológicas benéficas y las sinergias entre los componentes de la diversidad biológica agrícola, resultando así en la promoción procesos y servicios ecológicos claves.

Estos principios pueden aplicarse por medio de diversas técnicas y estrategias. Cada una de estas tendrá diferentes efectos sobre la productividad, la estabilidad, y la resistencia del sistema agrícola, dependiendo de las oportunidades locales, las limitaciones de recursos, y en la mayoría de los casos del mercado. El objetivo final de diseño agroecológico es integrar los componentes de manera que, se mejore la eficiencia biológica, se conserve la biodiversidad del agroecosistema y se mantenga la productividad y la capacidad de autosuficiencia del sistema agrícola.

2.1. La ecología de los agroecosistemas modernos: comprensión de la vulnerabilidad a las plagas

La agricultura moderna ha implicado la simplificación de la estructura del medio ambiente en grandes regiones, reemplazando la diversidad de la naturaleza con un número muy pequeño de plantas cultivadas. Debido a esta simplificación del ambiente y a la reducción de las interacciones tróficas en los agroecosistemas, raramente se expresan los procesos de autorregulación. La diversidad biológica es reducida, la estructura trófica tiende a ser simplificada, y muchos nichos no son ocupados. El peligro de que se presenten invasiones catastróficas de plagas o enfermedades es alto, a pesar del uso intensivo de insumos agroquímicos.

El empeoramiento de los problemas de plagas y enfermedades se ha relacionado experimentalmente con la expansión de los monocultivos a expensas de la diversidad vegetal, la cual es un componente esencial del paisaje que proporciona servicios ecológicos claves para asegurar la protección de cultivos (Altieri y Letourneau 1982). El noventa y uno por ciento de los 1,5 billones de hectáreas de tierras cultivadas en el mundo están ocupados por cultivos anuales, principalmente por monocultivos de trigo, arroz, maíz, algodón y soya. Uno

de los principales problemas que derivan de la homogeneización de los sistemas agrícolas es un aumento de la vulnerabilidad de los cultivos a las plagas y enfermedades, que pueden ser devastadoras si afectan a un cultivo uniforme, especialmente en grandes extensiones. Para proteger estas cosechas en todo el mundo, se aplicaron en 1995 cerca de 4,7 millones de libras de pesticidas (1,2 millones de libras en Estados Unidos); cantidades que han aumentado en los últimos diez años. En Estado Unidos, los costos sociales y ambientales asociados a estos niveles de pesticidas, se han estimado en 8 billones de dólares por año (Pimentel y Perkins 1980).

Por otro lado, las prácticas agrícolas modernas (principalmente el uso de plaguicidas) afectan negativamente a los enemigos naturales (depredadores y parasitoides), que no se desarrollan en ambientes tóxicos, o no encuentran los recursos ambientales y las oportunidades necesarias en los monocultivos para suprimir eficazmente las plagas (Altieri 1994). Mientras que los monocultivos se mantengan como la base estructural de los sistemas agrícolas modernos, los problemas de plagas seguirán siendo el resultado de un círculo vicioso que perpetua el uso de pesticidas, si se mantiene la simplificación de la vegetación, los residuos de plaguicidas, y los desequilibrios nutricionales causados por el exceso de fertilizantes y las invasiones de plagas. Ya existen claros signos de que la estrategia del control de plagas basado en la utilización de pesticidas ha llegado a su límite. Es necesaria una estrategia alternativa basada en el uso de los principios ecológicos para aprovechar al máximo los beneficios de la biodiversidad en la agricultura. Así, el gran reto para los partidarios del manejo ecológico de plagas (MEP) es desarrollar estrategias que superaren los límites ecológicos impuestos por los monocultivos.

La manipulación humana y la alteración de ecosistemas con el propósito de establecer una producción agrícola hace que los agroecosistemas sean estructural y funcionalmente muy diferentes de los ecosistemas naturales (Tabla 1). En la búsqueda de alternativas para desarrollar agroecosistemas más sostenibles, varios inves-

tigadores han planteado que los agroecosistemas tropicales deberían imitar la estructura y el funcionamiento de las comunidades naturales (práctica seguida durante siglos por miles de campesinos), ya que estos sistemas exhiben un ciclaje de nutrientes bastante cerrado, resistencia a la invasión de plagas, estructura vertical y conservan la biodiversidad (Ewel 1986, Soule y Piper 1992). La mayoría de los ecólogos están de acuerdo que cualquier enfoque de manejo de plagas debe incluir la estrategia de diseño de los agroecosistemas que imitan las etapas posteriores de la sucesión (es decir, comunidades maduras) tanto como sea posible, para alcanzar así la estabilidad (Root 1973, van Emden y la Williams 1974). Esto es particularmente cierto en los trópicos, donde la promoción de monocultivos mecanizados en áreas donde existe una complejidad biótica abrumadora y donde las plagas prosperan durante todo el año, ha resultado en grandes fracasos por ataque de plagas. Un enfoque más razonable es imitar los ciclos naturales en vez de luchar para imponer la simplicidad (monocultivos) en los ecosistemas que son inherentemente complejos. Ewel (1986) afirma que los ecosistemas sucesionales pueden ser modelos particularmente apropiados para el diseño de agroecosistemas tropicales.

2.2. Factores que desencadenan los brotes de plagas de insectos en los agroecosistemas

Muchos investigadores concuerdan en que dadas las grandes diferencias entre los agroecosistemas mecanizados y los ecosistemas naturales, especialmente la prevalencia de los monocultivos y los altos niveles de perturbación, los sistemas agrícolas modernos carecen de una infraestructura ecológica adecuada para resistir las invasiones y los brotes de plagas (Altieri 1994, Landis *et al.* 2000). Hay muchos factores que explican la vulnerabilidad de los monocultivos de a las invasiones de plagas:

a. La disminución de la diversidad del paisaje

Una de las principales características del paisaje agrícola moderno es el gran tamaño y la homogeneidad de

Tabla 1. Diferencias estructurales y funcionales entre los agroecosistemas y los ecosistemas naturales.

Características	Agroecosistemas	Ecosistema natural
Productividad neta	Alta	Media
Cadenas tróficas	Simples, lineales	Compleja
Diversidad de especies	Baja	Alta
Diversidad genética	Baja	Alta
Ciclos minerales	Abiertos	Cerrados
Estabilidad (resistencia)	Baja	Alta
Entropía	Alta	Baja
Control humano	Definido	Innecesario
Permanencia temporal	Corta	Larga
Heterogeneidad de hábitat	Simple	Compleja
Fenología	Sincronizada	Estacional
Madurez	Inmadura, sucesión temprana	Madura, clímax

Fuente: modificado de Gliessman (1998)

los monocultivos, que fragmentan el paisaje natural. En la medida que se homogeniza el paisaje y aumenta la perturbación del ambiente, este se torna cada vez más desfavorable para los enemigos naturales. Cada vez más, la evidencia sugiere que estos cambios en la diversidad del paisaje han llevado a más brotes de plagas debido a la expansión de los monocultivos a expensas de la vegetación natural (Altieri y Letourneau 1982). Datos recientes demuestran que hay un incremento de enemigos naturales y control biológico más efectivo en áreas donde permanece la vegetación natural en los bordes de los campos (Barbosa 1998). Estos hábitats son importantes como sitios de refugio y proveen recursos alimenticios para enemigos naturales en épocas de escasez de plagas en el campo (Landis *et al.* 2000). En el caso de cultivos anuales, los insectos benéficos colonizan desde los bordes cada estación de crecimiento del cultivo y si estos campos son grandes, mayor es la distancia que debe ser colonizada. En general, se reconoce la importancia de la vegetación natural alrededor de los campos de cultivo como reserva de enemigos naturales de plagas (van Emden 1966).

b. La disminución en la diversidad vegetal dentro de los campos

A través de los años, muchos ecólogos han demostrado que una menor diversidad de plantas en los agroecosistemas conduce a una mayor abundancia de insectos herbívoros y que las plagas especialistas son más abundantes en los monocultivos que en los sistemas diversificados (Altieri y Letourneau 1982, Andow 1991). Se han propuesto dos hipótesis ecológicas (la hipótesis de los enemigos naturales y la hipótesis de la concentración de recursos) para explicar por qué se pueden estabilizar las poblaciones de insectos en los agroecosistemas mediante la construcción de arquitecturas vegetales que promueven los enemigos naturales o inhiben directamente los ataques de plagas (Root 1973).

c. Los plaguicidas inducen brotes de insectos plaga

En la literatura existen muchos ejemplos sobre brotes de plagas y/o la resurgencia de plagas después de las aplicaciones de insecticidas (Pimentel y Perkins 1980). El desarrollo de resistencia en las poblaciones de insectos plaga es la principal razón por la que el uso de plaguicidas haya sido un fracaso. Más de 500 especies de artrópodos han desarrollado resistencia a uno o más insecticidas o acaricidas (van Driesche y Bellows 1996).

Otra forma en que los plaguicidas favorecen los brotes de plagas es a través de la eliminación de los enemigos naturales de la plaga. Depredadores y parasitoides a menudo experimentan una mayor mortalidad que los herbívoros después de una aplicación de productos químicos (Morse *et al.* 1987). Los plaguicidas también crean nuevos problemas de plagas cuando los enemigos naturales normalmente de las especies que no son

plagas económicas, son eliminados por los productos químicos. Estas plagas secundarias, luego de alcanzar una densidad por encima del umbral, comienzan a causar daños económicos (Pimentel y Lehman 1993).

d. Fertilizantes inducen brotes de plagas

Luna (1988) sugiere que la susceptibilidad fisiológica de los cultivos a insectos podría verse afectada por el tipo de fertilizante utilizado (fertilizante orgánico vs químico). En estudios comparativos, los cultivos convencionales (tratados con fertilizantes químicos) tienden a desarrollar una mayor infestación de insectos (especialmente insectos del orden Homoptera) que las contrapartes orgánicas. Parece que el exceso de fertilizante químico puede alterar la bioquímica nutricional de las plantas de cultivo al cambiar las concentraciones de nitrógeno, fósforo y potasio, al influir en la producción de azúcares, aminoácidos libres y proteínas (Oka y Pimentel 1976, Rodríguez *et al.* 1957).

e. Brotes de plagas de insectos debido a factores climáticos

Algunos autores sostienen que el clima puede ser el factor más importante para desencadenar brotes de insectos (Milne 1957). Por ejemplo, Miyashita (1963), en la revisión de la dinámica de siete de las plagas más graves en los cultivos japoneses, llegó a la conclusión de que el clima fue la causa principal de los brotes en cada caso. Hay varias formas en que el clima puede desencadenar brotes de insectos. Tal vez el mecanismo más sencillo es la estimulación directa de los insectos y/o la fisiología de la planta huésped.

f. Los cultivos transgénicos y los brotes de plagas de insectos

En los últimos años, los cultivos transgénicos se han expandido en área, alcanzando más de 160 millones de hectáreas en todo el mundo. Estas áreas están dominadas por monocultivos con pocas variedades, principalmente soya resistente a herbicidas y maíz Bt, con una clara tendencia a la disminución de hábitat agrícola (Mavier 2001). Varios agroecólogos han argumentado que el despliegue rápido y tan masivo de los cultivos transgénicos exacerbará los problemas de la agricultura moderna convencional (Rissler y Mellon 1996, Altieri 2000). Es conocido que la homogeneidad genética hace a los sistemas más vulnerables a las plagas y enfermedades y en los campos con cultivos transgénicos, este efecto será mayor (NAS 1972). Los cultivos transgénicos afectan a los enemigos naturales de varias formas: las especies de enemigos naturales pueden alimentarse directamente sobre los tejidos de maíz (por ejemplo, polen) o del huésped que se ha alimentado con maíz Bt. Manteniendo las poblaciones de plagas a niveles muy bajos, los cultivos Bt podrían potencialmente dejar morir de hambre a los enemigos naturales, porque los depredadores y parasitoides que se

controlan las plagas, necesitan una pequeña cantidad de presas o huéspedes para sobrevivir en el agroecosistema. Entre los enemigos naturales que viven exclusivamente de los insectos a los cuales los cultivos transgénicos están diseñados para destruir (Lepidóptera), por ejemplo, los parasitoides de huevos y de larvas serían los más afectados porque son totalmente dependientes de hospederos vivos para su desarrollo y supervivencia.

Los enemigos naturales también podrían verse afectados directamente por efecto de los niveles intertróficos de la toxina. La posibilidad de que las toxinas Bt se mueven a través de la cadena alimentaria de los insectos presenta serias implicaciones para el control biológico en campos de agricultores. Evidencias recientes muestran que la toxina Bt puede afectar a insectos benéficos depredadores que se alimentan de las plagas presentes en los cultivos Bt (Hilbeck *et al.* 1998). Estudios en Suiza muestran que la media de la mortalidad total de las larvas del Crisopas depredadoras (Chrysopidae) criadas con presas alimentadas con Bt fue de 62 por ciento, comparada con 37 por ciento cuando se alimentaron con presas libres de Bt. Estas especies de Chrysopidae alimentadas con Bt también mostraron un tiempo más prolongado de desarrollo a lo largo de su estado de vida inmadura (Hilbeck *et al.* 1998).

3. Re-estableciendo la racionalidad ecológica en la agricultura moderna

Algunos agroecólogos sostienen que la vulnerabilidad de agroecosistemas modernos puede ser reparada mediante el incremento de la biodiversidad a nivel de campo y del paisaje (Gliessman 1999; Altieri 1999). Las propiedades ecológicas emergentes desarrolladas en agroecosistemas diversificados permiten que la diversidad biológica prospere y se establezcan redes tróficas e interacciones complejas. Pero la biodiversificación debe ir acompañada del mejoramiento calidad del suelo, dado que la relación entre suelos sanos y plantas sanas es fundamental para el Manejo Ecológico de Plagas (MEP). Los niveles más bajos de plagas comúnmente reportados en los sistemas agrícolas orgánicos, pueden en parte deberse a que la resistencia esta mediada por las dinámicas bioquímicas o minerales de los nutrientes de los cultivos manejados con tales prácticas. Los resultados de dichos estudios proporcionan una evidencia interesante para apoyar la idea de una articulación a largo plazo del manejo de la diversidad de plantas y del manejo de la calidad del suelo (adición de materia orgánica) lo que puede conducir a una mejor resistencia de las plantas contra las plagas de insectos.

3.1. Armonización del suelo y la salud de las plantas en los agroecosistemas

La integridad del agroecosistema depende de las sinergias entre la diversidad de plantas y el funciona-

miento continuo de la comunidad microbiana del suelo sustentada por un suelo rico en materia orgánica (Altieri y Nicholls 1999). A pesar de los vínculos potenciales entre la fertilidad del suelo y la protección de cultivos, la evolución de los conceptos de Manejo Integrado de Plagas (MIP) y Manejo Integrado de la Fertilidad de Suelos (MIFS) han procedido separadamente (Altieri y Nicholls 2003).

Nuevas investigaciones demuestran que la habilidad de un cultivo de resistir o tolerar el ataque de insectos plagas y enfermedades, está ligado a las propiedades físicas, químicas y particularmente biológicas del suelo, a las interacciones positivas entre los suelos y las plagas que una vez identificadas pueden proveer guías para optimizar la función total del agroecosistema (Fig. 1). Suelos con alto contenido de materia orgánica y una alta actividad biológica generalmente exhiben buena fertilidad, así como cadenas tróficas complejas y organismos benéficos abundantes que previenen la infección. Por otro lado, las prácticas agrícolas que causan desbalances nutricionales bajan la resistencia de las plantas a plagas (Magdoff y Van Es 2000).



Figura 1. Sinergismos potenciales entre la gestión orgánica de la fertilidad de suelos y el manejo ecológico de plagas.

Los estudios de Settle *et al.* (1996) en agroecosistemas tropicales de arroz de riego en Asia, mostraron que el incremento de la materia orgánica en las parcelas de ensayo, aumentaron las poblaciones de detritívoros y algunos fitófagos que se alimentan de plancton, pero que fueron claves al aumentar considerablemente la abundancia de depredadores generalistas, cuando aun no estaban las plagas presentes. Sorprendentemente,

el manejo de la materia orgánica ha demostrado ser un mecanismo clave en el apoyo de altos niveles de control biológico natural. (Phelan *et al.* 1995).

3.1.1 Los efectos de la fertilización nitrogenada en las plagas de insectos

Las prácticas de fertilización pueden tener efectos indirectos en la resistencia de plantas a los insectos plaga, al cambiar la composición de nutrientes en el cultivo. La mayoría de los estudios reportan incrementos dramáticos en el número de áfidos y ácaros en respuesta al incremento de las tasas de fertilización nitrogenada. De acuerdo con van Emden (1966) el incremento en las tasas de fecundidad y desarrollo del áfido verde del durazno *Myzus persicae*, estaba altamente correlacionado con el incremento en los niveles de nitrógeno soluble en los tejidos de la hoja. Varios otros autores también han indicado el incremento de las poblaciones de áfidos y ácaros con la fertilización nitrogenada (Luna 1988, Letourneau 1988). En dos años de estudio, Brodbeck *et al.* (2001) encontraron que las poblaciones de thrips *Frankliniella occidentalis*, fueron significativamente altas en tomates que recibieron altas tasas de fertilización nitrogenada. Otras poblaciones de insectos que exhiben los mismos patrones de incremento con la fertilización nitrogenada incluyen: *Spodoptera frugiperda* en maíz, *Helicoverpa (=Heliothis) zea* en algodón, *Ostrinia nubilalis* en maíz, *Pseudococcus comstocki* en manzano, *Psylla pyricola* en pera (Luna 1988).

Revisando 50 años de investigación que relaciona la nutrición de cultivos con el ataque de insectos, Scriber (1984) encontró 135 estudios que mostraban un incremento en el daño y/o el crecimiento poblacional de insectos masticadores de hoja o ácaros en sistemas de cultivos fertilizados con nitrógeno, y menos de 50 estudios en los cuales el daño de herbívoros se redujo. Estos estudios sugieren una hipótesis con implicaciones para el patrón de uso de fertilizantes en agricultura: altas dosis de nitrógeno puede resultar en altos niveles de daño por herbívoros en los cultivos. Como corolario, podría esperarse que cultivos bajo fertilización orgánica serían menos propensos a insectos plagas y enfermedades dada las menores concentraciones de nitrógeno en el tejido de estas plantas. Sin embargo, Letourneau *et al.* (1996) pregunta si esta hipótesis "nitrógeno-daño" basada en la revisión de Scriber, puede ser extrapolada como para dar una advertencia general acerca de la fertilización asociada al ataque de insectos plaga en los agroecosistemas. Letourneau revisó 100 estudios y encontró que dos tercios (67 de 100) de los estudios mostraron un incremento en el desarrollo, supervivencia, tasa reproductiva, densidades de población o niveles de daño de las plagas en plantas como respuesta al incremento del fertilizante nitrogenado. El tercio restante de los estudios de artrópodos mostró una disminución en el daño con la fertilización nitrogenada o no mostró

un cambio significativo. La autora también notó que los diseños experimentales pudieron afectar el tipo de respuestas observadas.

3.1.2 La dinámica de los insectos herbívoros en sistemas manejados orgánicamente

Estudios que documentan una menor abundancia de varios insectos herbívoros en sistemas manejados con bajos insumos ha sido particularmente atribuida al bajo contenido de nitrógeno de las plantas bajo manejo orgánico (Lampkin 1990). En Japón, la densidad del cicadélido *Sogatella furcifera* en campos de arroz fue significativamente menor, y la tasa reproductiva de las hembras adultas y la tasa de supervivencia de los estadios inmaduros fue generalmente menor en sistemas orgánicos que en sistemas convencionales. Consecuentemente la densidad de ninfas y adultos del cicadélido de las generaciones siguientes fue menor en los campos de arroz orgánico (Kajimura 1995)

En Inglaterra, sistemas de trigo convencional presentaron altas infestaciones del áfido *Metopolophium dirhodum* comparado con trigo orgánico. Los sistemas de trigo fertilizados convencionalmente también presentaron altos niveles de aminoácidos libres en las hojas durante junio, lo cual fue atribuido a la aplicación de nitrógeno temprano en la estación (Abril). Sin embargo, la diferencia en las infestaciones de áfidos entre los dos tipos de sistemas fue atribuido a la respuesta de los áfidos a las proporciones relativas de ciertas sustancias no proteicas versus proteicas presentes en las hojas en el momento de la colonización de áfidos (Kowalski y Visser 1979). Los autores concluyeron que la fertilización química tornó al trigo más gustoso que su contraparte cultivado orgánicamente, por lo que se presentaban altos niveles de infestación.

En experimentos bajo invernadero comparando maíz cultivado en suelos orgánicos versus maíz cultivado en suelo fertilizado químicamente, se observó que las hembras del barrenador del tallo del maíz *Ostrinia nubilalis* cuando se liberaban hembras grávidas en el invernadero para depositar sus huevos, ellas colocaban significativamente más huevos en las plantas fertilizadas químicamente que en aquellas en suelo orgánico (Phelan *et al.* 1995). Pero esta variación significativa en la postura de huevos entre los tratamientos fertilizados química y orgánicamente se manifestó solamente cuando el maíz crecía en potes con suelos colectados de fincas manejadas convencionalmente. En contraste, la postura de huevos fue uniformemente baja en plantas que crecían en potes con suelos colectados de fincas manejadas orgánicamente. Los resultados obtenidos en las fincas mostraron que la varianza en la postura de huevos fue aproximadamente 18 veces mayor entre las plantas bajo suelo manejado convencionalmente que entre las plantas bajo un régimen orgánico. Los autores sugieren que esta diferencia es evidencia de una caracte-

terística biológica amortiguante que se manifiesta más comúnmente en suelos manejados orgánicamente.

4. Conversión

En realidad, la aplicación de una estrategia de Manejo Integrado de Plagas (MIP) ocurre generalmente cuando un agroecosistema está experimentando un proceso de conversión de sistemas de monocultivos convencionales y una alta dependencia de insumos externos a sistemas diversificados de baja intensidad de manejo. Esta conversión es de carácter transicional y se compone de tres fases (Gliessman 1999):

1. Eliminación progresiva de insumos agroquímicos mediante la racionalización y mejoramiento de la eficiencia de los insumos externos a través de estrategias de manejo integrado de plagas, malezas, suelos, etc.
2. Sustitución de insumos sintéticos por otros alternativos u orgánicos
3. Rediseño de los agroecosistemas con una infraestructura diversificada y funcional que subsidia el funcionamiento del sistema sin necesidad de insumos externos sintéticos u orgánicos.

A lo largo de las tres fases se guía el manejo con el objetivo de asegurar los siguientes procesos (Altieri 1994):

- Aumento de la biodiversidad tanto sobre como debajo del suelo.
- Aumento de la producción de biomasa y el contenido de material orgánica del suelo.
- Disminución de los niveles de residuos de pesticidas y la pérdida de nutrientes y agua.
- Establecimiento de relaciones funcionales y complementarias entre los diversos componentes del agroecosistema.
- Óptima planificación de secuencias y combinaciones de cultivos y animales, con el consiguiente aprovechamiento eficiente de recursos locales.

La mayoría de las prácticas que promueven los entusiastas de la agricultura sustentable caen en las fases 2 y 3. Aunque estas dos fases ofrecen ventajas desde el punto de vista económico al reducir el uso de insumos agroquímicos externos y porque tienen un menor impacto ambiental, estos manejos dejan intacta la estructura del monocultivo y no conducen a que los agricultores realicen un rediseño productivo de sus sistemas (Power 1987). En realidad, ambas fases contribuyen poco para que los agricultores evolucionen hacia sistemas alternativos autorregulados. En la mayoría de los casos el MIP se traduce en "manejo inteligente de pesticidas" ya que consiste en un uso más selectivo de pesticidas de acuerdo a umbrales económicos pre-establecidos pero

que las plagas usualmente superan estos umbrales bajo condiciones de monocultivo.

Por otra parte la sustitución de insumos, sigue el mismo paradigma de la agricultura convencional en la que el objetivo es superar el factor limitante, aunque esta vez se realiza con insumos alternativos y no agroquímicos. Este tipo de manejo ignora el hecho de que el factor limitante (una plaga, una deficiencia nutricional, etc.) no es más que un síntoma de que un proceso ecológico no funciona correctamente y que la adición de lo que falta hace poco por optimizar el proceso irregular. Es claro que la sustitución de insumos ha perdido su potencial agroecológico pues no va a la raíz del problema sino al síntoma (Altieri y Rosset 1996).

El rediseño predial por el contrario intenta transformar la estructura y función del agroecosistema al promover diseños diversificados que optimizan los procesos claves. La promoción de la biodiversidad en agroecosistemas es la estrategia clave en el re-diseño predial ya que la investigación ha demostrado que (Power 1987):

- Una mayor diversidad en el sistema agrícola conlleva a una mayor diversidad de biota asociada
- La biodiversidad asegura una mejor polinización y una mayor regulación de plagas, enfermedades y malezas
- La biodiversidad mejora el reciclaje de nutrientes y energía
- Sistemas complejos y multiespecíficos tienden a tener mayor productividad total

5. Síndromes de la producción

Una de las frustraciones de los agroecólogos investigadores ha sido la incapacidad de que los sistemas de bajo insumo superen a los sistemas convencionales en comparaciones lado a lado, a pesar del éxito en la práctica de muchos sistemas orgánicos (Vandermeer 1995). Una posible explicación de esta paradoja la provee el concepto de los "síndromes de producción" introducido por Andow y Hidaka (1989). Estos investigadores compararon el sistema tradicional "Shizen" de producción de arroz con el sistema convencional japonés. Aunque los rendimientos eran comparables entre los dos sistemas, las prácticas de manejo diferían en todo aspecto. En otras palabras, el sistema shizen funciona en una manera cualitativamente diferente al sistema convencional y la variedad de prácticas de manejo usadas en cada sistema, resultan en diferencias funcionales que no pueden ser explicadas por una práctica en particular.

El síndrome de producción es un conjunto de prácticas de manejo que son mutuamente adaptativas y que juntas conllevan a un funcionamiento mejor del agroecosistema. Subconjuntos de esta colección de prácticas son sustancialmente menos adaptativas, y los efectos observados sobre el comportamiento del agroecosiste-

ma no pueden ser explicados por los efectos aditivos de prácticas individuales. En otras palabras, cada sistema de producción representa un grupo distintivo de prácticas de manejo que determinan interacciones ecológicas determinadas. En el caso que se quisiera entonces, convertir el sistema de arroz convencional a shizen, no basta con copiar las prácticas de manejo que se usan en shizen si no más bien se debe asegurar que las interacciones ecológicas que explican el funcionamiento del shizen, también se den en el sistema convencional.

Esto re-enfatiza el hecho de que los diseños agroecológicos son específicos del sitio, y lo que se podrá duplicar en otra parte no son las técnicas sino más bien las interacciones ecológicas y sinergias que gobiernan la sostenibilidad. No tiene sentido transferir tecnologías o prácticas de un lado a otro, si estas no son capaces de replicar las interacciones ecológicas asociadas con esas prácticas

6. Agroecosistemas diversificados y de manejo de plagas

Es ampliamente aceptado que ciertos tipos de diversidad en los agroecosistemas, confiere una estabilidad a largo plazo de las poblaciones de insectos presentes, probablemente porque en agroecosistemas complejos existe una variedad de parasitoides y depredadores disponibles para suprimir el crecimiento potencial de las poblaciones de especies plagas (Altieri y Nicholls 2003). La diversificación de agroecosistemas resulta generalmente en el incremento de oportunidades ambientales para los enemigos naturales, y consecuentemente en el mejoramiento del control biológico de plagas. La amplia variedad de arreglos vegetacionales disponibles en forma de policultivos, sistemas diversificados de cultivo-malezas, cultivos de cobertura, setos, corredores etc., conservan enemigos naturales al asegurarles una serie de requisitos ecológicos como acceso a hospederos alternos, recursos alimenticios como polen y néctar, hábitats para hibernación y microclimas apropiados (Altieri 1994, Altieri y Nicholls 2004).

Lo que es clave para alcanzar regulación biótica, es la diversidad selectiva y su función en el agroecosistema y no una colección de especies al azar (Dempster y Coaker 1974). Es claro que la composición de especies es más importante que el número de especies "per se" y que hay ciertos ensamblajes de plantas que ejercen papeles funcionales claves mientras que otros grupos de plantas no. Aparentemente, las características funcionales de las especies componentes son tan o más importantes que el número de especies. El desafío está en identificar los ensamblajes correctos de especies que, a través de sus sinergias, proveerán servicios ecológicos claves tal como reciclaje de nutrientes, control biológico de plagas y conservación de suelo y agua. La explotación de estas sinergias en situaciones reales requiere del diseño y manejo de los agroecosistemas basado en

el entendimiento de las múltiples interacciones entre suelos, plantas, artrópodos y microorganismos. La idea es restaurar los mecanismos de regulación natural adicionando biodiversidad funcional dentro y alrededor de los agroecosistemas (van Emden y Williams 1974).

La mayor limitante para promover el uso de agroecosistemas ricos en especies, es que estos son difíciles de manejar. El mayor desafío al manejar un sistema sucesional consiste en aprender a introducir perturbaciones de forma que estimulen la productividad del sistema por un lado, y provean resistencia al cambio y la variación por el otro. Esto se puede lograr de varias maneras, dependiendo de las condiciones ambientales locales, la estructura de los ecosistemas naturales maduros normalmente presentes, y la posibilidad de mantener las modificaciones en el largo plazo.

La razón obvia es que el beneficio de los agroecosistemas complejos es de bajo riesgo, si una especie es atacada por una enfermedad, o plagas o el clima, la otra especie está disponible para llenar el vacío y mantener la plena utilización de los recursos. Así, hay potenciales beneficios ecológicos al tener varias especies en el agroecosistema: crecimiento compensatorio, plena utilización de los recursos y de nutrientes, y protección contra plagas (Ewel 1999).

6.1 La diversidad de plantas y la incidencia de plagas

La investigación ha demostrado que la mezcla de ciertas especies de plantas generalmente conduce a la reducción de la densidad de herbívoros especializados. En una revisión de 150 investigaciones publicadas, Risch *et al.* (1983) encontraron evidencias que apoyan la idea de que los insectos fitófagos especializados fueron menos numerosos en sistemas diversificados (53% de 198 casos). En otra revisión exhaustiva Andow (1991) encontró 209 estudios publicados que tratan de los efectos de la diversidad vegetal en los agroecosistemas sobre especie de artrópodos fitófagos. Cincuenta y dos por ciento de las 287 especies examinadas resultaron menos abundantes en sistemas diversificados que en monocultivos, mientras que sólo el 15,3 % (44 especies) mostraron mayores densidades en policultivos

En una revisión más reciente de 287 casos, Helenius (1998) encontró que la reducción de plagas monófagas fue mayor en sistemas perennes y que la reducción del número de plagas polífagas fue menor en sistemas perennes que en los anuales. Se han sugerido dos importantes hipótesis ecológicas para explicar la menor cantidad de plagas en asociaciones vegetales multiespecíficas.

Las dos hipótesis propuestas por Root (1973) son las siguientes:

- Hipótesis de los enemigos naturales: Esta proposición predice que habrá una mayor abundancia y diversidad de enemigos naturales de los insectos

fitófagos en los policultivos que en los monocultivos. Los depredadores tienden a ser polífagos y tienen amplios requerimientos de hábitat, por lo que se esperaría que encontrarán un mayor arsenal de presas alternativas y de microhábitas en un ambiente heterogéneo. Los monocultivos anuales no proporcionan adecuados recursos alternativos de alimento (polen, néctar, presa), refugio y lugares de reproducción y puesta para un rendimiento efectivo de los enemigos naturales (Rabb *et al.* 1976). Los hábitats diversificados ofrecen muchos requisitos importantes para los depredadores y parasitoides adultos, tales como fuentes de néctar y polen que no se encuentran disponibles en un monocultivo, reduciendo la probabilidad de que se alejen o lleguen a extinguirse localmente (Risch 1981).

Hipótesis de la concentración de recursos: Las poblaciones de insectos pueden ser influenciadas directamente por la concentración o dispersión espacial de sus plantas alimenticias. Puede haber un efecto directo de las especies vegetales asociadas sobre la capacidad del insecto fitófago para encontrar y utilizar sus plantas hospedadoras. Muchos fitófagos, principalmente los que presentan un estrecho espectro de hospederos, tienen más facilidad para localizar y permanecer en aquellas plantas hospedadoras que crecen en sistemas de alta densidad o casi puros (Root 1973), que suministran recursos concentrados y condiciones físicas homogéneas. Para cualquier especie plaga, la intensidad total de los estímulos atrayentes determina la concentración del recurso, la cual varía con factores que interactúan, como la densidad y la estructura espacial de la planta hospedera y los efectos de interferencia causados por las plantas no hospederas. En consecuencia, cuanto más baja sea la concentración del recurso (planta hospedadora), más difícil será para el fitófago localizar una planta hospedadora (Andow 1991).

La hipótesis de la concentración de los recursos predice menor abundancia de plagas en las comunidades diversas, ya que las plagas tienen más dificultad de encontrar la planta hospedera debido a la presencia estímulos químicos de enmascaramiento, obstáculos físicos para la circulación y otros efectos ambientales como la sombra, además esto podría ocasionar una menor supervivencia y / o fecundidad de las plagas (Bach 1980).

Algunos investigadores han estado ocupados tratando de entender cuál de las dos hipótesis es el más importante para influir en la abundancia relativa de las plagas de insectos en diversos sistemas. Risch *et al.* (1983) concluyeron que hipótesis de la concentración de recursos fue la explicación más probable para la reducción de la abundancia de las plagas en los sistemas diversificados. Sin embargo, 19 estudios que probaron

la hipótesis de los enemigos naturales fueron revisados por Russell (1989), y encontró que de estos 19 estudios, las tasas de mortalidad de los depredadores y parasitoides en sistemas diversificados fueron: altos en nueve, inferior en dos, sin cambios en tres y variable en cinco de los estudios. Russell (1989) concluyó que la hipótesis de los enemigos naturales es el mecanismo operativo, pero consideró que las dos hipótesis son complementarias. En los estudios de sistemas diversificados de cultivo/maleza, Baliddawa (1985) encontró que el 56% de las reducciones de plagas en los sistemas diversificados con malezas fueron causados por enemigos naturales.

Uno de los problemas principales ha sido predecir en cuales sistemas de cultivo se puede reducir la abundancia de plagas, ya que no todas las combinaciones de los cultivos producen el efecto deseado y la adhesión ciega al principio que un sistema diversificado reducirá la infestación de plagas es claramente inadecuado y con frecuencia totalmente errado (Gurr *et al.* 1998). Para algunos investigadores, esto indica la necesidad de una mayor comprensión de los mecanismos que intervienen para explicar cómo, dónde y cuándo las excepciones son probables de ocurrir. Es sólo a través de estudios ecológicos más detallados que tal entendimiento puede ser adquirido y por tanto el desarrollo de una teoría de predicción adecuada. Esto significa que se debe poner un mayor énfasis en experimentos ecológicos en lugar de estudios comparativos puramente descriptivos.

6.2 Estudios de caso recientes

A pesar de algunos vacíos en el conocimiento agroecológico de la dinámica de plagas en agroecosistemas diversificados, muchos estudios han superado la fase de investigación y han aplicado los principios de la diversificación para la regulación de plagas específicas. Los ejemplos incluyen:

1. Agricultores en diez municipios en Yunnan, China, cubriendo un área de 5350 hectáreas, cambiaron los monocultivos de arroz sembrando mezclas de variedades de arroz locales con híbridos. Una mayor diversidad genética redujo la incidencia de una enfermedad fungosa en un 94% y aumento de los rendimientos totales de 89%. Al final de dos años, se concluyó que los fungicidas ya no eran necesarios (Zhu *et al.* 2000, Wolfe 2000).
2. En África, investigadores del ICIPE (siglas en inglés del Centro Internacional de Fisiología y Ecología de Insectos) desarrollaron un sistema de manejo de hábitat para el control del lepidóptero barrenador del tallo (*Chilo partellus*) que utiliza dos tipos de cultivos junto al maíz: uno que repele los barrenadores y otro que atrae sus enemigos naturales (Khan *et al.* 1998). Este sistema de repelencia y atracción se probó en 450 fincas en dos distritos de Kenya, y hoy en día se utiliza en los sistemas nacionales de extensión en

África del Este. Los productores que lo adoptaron en Trans Nzoia reportan un aumento del 15 al 20% en el rendimiento del maíz. En el distrito semiárido de Suba plagado por barrenadores y por la maleza parasítica *Striga* (Scrophulariaceae), se obtuvo un incremento sustancial de forraje que a su vez incrementó el rendimiento de leche. Cuando los productores siembran maíz y el pasto *Pennisetum purpureum* y una leguminosa juntos, obtienen 2,30 dólares por cada dólar invertido, comparados con 1,50 dólares obtenidos del maíz en monocultivo. Dos de los cultivos trampa más útiles para atraer los enemigos naturales del barrenador son los pastos *P. purpureum* y *Sorghum vulgare sudanese*, ambos importantes para forraje, que se plantan alrededor del maíz. Dos cultivos excelentes para repeler el barrenador, que se plantan entre las hileras de maíz, son el pasto *Melinis minutiflora*, que también repele las garrapatas, y la leguminosa *Desmodium*, capaz de suprimir la maleza *Striga*, fijar nitrógeno y ser un forraje excelente. Como ventaja adicional, la venta de semilla de *Desmodium* está resultando ser una buena oportunidad para que las mujeres de la zona generen ingresos.

3. Varios investigadores han introducido franjas de plantas en floración entre los cultivos, como una forma de garantizar el recurso alimenticio de polen y néctar, necesarios para la reproducción óptima, la fecundidad y la longevidad de muchos enemigos naturales. Franjas de *Phacelia tanacetifolia* se han utilizado en trigo, remolacha azucarera, y col, lo que ha facilitado una mayor abundancia de depredadores y parasitoides especialmente moscas Syrphidae, que han permitido la reducción de las poblaciones de áfidos. En Inglaterra, el establecimiento de habitats dentro del cultivo, estimula el movimiento de los insectos benéficos más allá de su área normal de influencia. Las gramíneas *Dactylis glomerata* y *Holcus lanatus* parecen plantas particularmente adecuadas para escarabajos depredadores, pero también hay una amplia gama de angiospermas que pueden servir como fuente de alimento para otros enemigos naturales. Un desarrollo posterior son las denominadas "franjas para la conservación de depredadores o bancos de carabidos" que se disponen paralelas a las líneas de cultivo (estas franjas son de 0,4 m de alto, 1,5 m de ancho y 300-400 m de longitud) y pueden ser colocadas a intervalos atravesando el cultivo para favorecer las poblaciones de enemigos naturales en toda la superficie cultivada (Thomas y Wratten 1992).
4. En sistemas de cultivos perennes la presencia algunas malezas en floración mejora el control biológico. En California, algunos investigadores han probado la siembra de cobertura vegetal como una táctica de manejo del hábitat en viñedos con el objeto de aumentar los enemigos naturales, incluyendo las arañas. Se han observado reducciones en poblacio-

nes de ácaros (Flaherty 1969) y de cicadélidos de la vid, pero tal supresión biológica no ha sido suficiente desde un punto de vista económico. Tal vez el problema recaiga en el hecho de que la mayoría de estos estudios fueron realizados en viñedos con cubierta vegetal de invierno y/o con vegetación espontánea local, que se secó al principio de la temporada o que fue cortada o arada en la fase inicial de crecimiento del cultivo. Por tanto, a principios del verano, estos viñedos son monocultivos virtuales sin diversidad floral. Por esta razón Nicholls *et al.* (2000) probaron la idea de mantener una cubierta vegetal durante toda la temporada de crecimiento para proporcionar hábitat y alimento alternativo a los enemigos naturales. Estos autores sembraron cultivos de cobertura de verano (trigo sarraceno y girasol) que florecen al inicio y durante la temporada, proporcionando así una muy constante, abundante y bien dispersa fuente de alimento alternativo, así como microhábitats para una amplia comunidad de enemigos naturales. Estos investigadores concluyeron que el mantenimiento de diversidad floral durante la temporada de crecimiento vegetativo de la vid, en forma de cubierta vegetal de verano, tuvo un considerable impacto en la abundancia del cicadélido *Erythroneura elegantula* (Homoptera), del trips *Franklinella occidentalis* (Thysanoptera) y de los enemigos naturales asociados. Durante dos años consecutivos, los sistemas de viñedos con cubierta vegetal de angiospermas se caracterizaron por presentar densidades más bajas de adultos y ninfas del cicadélido y del trips, así como mayores poblaciones y más especies de depredadores, incluyendo arañas. Según estos estudios, la cubierta vegetal alberga un gran número de *Orius*, coccinélidos, tomísidos (arañas) y algunas otras especies depredadoras (Nicholls *et al.* 2000). La comparación de la abundancia de depredadores entre ambos bloques mostró que la presencia de tales depredadores en trigo sarraceno y girasol produjo un aumento en la densidad de los depredadores en los viñedos con cubierta vegetal. Estas mayores densidades estuvieron correlacionadas con menores números de cicadélidos y de trips.

5. En Centro América, Staver *et al.* (2001) diseñaron sistemas agroforestales multiestratificados, seleccionando diferentes asociaciones, densidades y arreglos especiales de diferentes especies, con el objetivo de crear las condiciones óptimas, manejando el régimen de sombra para la supresión del perforador de la baya del café, el cual parece desarrollarse igual de bien a sol abierto como bajo sombra; sin embargo, el hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana* presente de forma natural en el ecosistema, se multiplica y se dispersa más rápidamente con mayor humedad, y las aplicaciones del hongo deben coincidir con el máximo de precipitaciones (Guharay *et al.* 2000). Los

mismos autores después de estudiar la influencia del microclima creado por el manejo de sombras multistratificadas sobre los fitófagos, enfermedades, malas hierbas y los rendimientos de producción, han definido las condiciones para la mínima expresión del complejo de plagas en plantaciones de café en Centro América. Para una zona de café, seca y de baja altitud, la sombra debe situarse entre 35% y 65%, para que favorezca la retención de hojas en la temporada seca y reduzca *Cercospora coffeicola*, *Planococcus citri* y malas hierbas. Evidentemente, las condiciones óptimas de sombra para la supresión de plagas difiere con el clima, la altitud y el suelo.

6. Diversas investigaciones han demostrado que la vegetación en áreas contiguas al cultivo puede proporcionar el alimento alternativo y el hábitat esencial para perpetuar determinados enemigos naturales de las plagas. Existe una amplia aceptación de la importancia de los márgenes de los campos como reservorios de los enemigos naturales de las plagas de los cultivos. Muchos estudios han demostrado mayor abundancia de enemigos naturales y mayor eficacia del control biológico cuando los cultivos están rodeadas de vegetación natural de la cual los enemigos naturales colonizan los campos. Para determinar la influencia de la diversidad del conjunto del paisaje sobre las comunidades de parasitoides del noctuido *Pseudaletia unipunctata*, Marino y Landis (1996) compararon campos de maíz de tamaño pequeño incrustados en un paisaje de abundantes setos y arboles, con un ecosistema simple de campos de cultivo de gran tamaño incrustados en un paisaje con pocos setos y arboles. Estos autores encontraron que el nivel de parasitismo fue mayor en el paisaje complejo. Los parasitoides de *P. unipunctata* fueron mas abundantes y la explicación estuvo en la presencia en el paisaje complejo de hospederos alternativos para estos parasitoides. En un estudio en el norte de Alemania, Thies y Tschardtke (1999) encontraron que la simplicidad estructural de paisajes agrícolas estuvo correlacionada con mayores niveles de daños causados por el escarabajo de la colza (*Meligethes aeneus*) y con bajos porcentajes de mortalidad larval causada por tres parasitoides ichneumonídeos. Se observó que el porcentaje de parasitismo fue mayor en los márgenes de los campos (50%) que en el centro de los campos (20%).
7. Una manera de introducir la diversidad biológica en los alrededores los paisajes en los monocultivos a gran escala, es mediante el establecimiento de corredores biológicos que permitan la circulación y la distribución de artrópodos benéficos al centro de los monocultivos. Nicholls *et al.* (2001) probaron si el establecimiento de un corredor vegetal estimularía el movimiento de los insectos benéficos más allá de su "área normal de influencia" de áreas adyacentes o re-

fugios. El corredor proporcionó un constante aporte de alimento alternativo para los depredadores, evitando eficazmente una estricta dependencia de los depredadores por los fitófagos de la vid y evitando la colonización tardía de las viñas. Los resultados de este estudio sugieren también que la creación de corredores a través de las viñas puede servir como una estrategia principal que permita a los enemigos naturales emerger desde la vegetación adyacente para dispersarse sobre grandes áreas de otros sistemas de monocultivo. Tales corredores biológicos deben estar constituidos por especies localmente adaptadas y con periodos de floración secuenciales, que atraigan y alberguen a una abundante diversidad de depredadores y parasitoides y que incrementen la biodiversidad. Así, estos corredores o franjas podrían enlazar varios cultivos y vegetación forestal, creando una red que permitiera a muchas especies de insectos benéficos dispersarse a través de regiones agrícolas, más allá de los límites de la finca (Baudry 1984).

Todos los ejemplos mostrados constituyen formas diferentes de diversificación que proveen los recursos y condiciones ambientales necesarias para los enemigos naturales. Un paso estratégico es identificar el tipo de biodiversidad que se quiere mantener y/o aumentar en orden a realizar los servicios ecológicos fundamentales, y entonces determinar las mejores prácticas que favorecerán los componentes de dicha biodiversidad.

7. Diseñando agroecosistemas resilientes a las plagas

El principal desafío del siglo 21 para los agroecólogos que manejan los problemas de plagas, es traducir los principios ecológicos en prácticas para los sistemas alternativos de producción de acuerdo a las necesidades específicas de las comunidades agrícolas en diferentes regiones agroecológicas del mundo. La principal estrategia enfatizada en este documento para diseñar sistemas agrícolas resilientes a plagas es restaurar la diversidad agrícola en el tiempo y en el espacio mediante los principios agroecológicos.

En resumen, los principales principios ecológicos para el diseño de agroecosistemas diversificados y sostenibles incluyen:

- Incremento de la diversidad de especies en el tiempo y en el espacio a través de sistemas diversificados y diseños agroforestales.
- Incremento de la diversidad genética a través de las mezclas de variedades, multilíneas y uso de germoplasma local y variedades que exhiben resistencia horizontal.
- Incluir y mejorar los barbechos con rotaciones de leguminosas, abonos verdes, cultivos de cobertura e integración animal.

- Incremento de la diversidad paisajística con de corredores biológicos, bordes diversos alrededor de cultivos o creando mosaicos de agroecosistemas representativo de varias etapas de sucesión.

Se ha enfatizado que los esquemas de diversificación se deben complementar con el manejo orgánico del suelo, ambas estrategias son los pilares de la salud del agroecosistema (Fig. 2).



Figura 2. Pilares de la salud de los agroecosistemas.

Las diferentes opciones disponibles para diversificar los sistemas de cultivo dependen de si los sistemas son monocultivos anuales o perennes. La diversificación puede tener lugar fuera de la finca, por ejemplo, en los límites de los cultivos con cortinas rompevientos, barreras de protección, y cercas vivas, que pueden mejorar el hábitat para la fauna silvestre e insectos benéficos, ya que proporcionan madera, materia orgánica, recursos para la polinización, y, además, modifican la velocidad del viento y el microclima (Altieri y Letourneau 1982). La diversificación de las plantas puede ser considerada una forma de control biológico por conservación, ya que el objetivo es crear una infraestructura ecológica adecuada en el paisaje agrícola, para proporcionar recursos tales como polen y néctar para los enemigos naturales, presas y/o hospederos alternativos, y hábitat para las condiciones adversas. Estos recursos deben integrarse en el paisaje en una forma espacial y temporal, favorable a los enemigos naturales y práctico para ser aplicado por los productores.

Landis *et al.* (2000) recomiendan las siguientes pautas para ser consideradas en la implementación de las estrategias para el manejo del hábitat:

- La selección de las especies vegetales más apropiadas
- La disposición espacial y temporal de dichas instalaciones dentro y/o alrededor de los campos

- La escala espacial sobre la que opera el mejoramiento del hábitat, con implicaciones en el campo o nivel de paisaje.
- Los mecanismos de comportamiento del depredador/parasitoide que son influidos por la manipulación del hábitat.
- Los aspectos negativos potenciales asociados a la adición de nuevas plantas en el agroecosistema
- El desarrollo de arreglos espaciales de las plantas que no interfiera en las prácticas agronómicas y la selección de plantas debe preferentemente ofrecer múltiples efectos, tales como la regulación de plagas y al mismo tiempo, mejorar la fertilidad del suelo, la supresión de malezas, etc.

La clave es identificar el tipo de biodiversidad que se desea mantener y/o fomentar para llevar a cabo los servicios ecológicos, y luego determinar las mejores prácticas que favorezcan a los componentes de biodiversidad deseados. Hay muchas prácticas y diseños agrícolas que tienen el potencial de estimular las funciones de la biodiversidad y otras que las afectan negativamente (Fig. 3). La idea es aplicar las mejores prácticas de manejo para favorecer o regenerar el tipo de biodiversidad que puede contribuir a la sostenibilidad del agroecosistema, proporcionando servicios ecológicos tales como control biológico de plagas, reciclado de nutrientes, conservación de agua y suelo, etc. (Nicholls *et al.* 2000).

El papel de los agroecólogos es fomentar esas prácticas agrícolas que incrementan la abundancia y la diversidad de organismos benéficos presentes sobre el suelo o debajo de su superficie, y que por lo tanto ofrezcan importantes servicios ecológicos a los agroecosistemas.



Figura 3. Efectos del manejo del agroecosistema y las prácticas culturales asociadas sobre la biodiversidad de enemigos naturales y la abundancia de insectos plagas.

Referencias

- Altieri MA, Letourneau DK. 1982. Vegetation management and biological control in agroecosystems. *Crop Protection*. 1: 405-430.
- Altieri MA. 1994. Biodiversity and pest management in agroecosystems. Haworth Press, New York.
- Altieri MA. 1995. Agroecology: the science of sustainable agriculture. Westview Press, Boulder.
- Altieri MA, Rosset P. 1996. Agroecology and the conversion of large-scale conventional systems to sustainable management. *Intern. J. Environmental Studies* 50: 165-185.
- Altieri MA. 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agric. Ecosyst. Env.* 74: 19-31.
- Altieri MA. 2000. The ecological impacts of transgenic crops on agroecosystem health. *Ecosystem Health*. 6: 13-23.
- Altieri MA, Nicholls CI. 1999. Biodiversity, ecosystem function and insect pest management in agricultural systems. In: *Biodiversity in Agroecosystems* (Collins WW, Qualset CO, eds.). Boca Raton: CRC Press, 69-84 pp.
- Altieri MA, Nicholls CI. 2003. Soil fertility management and insect pests: harmonizing soil and plant health in agroecosystems. *Soil and Tillage Research* 72: 203.
- Altieri MA, Nicholls CI. 2004. *Biodiversity and Pest Management in Agroecosystems*. 2nd ed. New York: Waworth Press.
- Andow DA, Hidaka, K. 1989. Experimental natural history of sustainable agriculture: syndromes of production. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 27: 447-462.
- Andow DA. 1991. Vegetational diversity and arthropod population response. *Ann. Rev. Entomol.* 36: 561-586.
- Bach CE. 1980. Effects of plant density and diversity on the population dynamics of a specialist herbivore, the striped cucumber beetle, *Acalymma vittata* (Fab.). *Ecology* 61: 1515-1530.
- Baliddawa CW. 1985. Plant species diversity and crop pest control: an analytical review. *Insect Sci. Appl.* 6: 479- 487.
- Barbosa P. 1998. *Conservation biological control*, San Diego, CA, US: Academic Press.
- Baudry J. 1984. Effects of landscape structure on biological communities: the case of heterogenous network landscapes. In: *Methodology in landscape ecological research and planning*. Vol I. (Brandt J, Agger, eds.). Denmark: Roskilde University Center, Roskilde, 55-65 pp.
- Brodbeck B, Stavisky J, Funderburk J, Andersen P, Olson S. 2001. Flower nitrogen status and populations of *Frankliniella occidentalis* feeding on *Lycopersicon esculentum*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 99(2): 165- 172.
- Dempster JP, Coaker TH. 1974. Diversification of crop ecosystems as a means of controlling pests. In: *Biology in pest and disease control* (Jones DP, Solomon ME, eds). New York: Wiley & Sons, 106-114 pp.
- Ewel JJ. 1986. Designing agricultural ecosystems for the humid tropics. *Amm. Rev. Ecol. Syst.* 17: 245-71.
- Ewel, J.J. 1999. Natural systems as models for the design of sustainable systems of land use. *Agroforestry Systems*. 45: 1-21.
- Flaherty D. 1969. Ecosystem trophic complexity and the Willamette mite, *Eotetranychus willamettei* (Acarine: Tetranychidae) densities. *Ecology* 50: 911-916.
- Gliessman SR. 1999. *Agroecology: ecological processes in agriculture*. Michigan: Ann Arbor 24 Press.
- Guharay F, Monterrey J, Monterroso D, Staver C. 2000. Manejo integrado de plagas en el cultivo de café. CATIE. Managua, Nicaragua.
- Gurr GM, van Emden HF, Wratten SD. 1998. Habitat manipulation and natural enemy efficiency: implications for the control of pests. In: *Conservation biological control* (Barbosa P, ed). New York: Academic Press, 155-183 pp.
- Helenius J. 1998. Enhancement of predation through within-field diversification. In: *Enhancing biological control* (Pickett E, Bugg RL, eds.). Berkeley: University of California Press, 121-160 pp.
- Hilbeck A, Baumgartner M, Fried PM, Bigler F. 1998. Effects of transgenic *Bacillus thuringiensis* corn fed prey on mortality and development time of immature *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae). *Environmental Entomology* 27: 460- 487.
- Kajimura T. 1995. Effect of organic rice farming on planthoppers: Reproduction of white backed planthopper, *Sogatella furcifera* (Homoptera: Delphacidae). *Res. Popul. Ecol.* 37: 219-224.
- Kahn ZR, Ampong-Nyarko K, Hassanali A, Kimani S. 1998. Intercropping increases parasitism of pests. *Nature* 388: 631-632.
- Kowalski R, Visser PE. 1979. Nitrogen in a crop-pest interaction: cereal aphids. In: *Nitrogen as an ecological parameter* (Lee JA, eds.). Oxford UK: Blackwell Scientific Pub., 67-74 pp.
- Lampkin N. 1990. *Organic Farming*. Farming Press Books.
- Landis DA, Wratten SD, Gurr GA. 2000. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annual Review of Entomology* 45: 175-201.
- Letourneau DK. 1988. Soil management for pest control: a critical appraisal of the concepts. In: *Global perspectives on agroecology and sustainable agricultural systems*. Sixth Int. Sci. Conference of IFOAM, Santa Cruz, CA, 581-587 pp.
- Letourneau DK, Drinkwater LE, Shennon C. 1996. Effects of soil management on crop nitrogen and insect

- damage in organic versus conventional tomato fields. *Agric. Ecosyst. Environ.* 57:174-187
- Levins R, Wilson M. 1979. Ecological theory and pest management. *Annual Review of Entomology* 25: 7-29.
- Lewis WJ, van Lenteren JC, Phatak SC, Tumlinson JH. 1997. A total system approach to sustainable pest management. *Proceedings of the National Academy of Science, USA* 94: 12243-12248.
- Luna JM. 1988. Influence of soil fertility practices on agricultural pests. In: *Global perspectives on agroecology and sustainable agricultural systems. Proc. Sixth. Int. Sci. Conference of IFOAM, Santa Cruz, CA, 589-600 pp.*
- Magdoff F, van Es H. 2000. *Building soils for better crops. SARE, Washington DC.*
- Marino PC, Landis DL. 1996. Effect of landscape structure on parasitoid diversity and parasitism in agroecosystems. *Ecol. Appl.* 6: 276-84.
- Marvier M. 2001. Ecology of transgenic crops. *American Scientist* 89: 160-167.
- Milne A. 1957. The natural control of on insect populations. *Canadian Entomologist Entomology* 89: 193-213.
- Miyashita K. 1963. Outbreaks and population fluctuations of insects, with special reference to agricultural insect pests in Japan. *Bull. National Sust. Agric. Sci. Ser. C* 15: 99-170.
- Morse JG, Bellows TS, Gaston LK. 1987. Residual toxicity of acaricides to three beneficial species on California citrus. *Journal of Experimental Entomology* 80: 953-960.
- NAS (National Academy of Sciences). 1972. *Genetic vulnerability of major crops. NAS, Washington, DC.*
- Nicholls CI, Parrella MP, Altieri MA. 2000. Reducing the abundance of leafhoppers and thrips in a northern California organic vineyard through maintenance of full season floral diversity with summer cover crops. *Agricultural and Forest Entomology* 2: 107-113
- Nicholls CI, Parrella MP, Altieri MA. 2001 The effects of a vegetational corridor on the abundance and dispersal of insect biodiversity within a northern California organic vineyard. *Landscape ecology* 16: 133-146.
- Oka IN, Pimentel D. 1976. Herbicide (2,4-D) increases insect and pathogen pests on corn. *Science* 143: 239-240.
- Phelan PL, Mason JF, Stinner BR. 1995. Soil fertility management and host preference by European corn borer, *Ostrinia nubilalis*, on *Zea mays*: a comparison of organic and conventional chemical farming. *Agric. Ecosyst. and Env.* 56:1-8.
- Pimentel D, Perkins JH. 1980. Pest control: cultural and environmental aspects. AAAS Selected Symposium 43. Westview Press, Boulder.
- Pimentel D, Lehman H. 1993. *The pesticide question. New York: Chapman and Hall.*
- Pimentel D, Goodman N. 1978. Ecological basis for the management of insect populations, *Oikos* 30: 422-437.
- Price PW, Waldbauer GP. 1975. Ecological aspects of pest management. In: *Concepts of pest management (Metcall RL, Luckmann WH, eds.)*. New York: Johnwiley and Sons, 37-73 pp.
- Power, A. G. 1987. Plant community diversity, herbivore movement, and an insect transmitted disease of maize. *Ecology* 68: 1658-1669.
- Rabb RL, Stinner RE, van den Bosch R. 1976. Conservation and augmentation of natural enemies. In: *Theory and practice of biological control (Huffaker CB, Messenger P, eds.)*. New York: Academic Press.
- Reinjtjes C, Haverkort B, Waters-Bayer A. 1992. *Farming for the future. MacMillan, London.*
- Risch SJ, Andow D, Altieri MA. 1983. Agroecosystem diversity and pest control: data, tentative conclusions, and new research directions. *Environmental Entomology* 12: 625-629.
- Risch SJ. 1981. Insect herbivore abundance in tropical monocultures and polycultures: an experimental test of two hypotheses. *Ecology* 62: 1325-1340.
- Rissler J, Mellon M. 1996. *The ecological risks of engineered crops. Cambridge: MIT Press.*
- Rodriguez JG, Chen HH, Smith WT. 1957. Effects of sol insecticides on beans, soybeans, and cotton and resulting effects on mite nutrition. *J. Econ. Entomol.* 50: 587-593.
- Root RB. 1973. Organization of a plant-arthropod association in simple and diverse habitats: the fauna of collards (*Brassica oleraceae*). *Ecol. Monogr.* 43: 94-125
- Russell EP. 1989. Enemies hypothesis: a review of the effect of vegetational diversity on predatory insects and parasitoids. *Environmental Entomology* 18: 590-599.
- Scriber JM. 1984. Nitrogen nutrition of plants and insect invasion. In: *Nitrogen in crop production. (Hauck RD, ed.)*. Madison, WI: American Society of Agronomy, 176-228 pp.
- Settle W, Ariawan H, Tri Astuti E, Cahyana W, Hakim AL, Hindayana D, Lestari AS, Pajarningsih. 1996. Managing tropical rice pests through conservation of generalist natural enemies and alternative prey. *Ecology*, 77 (7): 1975-1988.
- Soule D, Piper JK. 1992. *Farming in nature's image. Washington DC: Island Press.*
- Southwood TRE, Way MJ. 1970. Ecological background to pest management. In: *Concepts of pest management (Rabb RL, Guthrie FE, eds.)*. North Carolina State University, Raleigh, NC.
- Staver C, Guharay F, Monterroso D, Muschler RG. 2001 *Designing pest- suppressive multistrata peren-*

- nia crop systems: shade grown coffee in Central America. *Agroforestry Systems* 53(2): 151-170.
- Thies C, Tschardt T. 1999. Landscape structure and biological control in agroecosystems. *Science* 285: 893-895.
- Thomas MB, Wratten SD, Sotherton NW. 1992. Creation of 'island' habitats in farmland to manipulate populations of beneficial arthropods: predator densities and species composition. *J. Appl. Ecol.* 29: 524- 531.
- van Driesche RG, Bellows Jr. TS. 1996. *Biological Control*. New York: Chapman and Hall.
- Vandermeer J. 1995 The ecological basis of alternative agriculture. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 26: 210-224.
- van Emden HF, Williams GF. 1974. Insect stability and diversity in agroecosystems. *Annual Review Entomology* 19: 455-75.
- van Emden HF. 1966. Studies on the relations of insect and host plant. III. A comparison of the reproduction of *Brevicoryne brassicae* and *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae) on brussels sprout plants supplied with different rates of nitrogen and potassium. *Entomological Experiments Applied* 9: 444-460.
- Wolfe M. 2000. Crop strength through diversity. *Nature*. 406: 681-682.
- Zhu Y, Fen H, Wang Y, Li Y, Chen J, Hu L, Mundt CC. 2000. Genetic diversity and disease control in rice. *Nature*. 406: 718-772.

SOBRE EL CARÁCTER MULTIFUNCIONAL DE LA AGROECOLOGÍA: EL MANEJO DE LA MATRIZ AGRÍCOLA Y LA CONSERVACIÓN DE ESPECIES SILVESTRES COMO SISTEMAS METAPOBLACIONALES

Diego Griffon^{1,2,3}, Dayaeth Alfonso¹, Maria Josefina Hernandez³.

¹Programa de Formación de Grado en Agroecología, Universidad Bolivariana de Venezuela. ²Instituto Nacional de Salud Agrícola Integral (Venezuela). ³Laboratorio de Evolución y Ecología Teórica, Instituto de Zoología y Ecología Tropical, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. E-mail: d.griffon@lycos.com.

Resumen

La preservación de la biodiversidad y la lucha contra el hambre son banderas que han sido enarboladas por los movimientos sociales a nivel mundial. Sin embargo, en un primer momento ambas luchas parecieran incompatibles. En este trabajo, mediante un acercamiento teórico-práctico se muestra como la Agroecología puede reconciliar estas dos importantes problemáticas. En concreto, aquí se muestra cómo el manejo agroecológico de la matriz agrícola en paisajes fragmentados puede estimular el establecimiento de dinámicas metapoblacionales en diferentes grupos de insectos, asegurando de esta manera su supervivencia. Esto se logra haciendo estimaciones de campo de las tasas de migración de diferentes grupos de insectos y utilizando el modelo de Función de Incidencia (Hanski 1994) para evaluar las dinámicas metapoblacionales a largo plazo de estos grupos. Nuestros resultados muestran enfáticamente los efectos positivos de la Agroecología en la conservación de la biodiversidad entomológica, a la vez que evidencian los daños que sobre esta ejerce la agricultura convencional. De esta forma, se resalta el carácter multifuncional de la agricultura de base agroecológica y se muestra la importancia que esta tiene para alcanzar importantes objetivos sociales, ambientales y económicos.

Palabras clave: Metapoblaciones, fragmentación de hábitat, conservación.

Summary

On the multifunctional character of agroecology: the management of the agricultural matrix and the conservation of wild species as metapopulation systems

The preservation of biodiversity and the fight against hunger are slogans that have been hoisted by social movements worldwide. However, at first both struggles seem incompatible. In this paper, using a theoretical-practical approach we show how Agroecology can reconcile these two important issues. Specifically, we show how the agroecological management of the agricultural matrix in fragmented landscapes may stimulate the establishment of metapopulation dynamics in different groups of insects, thus ensuring their survival. This is done by estimating migration rates of different groups of insects in the field, and using the Incidence Function Model (Hanski 1994) to assess the long-term metapopulation dynamics of these groups. Our results strongly show the positive effects of agroecology in the conservation of entomological biodiversity, as well as the damage that can be inflicted upon it when using conventional agriculture. This highlights the multifunctional character of agriculture with an agroecological base, and shows its importance in the achievement of crucial social, environmental and economic objectives.

Key words: Metapopulations, habitat fragmentation, conservation.

Introducción

Dos de los más grandes retos que enfrenta la humanidad en la actualidad son la preservación de la biodiversidad y la eliminación del hambre en el mundo. Sin embargo, estos dos desafíos parecen ser incompatibles.

Es planteado comúnmente que la solución de la crisis agrícola involucra necesariamente una mayor intensificación de las prácticas agrícolas propias de la revolución verde (*e.g.*, laboreo de los suelos, uso de agroquímicos y monocultivos) y la expansión de la frontera agrícola a expensas de áreas no intervenidas. Por su parte, la visión conven-

cional para la conservación de la biodiversidad, contempla la creación de áreas protegidas de gran tamaño. Por lo tanto, las estrategias para solucionar los problemas agrícolas y de biodiversidad compiten, por lo que pareciera imposible producir alimentos y a la vez conservar la biodiversidad.

Para abordar esta problemática, es importante reconocer que la mayoría de los paisajes en el planeta son tipo mosaico. En estos paisajes típicamente se encuentran colindando parches de vegetación natural no alterada con áreas dedicadas a la producción agrícola. Es en estas zonas donde los conflictos entre biodiversidad y agricultura son más pronunciados. La solución convencional a los conflictos en estas áreas, involucra la atención de uno de los aspectos de la problemática a expensas del otro. Soluciones que en ningún caso se consideran satisfactorias.

Vandermeer y Perfecto (2007) han sugerido que este escenario no es necesariamente el único posible. Estos investigadores han propuesto que el empleo de prácticas agrícolas de base agroecológica, en paisajes tipo mosaico, pueden favorecer el establecimiento de dinámicas metapoblacionales entre las poblaciones silvestres presentes en los parches de vegetación no alterada.

La teoría de metapoblaciones predice que bajo ciertas condiciones, una población que habite un ecosistema fragmentado, puede presentar mayores probabilidades de permanecer en el tiempo que una población no estructurada de igual tamaño. Por su parte, contrariamente a la idea imperante en las ciencias agrícolas, la agroecología puede suplir de iguales o mayores cantidades de alimentos que la agricultura convencional (Badgley *et al.* 2007). De esta manera, mediante la implementación de prácticas agroecológicas en las áreas de conflicto, se lograría reconciliar la producción agrícola con la conservación de la biodiversidad.

En este trabajo, mediante un acercamiento teórico-práctico, se evalúa el efecto que tiene el manejo de los agroecosistemas sobre el establecimiento de dinámicas metapoblacionales. Para lograr esto, en un primer

paso se obtuvieron estimaciones de campo sobre las tasas de migración de diferentes grupos de insectos, a través de agroecosistemas bajo distintos tipos de manejo (*i.e.*, convencional y agroecológico). Luego, para evaluar el efecto a largo plazo de los diferentes tipos de manejo sobre las dinámicas poblacionales, se realizaron simulaciones computacionales. En las simulaciones se utilizaron como datos las estimaciones de las tasas de migración y se evaluó el comportamiento a largo plazo de poblaciones hipotéticas bajo los diferentes manejos agronómicos. Las simulaciones fueron conducidas en ambientes hipotéticos, compuestos de múltiples parches de vegetación no intervenida rodeados por áreas agrícolas. Es decir, el objetivo de este trabajo es realizar predicciones generales, sobre los posibles efectos futuros en la entomofauna, de los diferentes esquemas de manejo agronómico de los predios.

Material y Métodos

Muestreo y estimación de las tasas de migración

Se realizaron muestreos en campo que permitieron estimar las tasas de migración de diferentes grupos de insectos bajo dos esquemas de manejo contrastantes: convencional y agroecológico. Este trabajo se llevó a cabo en el Camino de los Españoles del Parque Nacional El Avila (Venezuela) (Fig. 1). En esta zona, a pesar de ser Parque Nacional, existe una mediana producción agrícola llevada a cabo por personas cuyas familias habitan en el área desde un tiempo previo a la declaración del Parque Nacional. La agricultura presente en la zona se fundamenta en la explotación de rubros hortícolas, bajo esquemas convencionales de producción basados en el uso masivo de agroquímicos y laboreo intensivo del suelo.

Para realizar los muestreos se seleccionaron tres sitios que representan el mosaico de complejidad paisajística de la zona, estos sitios de muestreo se ubicaron en: (i) un bosque primario no intervenido (B), (ii) una parcela de

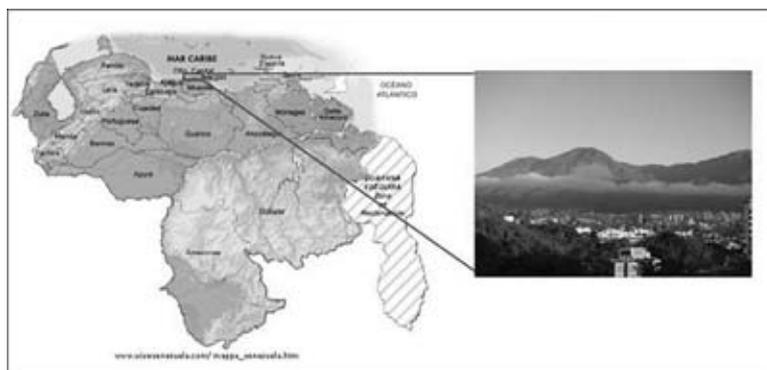


Figura 1. Parque Nacional El Avila. A la izquierda, se presenta la ubicación geográfica del Parque, se puede apreciar que el Parque se encuentra aledaño a la ciudad de Caracas. A la derecha, se presenta una fotografía de la zona en la cual se realizaron los muestreos de campo, se observa el alto grado de fragmentación de hábitat presente en la localidad.

producción agrícola manejada bajo esquemas agroecológicos (CA) y (iii) dos parcelas agrícolas convencionales (CC) (Fig. 2). Durante el período de muestreo en el CA se produjeron en asociación los siguientes rubros: Maíz (*Zea mays*), Cilantro (*Coriandrum sativum*), Ají (*Capsicum annum*), Pimentón (*Capsicum annum*), Berenjena (*Solanum melongena*), Lechuga (*Lactuca sativa*), Rábano (*Raphanus sativus*), Zanahoria (*Daucus carota*), Cebollín (*Allium schoenoprasum*) y Albahaca (*Ocimum basilicum*). En los CC se producía en monocultivo Brócoli (*Brassica oleracea*) en uno y Tomate (*Lycopersicon esculentum*) en el otro.

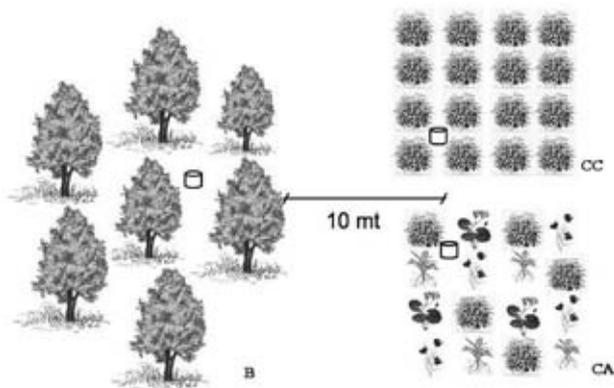


Figura 2. Representación esquemática de los sitios de muestreo. Los muestreos fueron realizados en: un bosque (B), dos monocultivos bajo manejo convencional (CC), y un cultivo asociado bajo manejo agroecológico (CA). En la figura se muestra que en el caso de manejo convencional y agroecológico las trampas fueron colocadas a una distancia de 10 mts del bosque.

El muestreo se realizó con trampas de caída. En cada una de las localidades se ubicaron tres trampas, es decir, se colocaron un total de doce. El trabajo de campo se efectuó durante el período de Marzo a Julio del año 2007. Este lapso de tiempo corresponde al principio del período de producción de secano (bajo lluvias) en la zona. Las trampas fueron revisadas en intervalos quincenales.

En la realización de este trabajo, el interés se encuentra en evaluar la propuesta de Vandermeer & Perfecto (2007) a un nivel general, no en particular para una especie. Por lo tanto, los datos de campo fueron procesados a un nivel taxonómico de órdenes de insectos. Es decir, las capturas fueron categorizadas por grupos de insectos correspondientes a los órdenes: Diptera, Hymenoptera, Coleoptera, Orthoptera y Lepidoptera. Esto como una manera de obtener una estimación general del efecto del manejo de los agroecosistemas sobre el desplazamiento de la entomofauna.

Para cada uno de los ambientes evaluados (B, CC y CA), se obtuvo el promedio de capturas en todos los muestreos por grupo de insectos. Se hace la suposición de que los muestreos realizados en bosque correspon-

den a una estimación correcta de la densidad de las poblaciones presentes en ese ambiente. Esto quiere decir que suponemos esta medida como el máximo posible para la población en los parches no intervenidos. Los muestreos realizados en los cultivos convencionales y agroecológicos se consideran estimaciones de la tasa de migración entre los parches de vegetación no intervenida.

Las probabilidades de migración en los cultivos convencionales y agroecológicos para cada grupo de insectos, se estiman dividiendo los resultados obtenidos en cada tipo de cultivo entre el valor obtenido en el bosque, es decir:

$$\text{probabilidad migración} = \frac{\text{estimación cultivo}}{\text{estimación bosque}} \quad (1)$$

En el caso de que las estimaciones en los cultivos sobrepasen a las estimaciones en el bosque, se concede a la probabilidad de migración un valor igual a 1. De esta manera la probabilidad de migración está acotada entre 0 y 1. Esta probabilidad es calculada por separado para cada uno de los órdenes de insectos estudiados.

Dinámicas metapoblacionales y la Función de Incidencia

El modelo de Función de Incidencia (Hanski 1994) permite inferir las dinámicas a largo plazo bajo los diferentes tipos de manejo agronómico. Este modelo pertenece a la familia de "modelos de parche" de metapoblaciones, en los cuales sólo se considera la presencia o ausencia de la población en cada parche (Hanski & Gilpin 1997). Técnicamente el modelo de Función de Incidencia se deriva de cadenas de Markov de primer orden. Según este modelo (Hanski *et al.* 1996) las tasas de colonización y extinción son constantes, y específicas de cada parche. La probabilidad estacionaria de que un parche J_i este ocupado (incidencia), viene dada por:

$$J_i = \frac{C_i}{C_i + E_i} \quad (2)$$

donde C_i representa la probabilidad de colonización de un parche i , y E_i representa la probabilidad de extinción de un parche i .

Las probabilidades de extinción dependen de las áreas de los parches según la expresión:

$$E_i = \min \left[\frac{\mu}{A_i^x}, 1 \right] \quad (3)$$

donde A_i representa el área del parche i , μ y x son dos parámetros del modelo.

La probabilidad de colonización de un parche i , depende de la ubicación espacial de otros parches habitados, así como del área de estos parches, de la siguiente manera:

$$C_i = \frac{M_i^2}{M_i^2 + y^2} \quad (4)$$

donde y es un parámetro del modelo y M_i es el número de inmigrantes que llegan al parche i por unidad de tiempo; esta cantidad está definida de la siguiente manera:

$$M_i = \beta \sum_{j=1}^n p_j A_j e^{-\alpha d_{ij}} \quad (5)$$

donde α y β son parámetros del modelo, p_j es igual a 1 para parches ocupados e igual a 0 para los desocupados, A_j es el área del parche j , y d_{ij} es la distancia entre los parches i y j . Es importante destacar que en esta última expresión, la conectividad entre los parches es simulada utilizando una función exponencial negativa, que determina la probabilidad de éxito de la migración. Esta función es:

$$\text{probabilidad de migración} = A_j e^{-\alpha d_{ij}} \quad (6)$$

de manera que α es un parámetro relacionado con la calidad de la matriz (cuyo efecto deseamos evaluar). El parámetro α determina la forma precisa de la curva exponencial que describe la relación entre la probabilidad de migración y la distancia; mientras más alto sea su valor absoluto, más rápido cae la relación, de manera que la probabilidad de migración se haría cercana a cero a menor distancia. En nuestro caso, el área del parche esta representada por el área del bosque, la cual es igual en los dos sistemas de manejo, por lo que suponemos que tiene un valor igual a 1. Las distancias (d_{ij}) son iguales a 10 metros en todos los escenarios. Las probabilidades de migración pueden ser obtenidas mediante la ecuación (1). Por lo tanto, con la ecuación (6) fácilmente podemos establecer el valor del parámetro α .

Probabilidad de supervivencia de cada grupo de insectos

Basados en los valores estimados de α para cada grupo de insectos en cada matriz de manejo, se realizaron simulaciones para establecer el comportamiento a largo plazo de las metapoblaciones hipotéticas. Las simulaciones fueron ejecutadas haciendo uso del programa SPOMSIN (Moilanen 2004), el cual implementa numéricamente el Modelo de Función de Incidencia. Los valores de los parámetros utilizados (excepto para α) fueron tomados de los sugeridos por Hanski (1994). La simulaciones fueron realizadas en redes regulares de 25 parches. La proporción inicial de parches habitados en las simulaciones fue 30% y el tamaño de cada parche fue 0,1 ha. Las simulaciones fueron conducidas por 1000 iteraciones y se realizaron 10 repeticiones de cada una.

Paisajes evaluados

En este trabajo también se evaluó el efecto del manejo de la matriz en diferentes arquitecturas paisajísti-

cas. Para hacer esto, se calculó un α promedio entre los grupos de insectos bajo manejo agroecológico (α_a) y bajo manejo convencional (α_c). Estos valores de α fueron contrastados mediante simulaciones conducidas en diferentes estructuras de paisajes. Se evaluaron todas las combinaciones de las siguientes posibilidades (Figs. 3a, b):

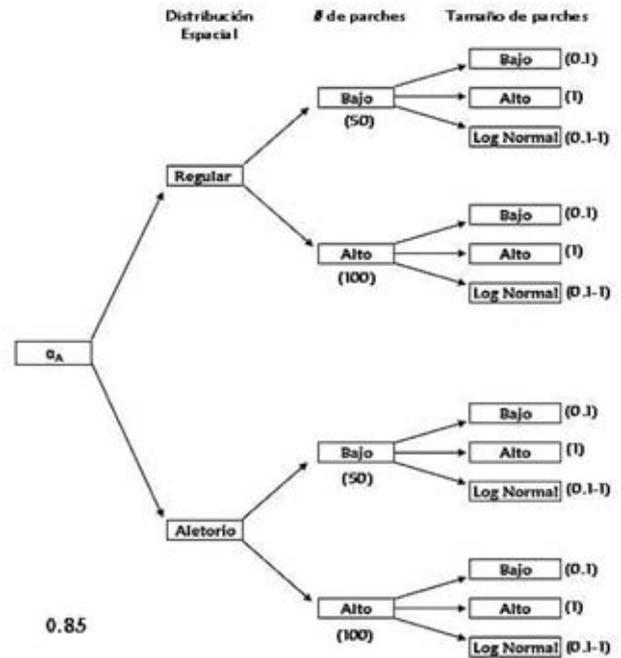


Figura 3a. Árbol de posibilidades de las simulaciones para el cultivo agroecológico.

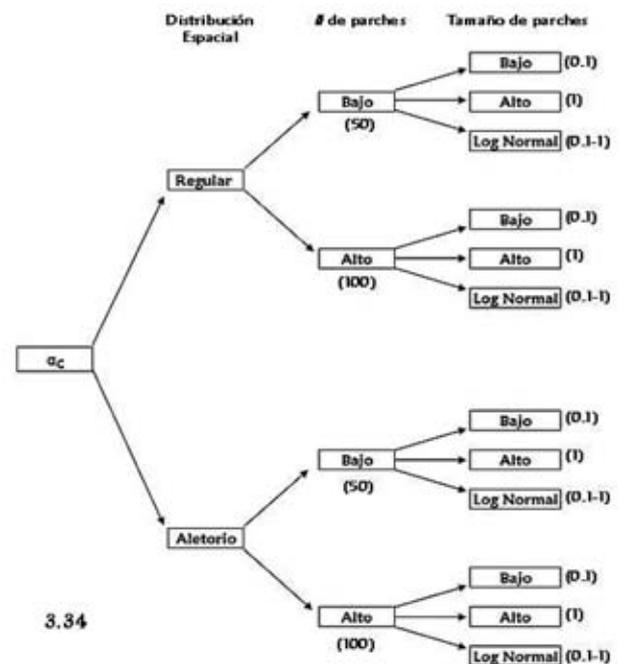


Figura 3b. Árbol de posibilidades de las simulaciones para el cultivo convencional.

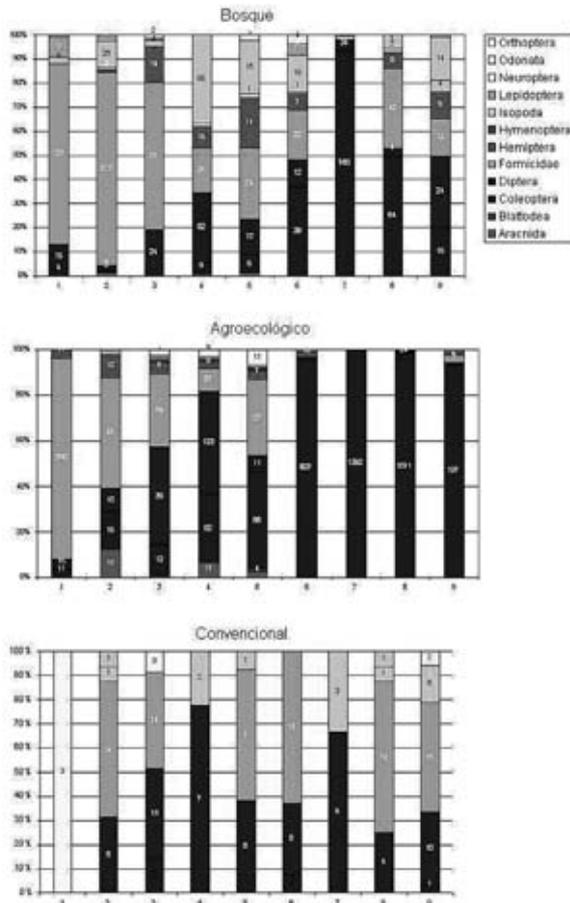


Figura 4. Muestras obtenidas en cada evento de muestreo en los diferentes ambientes. Se observa una gran similitud entre las composiciones de las capturas efectuadas en el Bosque y el Sistema Agroecológico.

- Número de parches: se evaluaron redes compuestas por 25 y 49 parches.
- Disposición espacial de los parches: se evaluaron redes de parches con una distribución regular (lattices) y redes de parches con distribución espacial aleatoria.
- Tamaño de los parches:
 - Todos los parches de igual tamaño: se evaluaron parches de 0,1 ha y de 1 ha.
 - Tamaños de los parches tomados de una distribución log-normal (con variación en el tamaño de los parches entre 0,1 y 1 ha.).

En este caso las simulaciones también fueron realizadas utilizando el programa SPOMSIN (Moilanen 2004). Los valores de los parámetros utilizados (salvo α) fueron tomados de los sugeridos por Hanski (1994). Las simulaciones fueron ejecutadas durante 1000 iteraciones y se realizaron 10 repeticiones de cada una.

Resultados

Muestreo

Los resultados obtenidos en los muestreos de insectos indican claramente que hay una similitud entre

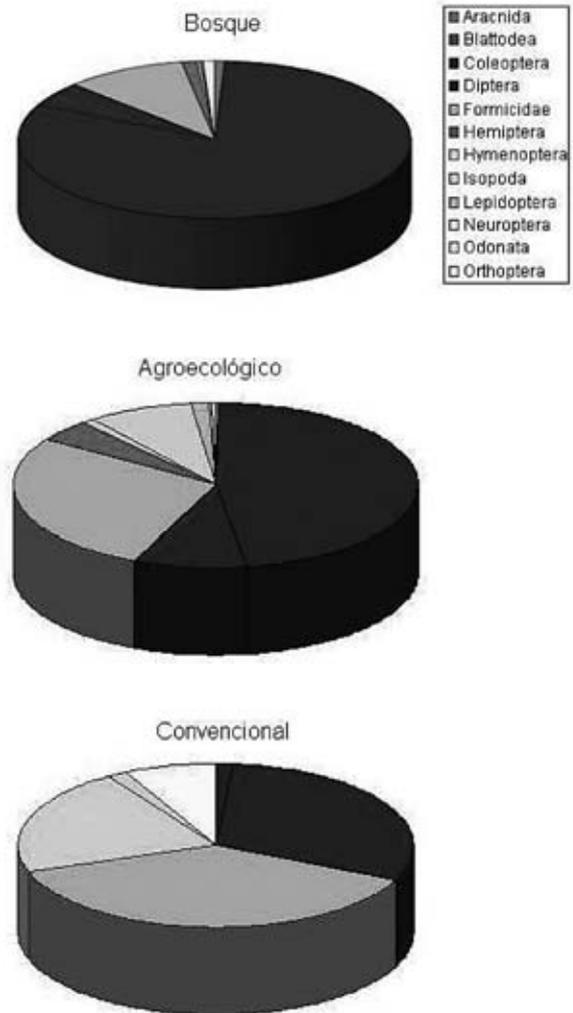


Figura 5. Proporciones de los diferentes órdenes de insectos (en base a las capturas totales) observados en los diferentes ambientes.

la composición faunística del bosque y la del sistema agroecológico. Por el contrario, existe una marcada diferencia entre el bosque y los sistemas convencionales. Estas similitudes y diferencias pueden ser observadas en detalle para cada evento de muestreo en la Figura 4.

La similitud entre el bosque y el sistema agroecológico también se puede apreciar en las capturas totales por hábitat (Fig. 5). Para establecer cuantitativamente el grado de similitud entre estos resultados, se realizó un ANOVA para la variable riqueza. Los resultados muestran que el tipo de manejo tiene efecto sobre esta variable ($P=0,004$). Mediante una prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0,01$), se estableció que el bosque y el sistema agroecológico forman un grupo estadístico diferente al sistema convencional. Estos resultados muestran claramente que el manejo agroecológico de la matriz resulta en el establecimiento de una fauna entomológica en el agroecosistema muy similar a la observada en el bosque, este patrón no se observa cuando la matriz es manejada bajo esquemas convencionales.

Tabla 1. Probabilidades de migración y parámetro α para cada grupo de insectos en cada sistema de manejo agronómico.

	Probabilidad Migración Agroecológico	Probabilidad Migración Convencional	α Agroecológico	α Convencional
Hemiptera	1	0.00***	0.000	¥***
Coleoptera	0.25	0.00	1.396	¥
Hymenoptera	1	1.30	0.000	0.000
Formicidae*	1	0.16	0.000	1.833
Diptera	0.77	0.25	0.256	1.399
Lepidoptera	1	0.00	0.000	¥
Orthoptera	0.19	0.19	1.658	1.658
Arachnida**	0.22	0.00	1.504	¥
Total	0.43	0.04	0.855	3.335

* Se presenta Formicidae por separado a pesar de ser una familia y no un orden, debido a las grandes densidades poblacionales observadas para este grupo.

** Este grupo es incluido por su importancia ecológica.

***Cuando no se observaron individuos en un grupo en un área de muestreo, se asumió que no pueden migrar bajo este esquema de manejo (probabilidad de migración = 0), por lo que el valor de parámetro α es infinito.

Tabla 2. Incidencias a largo plazo de cada grupo de insectos en cada sistema de manejo. Las incidencias presentadas corresponden al promedio (de las diferentes repeticiones) de los valores obtenidos al final de las simulaciones.

	Incidencia Agroecológica	Incidencia Convencional
Hemiptera	0.9	0.0
Coleoptera	0.7	0.0
Hymenoptera	0.9	0.9
Formicidae	0.9	0.65
Diptera	0.85	0.75
Lepidoptera	0.9	0.0
Orthoptera	0.7	0.7
Arachnida	0.65	0.0
Total	0.8	0.3

Tabla 3. Incidencias en los diferentes paisajes para los dos escenarios de manejo. Las incidencias presentadas corresponden al promedio (de las diferentes repeticiones) de los valores obtenidos al final de las simulaciones.

Parámetros	Incidencia	Parámetros	Incidencia
<i>Agr Reg Baj Peq</i>	0.8	<i>Con Reg Baj Peq</i>	0.3
<i>Agr Reg Baj Gra</i>	0.95	<i>Con Reg Baj Gra</i>	0.9
<i>Agr Reg Baj Log</i>	0.95	<i>Con Reg Baj Log</i>	0.9
<i>Agr Reg Alt Peq</i>	0.9	<i>Con Reg Alt Peq</i>	0.7
<i>Agr Reg Alt Gra</i>	1	<i>Con Reg Alt Gra</i>	0.95
<i>Agr Reg Alt Log</i>	1	<i>Con Reg Alt Log</i>	0.95
<i>Agr Ale Baj Peq</i>	0.8	<i>Con Ale Baj Peq</i>	0.4
<i>Agr Ale Baj Gra</i>	0.95	<i>Con Ale Baj Gra</i>	0.9
<i>Agr Ale Baj Log</i>	0.95	<i>Con Ale Baj Log</i>	0.95
<i>Agr Ale Alt Peq</i>	0.9	<i>Con Ale Alt Peq</i>	0.7
<i>Agr Ale Alt Gra</i>	1	<i>Con Ale Alt Gra</i>	0.95
<i>Agr Ale Alt Log</i>	1	<i>Con Ale Alt Log</i>	0.95

Agr = Manejo agroecológico ($\alpha=0,855$), *Con* = Manejo convencional ($\alpha=3,335$), *Reg* = disposición regular de los parches, *Ale* = disposición aleatoria de los parches, *Baj* = Bajo número de parches (25), *Alt* = Alto número parches (49), *Peq* = Parches pequeños (0,1 Ha), *Gra* = Parches grandes (1 Ha), *Log* = Tamaños de los parches tomados de una distribución log-normal.

Tasas de migración

Las probabilidades de migración, así como los valores del parámetro α para cada grupo de insectos en cada sistema de manejo agronómico son presentados en la Tabla 1. En todos los casos, las probabilidades de migración son superiores en el sistema agroecológico. Es interesante apreciar además que 4 de los 8 grupos (50%) observados en el bosque y en el sistema agroecológico, no se observaron en el sistema convencional; en estos casos se asumió que su probabilidad de migración es cero.

Dinámicas a largo plazo en los diferentes grupos de insectos

Los resultados obtenidos en las simulaciones muestran claramente que el manejo agroecológico tiene un efecto positivo sobre el establecimiento a largo plazo de dinámicas metapoblacionales. Este patrón general no es observado cuando el sistema es manejado bajo un esquema convencional. En la Figura 6 se muestran algunos casos que ejemplifican claramente esta tendencia.

Las incidencias a largo plazo establecidas a través de las simulaciones para cada grupo de insectos en cada sistema de manejo pueden ser apreciadas en la Tabla 2. Se entiende por incidencia el porcentaje de parches en los cuales se encuentran subpoblaciones del grupo bajo estudio. Los resultados muestran (con la excepción de Hymenoptera y Orthoptera) que los grupos de insectos evaluados presentan mayores incidencias cuando la matriz es manejada agroecológicamente.

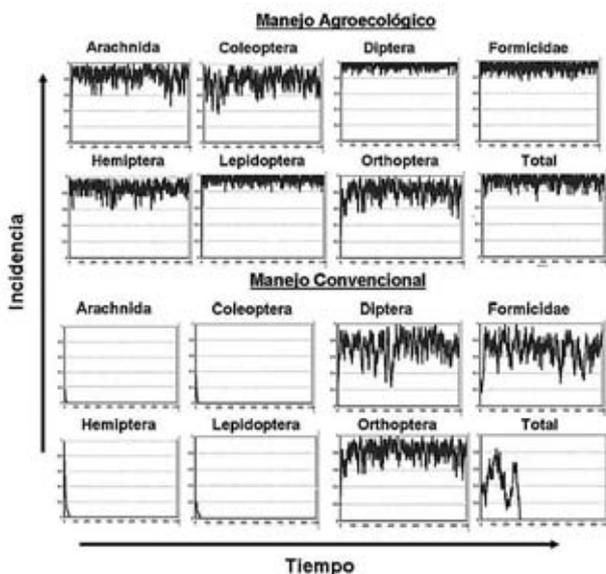


Figura 6. Resultados de algunas simulaciones de las dinámicas a largo plazo de los diferentes grupos de insectos

Dinámicas a largo plazo en los diferentes paisajes

Las incidencias establecidas mediante simulaciones en los diferentes paisajes para los dos escenarios de manejo pueden ser observadas en la Tabla 3. Se apre-

cia que el manejo agroecológico es una condición suficiente para obtener altas incidencias (nunca menores a 0,8). En el caso del manejo convencional, los resultados son muy variables. Es interesante el hecho de que la sola presencia de algunos parches grandes (*i.e.*, en las simulaciones log-normal) es suficiente para obtener altas incidencias (nunca menores que 0,9).

Discusión

La similitud entre los valores de riqueza observados en el bosque y los sistemas agroecológicos puede ser explicada en parte como el resultado de dos procesos: (i) la no aplicación de plaguicidas en el sistema y (ii) la generación de un gran número de hábitats debido a la heterogeneidad estructural de este sistema altamente diversificado (Altieri 1999). En el sistema convencional, los resultados pueden ser el producto del manejo de plagas basado en el uso intensivo de insecticidas y también se podrían explicar por la uniformidad que el monocultivo impone sobre el agroecosistema (Griffon & Torres-Alruiz 2008).

En las simulaciones, la tendencia general observada es que el manejo agroecológico de la matriz tiene un efecto positivo en la incidencia general de las metapoblaciones. Esto es cierto para todos los grupos de insectos evaluados. Cuando los valores de α son calculados a partir de las capturas totales (*i.e.*, sin diferenciar por grupo), se obtienen incidencias contrastantes. Utilizando este α promedio también se hace evidente los beneficios que el manejo agroecológico trae a la conservación de los insectos (muy altas incidencias). Por su parte, en el caso del manejo convencional, los resultados dependen del tamaño de los parches. En particular, los resultados muestran que para obtener valores de incidencias equivalentes a los obtenidos en los sistemas agroecológicos, sería necesario dedicar mayores extensiones de terreno a reservorios de vegetación, es decir sería necesario hacer retroceder la frontera agrícola.

Nuestros resultados muestran enfáticamente que el manejo convencional de los predios resulta en una disminución general de la biodiversidad entomológica de la zona. Por el contrario, el manejo agroecológico mantiene los niveles iniciales de riqueza. Este resultado hace evidente los beneficios que se desprenderían del impulso de la agricultura de base agroecológica en la zona.

Los resultados obtenidos se deben al incremento en la calidad de la matriz producido por el manejo agroecológico. Matrices de alta calidad generalmente protegen contra la extinción de la metapoblación. Sin embargo, este resultado general debe ser tomado con prudencia. Utilizando un modelo mecanístico, Vandermeer y Carvajal (2001) han mostrado que en algunos casos el incremento en la calidad de la matriz puede provocar dinámicas caóticas en las subpoblaciones.

Modelar la calidad de la matriz mediante la variación de la probabilidad de éxito en la migración es una forma

simple de evaluar los efectos de diferentes escenarios de manejo. Mediante esta aproximación rápidamente se llega a la conclusión de que la extinción de las poblaciones es menos probable en la medida en que se incrementa la calidad de la matriz (Vandermeer & Carvajal 2001). Este ha sido el resultado general que se ha obtenido utilizando diferentes metodologías de modelado (Gustafson & Gardner 1996, Cantrell *et al.* 1998, Vandermeer & Carvajal 2001, Alfonso *et al.* 2009). Por su parte, los trabajos empíricos también han mostrado que diferencias en la calidad de la matriz tienen efecto sobre la abundancia de las poblaciones (Aberg *et al.* 1995, Sisk *et al.* 1997, Delin & Andren 1999, Tejat *et al.* 2002).

Un punto que es importante comentar es que el incremento observado en la entomofauna en el agroecosistema manejado agroecológicamente con respecto al convencional, no está asociado a problemas de plagas. Por el contrario, durante el período de muestreo en este sistema no se observaron densidades poblacionales que pudiesen representar situaciones de riesgo económico. Una posible explicación para esta circunstancia, la encontramos en la semejanza observada entre la composición de las comunidades entomológicas en el bosque y en el sistema agroecológico. La comunidad del sistema agroecológico mimetiza a la comunidad del ecosistema natural. Es posible que la diversidad de interacciones tróficas entre los miembros de esta comunidad, se traduzca en la ocurrencia de una trama trófica altamente compleja en el interior del agroecosistema, sistema que pudiese permitir la autorregulación de las poblaciones de insectos, generando de esta manera homeostasis en el sistema (Altieri 1999, Griffon 2008a).

Es de relevancia apreciar que para obtener resultados similares en cualquier agroecosistema, sólo es necesario cambiar el manejo del sistema a uno de base agroecológica. Este cambio, lejos de aumentar los costos de producción, los puede reducir (Altieri 1999, 2000). También es importante resaltar, que el manejo agroecológico no resulta en una reducción de la productividad. Ha sido demostrado en numerosos trabajos, que un manejo de esta naturaleza produce iguales o mayores cosechas que las obtenidas en sistemas convencionales (Stanhill 1990, Rosset 1999, Toledo 2002, Badgley *et al.* 2007, Griffon 2008b, Posner *et al.* 2008). Cuando debido a razones culturales y atavismos, los agricultores sean reticentes a la Agroecología, las autoridades deben promover la creación de reservorios de vegetación natural en los predios. En este particular, resultados empíricos (Tschardt *et al.* 2002) han mostrado que parches de un tamaño equivalente al 20% del tamaño total del predio son suficientes para producir efectos favorables en la conservación de la entomofauna.

Un punto central dentro de la argumentación a favor de la Agroecología, es el reconocimiento del carácter multifuncional de la agricultura (Altieri 2000). La agricultura es mucho más que la simple producción de ali-

mentos. En esta actividad interactúan procesos sociales, culturales, económicos y ecológicos. Sin embargo, la agricultura convencional, centrada en la dimensión económica de la actividad agrícola, desconoce esta multifuncionalidad. Una manifestación tangible de la multifuncionalidad de la agricultura, la encontramos en los resultados de este trabajo. Aquí hemos mostrado como mediante la implementación de prácticas de base agroecológica, se logra producir alimentos sanos, a la vez que se preserva la biodiversidad. Logrando de esta manera reconciliar dos actividades consideradas fundamentales en el marco de los retos que enfrenta la humanidad.

Conclusiones

Para lograr un manejo sustentable de un área protegida, deben ser tomadas en cuenta las tres dimensiones de la sustentabilidad: social, económica y ambiental. Tristemente, los parques nacionales son típicamente creados sólo tomando en cuenta la conservación de la biodiversidad. Esta circunstancia conduce a un manejo que se caracteriza por presentar un enfoque ultra conservacionista, que no toma en cuenta las complejidades económicas y sociales propias de cualquier situación del mundo real. Este acercamiento no reconoce los derechos de los pueblos que ancestralmente han habitado estos espacios, como lo son el derecho a vivir en ellos y a realizar actividades que hagan viable económicamente su subsistencia. Desde nuestro punto de vista, este es un acercamiento básicamente erróneo. Pensamos que es necesario el desarrollo de nuevas estrategias que permitan reconciliar los objetivos de conservación de la biodiversidad, con los derechos económicos y sociales de los pueblos. El resultado general de este trabajo demuestra que el manejo agroecológico de los agroecosistemas tiene un efecto positivo en la conservación de la entomofauna. De igual manera, ha sido demostrado en múltiples trabajos que la Agroecología tiene efectos económicos y sociales positivos. Por estas razones, nosotros creemos que se deben promover políticas públicas para la implementación de sistemas agrícolas de base agroecológica en los predios situados en parques nacionales. Como es el caso de aquellos ubicados en el Parque Nacional El Avila.

Otro aspecto importante se desprende de este trabajo: la conveniencia de utilizar herramientas formales para evaluar procesos naturales y estrategias de manejo. En este caso se han puesto a prueba, a través de experimentos muy sencillos, las predicciones teóricas de modelos matemáticos referentes a dos opciones de manejo de la tierra con fines agrícolas. Se muestra como el uso de los modelos permitió evaluar la bondad de las estrategias bajo diferentes criterios simultáneamente, en este caso: manejo agrícola y conservación de la biodiversidad.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a Marco Romero y María Contreras por su invaluable ayuda en la colecta de los datos en campo. Agradecen también el apoyo logístico brindado por el Postgrado en Ecología de la Universidad Central de Venezuela. Finalmente desean expresar su agradecimiento a Miguel Altieri y Clara Nicholls por su estímulo y solidaridad.

Referencias

- Aberg J, Jansson G, Swenson JE, Angelstam P. 1995. The effect of matrix on the occurrence of hazel grouse (*Bonasia bonasia*) in isolated habitat fragments. *Oecologia* (Berlin) 103:265-269.
- Alfonzo D, Griffon D, Hernandez MJ. 2009. Consecuencias del Manejo Agroecológico en la Conservación de Especies Silvestres. *Revista Brasileira de Agroecología* 4: 1960-1964.
- Altieri MA. 1999. *Agroecología: Bases Científicas para una Agricultura Sustentable*. Montevideo: Nordand- Comunidad.
- Altieri MA. 2000. Multifunctional dimensions of ecologically-based agriculture in Latin America. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology* 7:62-75.
- Badgley C, Moghtader J, Quintero E, Zakem E, Chappell J, Avilés-Vázquez K, Samulon A, Perfecto I. 2007. Organic Agriculture and the Global Food Supply. *Renewable Agriculture and Food Systems* 22:86-108.
- Cantrell RS, Cosner C, Fagan WE. 1998. Competitive reversals inside ecological reserves: the role of external habitat degradation. *Journal of Mathematical Biology* 37:491-533.
- Delin AE, Andren H. 1999. Effects of habitat fragmentation on Eurasian red squirrel (*Sciurus vulgaris*) in a forest landscape. *Landscape Ecology* 14:67-72.
- Griffon D, Torres-Alruiz MD. 2008. On the inherent instability of the monoculture. *Proceedings of the Second Scientific Conference of the International Society of Organic Agriculture Research* pp. 708-711.
- Griffon D. 2008a. Estimación de la biodiversidad en agroecología. *Agroecología* 3: 25-31.
- Griffon D. 2008b. Otra agricultura es posible y necesaria. [publicación en línea]. Disponible desde Internet en :<http://www.ecoport.net/content/view/full/83444> [con acceso el 27-5-2010].
- Gustafson EJ, Gardner RH. 1996. The effect of landscape heterogeneity on the probability of patch colonization. *Ecology* 77: 94-107.
- Hanski I. 1994. Patch-occupancy dynamics in fragmented landscapes. *Trends in Ecology and Evolution* 9:131-135.
- Hanski I, Gilpin M. 1997. *Metapopulation Biology: Ecology, Genetics and Evolution*. New York: Academic Press.
- Hanski I, Moilanen A, Pakkala T, Kuussaari M. 1996. The quantitative incidence function model and persistence of an endangered butterfly metapopulation. *Conservation Biology* 10: 578-590.
- Moilanen A. 2004. SPOMSIM: software for stochastic patch occupancy models of metapopulation dynamics. *Ecological Modelling* 179: 533-550.
- Posner JL, Baldock JO, Hedtcke JL. 2008. Organic and Conventional Production Systems in the Wisconsin Integrated Cropping Systems Trials: I. Productivity 1990-2002. *Agronomy Journal* 100: 253-260
- Rosset P. 1999. Small is beautiful. *The Ecologist* 29: 452-456.
- Sisk TD, Haddad NM, Ehrlich PR. 1997. Bird assemblages in patchy woodlands: modeling the effects of edge and matrix habitats. *Ecological Applications* 7: 1170-1180.
- Stanhill G. 1990. The comparative productivity of organic agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 30: 1-26.
- Tejat S, Teffan I, Ruess A, Carstent H. 2002. Contribution of small habitat fragments to conservation of insect communities of grassland-cropland landscape. *Ecological Applications* 12: 354-363.
- Toledo V. 2002. Agroecología, sustentabilidad y reforma agraria: la superioridad de la pequeña producción familiar. *Agroecología e Desarrollo Rural Sustentable* 3: 27-36.
- Tscharntke T, Steffan-Dewenter I, Kruess A, Thies C. 2002. Characteristics of insect populations on habitat fragments: a mini review. *Ecological Research* 17: 229-239.
- Vandermeer JH, Carvajal R. 2001. Metapopulation dynamics and the quality of the matrix. *The American Naturalist* 158: 211-220.
- Vandermeer J, Perfecto I. 2007. The agricultural matrix and the future paradigm for conservation. *Conservation Biology* 21: 274-277.

ESTUDIO DE LA MACROFAUNA EDÁFICA (ORDEN ARANEAE). SU RIQUEZA Y ABUNDANCIA EN INVERNÁCULOS SUJETOS A UN MANEJO CONVENCIONAL Y EN TRANSICIÓN AGROECOLÓGICA. PARTIDO DE LA PLATA, ARGENTINA

Ignacio Baloriani Gabriel¹, Mariana Marasas^{1,3}, Marco Antonio Benamu², Santiago Javier Sarandón^{1,4}

¹ Curso de Agroecología. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. UNLP. CC31 (1990). La Plata. Buenos Aires. Argentina. E-mail: gbalor@hotmail.com, ² Centro de Estudios Parasitológicos y de Vectores (CEPAVE)(CCT La Plata CONICET-UNLP), Calle 2 N° 584 (1900) La Plata, Buenos Aires, Argentina. E-mail: mbenamu@cepave.edu.ar, ³ IPAF-Región Pampeana-INTA. Calle 403 S/N e/Cno. Centenario y calle 6, (1894) Villa Elisa. Buenos Aires, Argentina. E-mail: mmarasas@yahoo.com.ar, ⁴ Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires. E-mail: sarandon@agro.unlp.edu.ar

Resumen

Considerando el importante rol ecológico de las arañas en los agroecosistemas, se propuso estudiar su presencia en dos invernáculos del partido de La Plata, uno con manejo convencional (IC) y otro en transición agroecológica (IT). Para la captura de las arañas se utilizaron trampas pitfall. Se colectaron 2818 en (IT) y 1585 en (IC), pertenecientes a 21 familias, 20 en (IT) y 19 en (IC). Las familias mejor representadas fueron Lycosidae, Linyphiidae, Hahnidae, Tetragnathidae, Anyphaenidae y Corinnidae. Se encontraron los mismos gremios de arañas en ambos tratamientos y la proporción relativa se mantuvo en cada caso. Los mejor representados para ambos tratamientos fueron las cazadoras corredoras en suelo y las tejedoras errantes de tela irregular tipo sabana. Se observó un comportamiento diferencial en la abundancia de individuos. Estos resultados muestran que el mayor número de individuos en IT estaría relacionado con el manejo, que se caracteriza por una disminución en el uso de agroquímicos, mayor diversidad de cultivos y presencia de vegetación espontánea que proporcionarían hábitat, refugio y alimentos para las arañas, las que actuarían como potenciales controladores de plagas. La disminución en la aplicación de agroquímicos y el aumento de la agrobiodiversidad, son aspectos fundamentales a tener en cuenta si se pretende alcanzar la autorregulación biótica de los agroecosistemas.

Palabras claves: Agroecosistemas, arañas, invernáculos, transición agroecológica.

Summary

Study of the edaphic macrofauna (orden araneae). It richness and abundance in conventional and agroecological greenhouses in La Plata, Argentina

Taking into account the ecological role of spiders in agroecosystems, the aim of this paper was to study its richness and abundance in two greenhouses in La Plata, one under conventional management (IC) and another in agroecological transition (IT). Individuals were capture using pitfall traps. It was collected 2818 individuals in IT and 1585 in IC, which belonged to 21 families: 20 in (IT) and 19 in (IC). The Families better represented were Lycosidae, Linyphiidae, Hahnidae, Tetragnathidae, Anyphaenidae and Corinnidae. It was found similar guilds under both managements and similar proportions between them. The better represented groups in both treatments were hunter running spiders and spinning wanders of irregular web like sheet. Nevertheless it was observed differences in abundance, may be related to IT management based on a reduced use of agrochemical, higher biodiversity of crops and spontaneous plant that favor habitat, shelter and food for spiders, which would act as potential pest controllers. Pesticide reduction and increase in biodiversity are fundamentals strategies to take into account to reach biotic regulation in agroecosystems.

Key words: Agroecosystems, spiders, greenhouse, agroecological transition.

Introducción

El cinturón hortícola platense es el área productiva de mayor envergadura de la provincia de Buenos Aires. En los últimos 20 años, se ha observado una mayor tecnificación y artificialización de la agricultura, con un uso más intensivo de la tierra, grandes cantidades de insumos químicos y un incremento de cultivos en invernáculo (Cattáneo y Fernández 1997). Según el Censo Hortiflorícola (2005), la superficie implantada con hortalizas ocupa 3.709 ha, de las cuales 1.390 ha están bajo cubierta. Esta práctica tiene como finalidad, maximizar los rendimientos de las especies cultivadas y lograr mejores precios en el mercado local a través de las primicias. Sin embargo, algo más de la mitad de los establecimientos de la zona pertenecen a pequeños productores familiares (Benencia y Quaranta 2004), descapitalizados, que no pueden acceder al paquete tecnológico completo. La actividad productiva, bajo ésta lógica convencional, está en riesgo permanentemente ya que no siempre logran mejorar la productividad. Este modelo, además, trae aparejado una serie de problemas ecológicos (contaminación por uso de agroquímicos, fertilizantes, pérdida de biodiversidad) y productivos, entre los cuales se destaca un aumento de las poblaciones de organismos considerados plagas, una alta utilización de químicos para su control, lo que genera mayor dependencia de insumos agudizando los riesgos económicos y ecológicos.

En la actualidad, han aparecido alternativas al modelo dominante, estimulando prácticas que reducen o eliminan el uso de insumos químicos contaminantes y promueven estrategias de transición hacia sistemas más sustentables (Alessandria *et al.* 2006, Porcuna 2007, Altieri y Nicholls 2007).

En este contexto, la Agroecología, busca minimizar la dependencia de insumos externos y el riesgo económico y ecológico, a partir del rediseño de los agroecosistemas a través del mantenimiento y manejo de la agrobiodiversidad (Altieri 1992, 1994). La recreación de ambientes que estimulen la presencia de enemigos naturales permitiría disminuir el problema de plagas, a través de promover los mecanismos de regulación biótica y así, lograr la autorregulación del sistema, con la consecuente disminución en el uso de agroquímicos (Altieri 1992, Sarandón 2002). Sotherton (1985), Dennis *et al.* (1994), Thomas y Marshall (1999), Asteraki *et al.* (2004) y Marasas *et al.* (2010) demostraron que diferentes tipos de borduras y coberturas vegetales también proveen hábitat para la hibernación de Macrofauna edáfica, en su mayoría predatoras y que ésta realiza un permanente intercambio entre el campo cultivado y sus bordes. Los ambientes con vegetación espontánea pueden ser muy importantes como fuente de refugio, proveyendo sitios de hibernación y fuentes de alimentos alternativos para estos predadores del suelo y su presencia contribuiría a mantener controladas las poblaciones de fitófagos y regular la aparición de las plagas (Swift *et al.* 2004, Fournier y Loreau 2001, Krooss y Schaefer 1998, Benamú 1999, Edwards *et al.* 1979, Lang 2003, Cole *et al.* 2005, Saavedra *et al.* 2007, Lietti *et al.* 2008, Marasas *et al.* 2010, Yaisys Blanco y Leyva 2007, Paleologos *et al.* 2008).

Dentro de la macro fauna se destacan las arañas, exclusivamente predadores de insectos, en su mayoría polífagas (Benamú y Aguilar 2001). Sus poblaciones son abundantes en los agroecosistemas y cumplen un rol fundamental en el control de plagas (Pérez y Rodolfi 1998, Morris *et al.* 1999, Lijestrom *et al.* 2002, Pérez de la Cruz y de la Cruz Pérez 2005, Pérez de la Cruz *et al.* 2007, Saavedra *et al.* 2007). Los gremios que conforman, evidencian el amplio espectro que abarca este grupo con respecto a los hábitos de caza y hábitat que ocupan (Uetz *et al.* 1999).

Se estudió el orden Araneae, en invernáculos, bajo manejo convencional y en transición a un manejo agroecológico. El objetivo es determinar a nivel de familia los organismos colectados y evaluar y comparar la riqueza, abundancia y gremios de las familias identificadas. Se parte de la hipótesis de que el invernáculo con manejo agroecológico, con menos insumos químicos y mayor agrobiodiversidad, genera las condiciones para albergar una mayor abundancia y riqueza de arañas.

Materiales y Métodos

Características del sitio de muestreo: El estudio se realizó con productores hortícolas pertenecientes al grupo San Isidro Labrador de la localidad de Arana, en el cinturón hortícola de La Plata, Argentina (35° 0' Lat, 57° 53' Long). En este sitio las precipitaciones medias anuales oscilan entre 800 y 1000 mm, sin estación seca. La temperatura media varía entre 22° C para el mes más cálido (enero) y 8° C para el mes más frío (julio), (Cabrera y Zardini 1978). El ensayo se hizo en dos invernáculos de aproximadamente 30 x 50 metros, cuya principal producción fueron los cultivos de hoja rúcula (*Eruca sativa Mill*), diferentes tipos de lechugas (*Lattuca sativa*), radicheta (*Cichorium intybus L.*), espinaca (*Spinacia oleracea L.*), apio (*Apium graveolens*), chaucha (*Phaseolus vulgaris*), rabanito (*Raphanus sativus*) y pepino (*Cucumis sativus L.*), desde octubre del 2005 hasta mayo del 2007. El invernáculo manejado de forma convencional (IC) no tenía más de tres cultivos por periodo productivo, siendo su disposición espacial en surcos o en tablones. Se utilizaron agroquímicos para el control de malezas, plagas y hongos. El laboreo del suelo se realizó con rastra de disco y esporádicamente cuando el suelo estaba muy compactado se utilizó arado de reja y vertedera. El invernáculo en transición a un manejo agroecológica (IT) incorpora por periodo productivo al menos 4 o 5 cultivos, además, dependiendo de la estación del año, encontramos plantas con flores como tabaco (*Nicotiana tabacum L.*), copete (*Tagetes erecta*), y aromáticas. La disposición espacial es muy variada pudiendo encontrarse asociación de cultivos. Solo en situaciones de emergencia, para el control de plagas se utilizan preparados caseros (caldo sulfocálcico y/o bordelés y extracto de tabaco en caso de ser necesario) y las malezas se extraen manualmente. Emplean fertilizantes orgánicos como bosta de gallina, cáscara de girasol y trigo. El laboreo del suelo se realiza con rastra de disco y, esporádicamente,

cuando el suelo esta muy compactado, se utiliza arado de reja y vertedera.

Para el muestreo se utilizaron trampas pitfall (Thiele 1977, Jarosik 1992, Edwards 1991). Consistieron en recipientes plásticos con tapa, de 11 cm de diámetro por 12 cm de alto y 850 cm³ de capacidad. Para la caída de los organismos se les realizaron unas perforaciones de 2 cm de alto por 4 cm de largo cerca del borde superior. Los recipientes fueron enterrados hasta el borde inferior de las perforaciones y llenados con una solución acuosa conteniendo sal gruesa, formol, detergente y agua. Cada trampa permaneció tapada hasta el momento de su recolección. Se colocaron un total de 27 trampas, distribuidas en 9 transectas equidistantes (5 en IC y 4 en IT) a 7,5 metros una de la otra, cubriendo el ancho total y la mitad de los invernáculos. En cada transecta se pusieron 3 trampas a 10 metros cada una.

Durante el periodo de muestreo (27-10-2005 hasta 11-5-2007), las trampas se colectaron mensualmente, fueron lavadas en laboratorio con agua corriente y los organismos capturados, seleccionados y colocados en frascos rotulados con alcohol al 70% hasta su identificación. La misma se realizó a partir de bibliografía específica y claves confeccionadas para las especies del área. Las arañas se agruparon en gremios según sus hábitos tejedoras o cazadoras y hábitat, división propuesta por Uetz *et al.* (1999). Se calculó abundancia, riqueza y para el análisis estadístico de los datos se realizó una ANOVA y el test de Tukey a 0.05 de probabilidad para la comparación de las medias. Los datos fueron transformados logarítmicamente.

Resultados

Se colectaron un total de 4403 arañas, observándose un mayor número de arañas en el invernáculo en transición que en el manejo de forma convencional (Fig. 1). Sin embargo, para la riqueza de familias, no se registraron diferencias importantes. En IT se identificaron 20 familias y 19 en IC, 18 familias fueron compartidas en ambos tratamientos, 2 fueron exclusivas de IT y 1 de IC, registrándose por lo tanto, un total de 21 familias (Tabla 1).

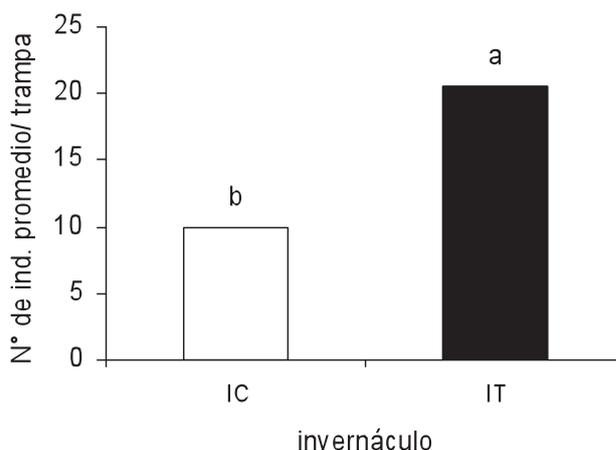


Figura 1. Número de individuos promedio por trampa, en invernáculos convencional y en transición Agroecológica. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Tabla 1. Número de individuos por Familias de arañas agrupadas según hábitat y hábitos de caza, capturadas en dos invernáculos (IT; IC), La Plata, Argentina, (2005-2007). IT: invernáculo en transición; IC: invernáculo convencional.

TIPO DE ARAÑAS	GREMIO DE ARAÑAS	FAMILIAS	N° indiv. IT	N° indiv. IC
TEJEDORAS	Tela Orbicular	Araneidae	34	13
		Tetragnathidae	264	88
	Tela Irregular	Theridiidae	13	6
		Titanoesidae	3	4
		Pholsidae	1	0
	Errante de tela irregular tipo sabana	Linyphiidae	852	465
	Tela tipo sabana	Scytodidae	3	2
		Amaurobidae	24	21
		Hahnidae	32	103
	TOTAL DE TEJEDORAS			1226
CAZADORAS	Emboscadora	Thomisidae	10	12
		Philodromidae	2	2
	Emboscadora en tallo	Oxyopidae	1	1
		Palpimanidae	1	1
		Saltisidae	21	29
	Emboscadora en follaje	Anyphaenidae	90	30
	Corredora en suelo	Lycosidae	1256	578
		Clubionidae	1	0
		Ctenidae	16	27
		Corinnidae	159	166
		Gnaphosidae	35	35
		Dysderidae	0	2
TOTAL DECAZADORAS			1592	883

Se observó que la proporción relativa del número de individuos por familia de arañas se mantiene entre tratamientos (Figs. 2a y 2b). Se seleccionaron las familias mejor representadas, considerando como criterio a aquellas que superaron el 3% del total de individuos capturados a lo largo de todo el periodo de muestreo. Estas fueron Lycosidae, Linyphiidae, Tetragnathidae, Anyphaenidae, Corinnidae y Hahnidae. Las 4 primeras fueron más abundantes en IT que en IC. La familia Hahnidae también mostró diferencias significativas entre tratamientos pero el número de individuos fue mayor en IC. La familia Corinnidae no mostró diferencias significativas entre tratamientos (Fig. 3).

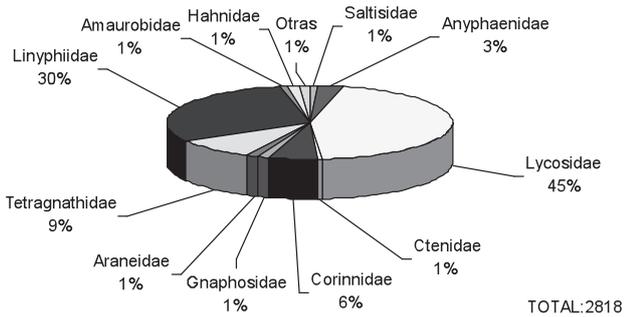


Figura 2a. Proporción relativa de familias de arañas en invernáculo en transición Agroecológica.

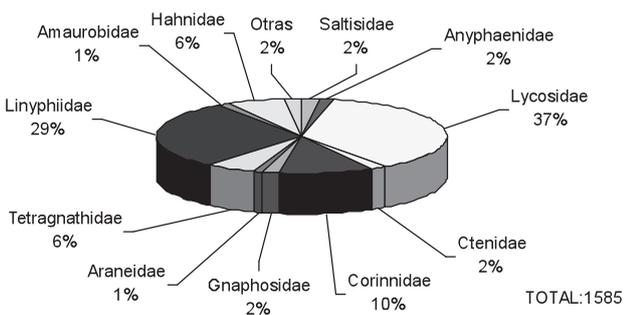


Figura 2b. Proporción relativa de familias de arañas en invernáculo convencional.

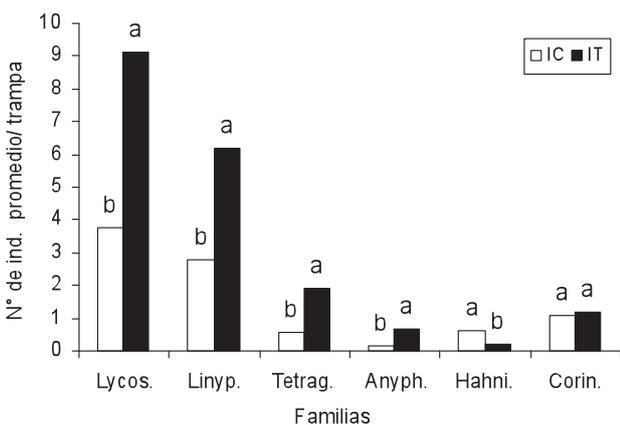


Figura 3. Número de individuos promedio por trampa de las familias más abundantes en invernáculos convencional y en transición Agroecológica. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$); (Lycos.=Lycosidae, Linyph.=Linyphiidae, Tetragn.=Tetragnathidae, Anyph.=Anyphaenidae, Hahni.=Hahnidae, Corin.=Corinnidae).

Los gremios de arañas registrados se observan en la tabla 1. Su clasificación corresponde a una modificación de los criterios propuestos por Uetz *et al.* (1999). Todos los gremios se encontraron representados en ambos tratamientos. No se encontró diferencia notoria entre la proporción relativa de gremios en cada caso (Figs. 4a y 4b).

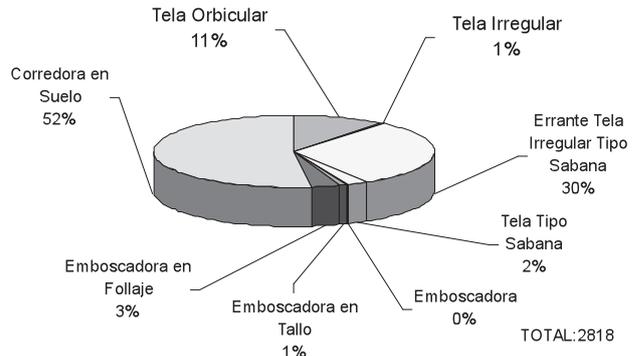


Figura 4a. Proporción relativa de gremios de arañas presentes en invernáculo en transición Agroecológica.

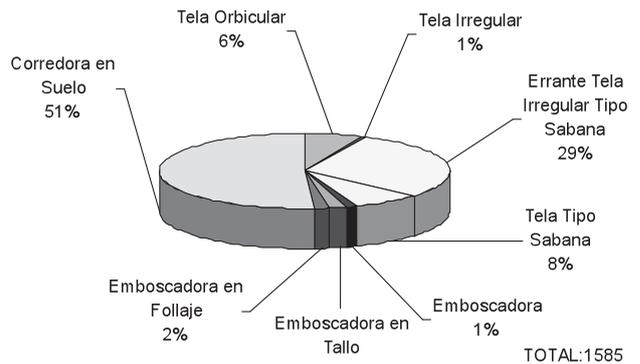


Figura 4b. Proporción relativa de gremios de arañas presentes en invernáculo convencional.

Los gremios mejor representados para ambos tratamientos fueron las cazadoras corredoras en suelo, representados por las familias Lycosidae y Corinnidae, y las tejedoras errantes de tela irregular tipo sabana representado por los individuos de la familia Linyphiidae. Cabe destacar que en función del método de muestreo típico de las trampas pitfall, los grupos mejor muestreados en función de sus hábitos corredores y errantes son los individuos de las familias Lycosidae y Linyphiidae (Fig. 3).

Le siguen en importancia a los gremios arriba descritos las tejedoras orbiculares representadas por los individuos de la familia Tetragnathidae para IT y en IC las tejedoras de tela tipo sabana representados por la familia Hahnidae.

Cuando se analizó la relación entre las trampas ubicadas en los bordes del invernáculo en relación a aquellas ubicadas en el centro del mismo, se observaron diferencias en el IT, donde se observó un mayor número de individuos en los bordes que en centro. No ocurrió lo mismo en IC (Fig.5).

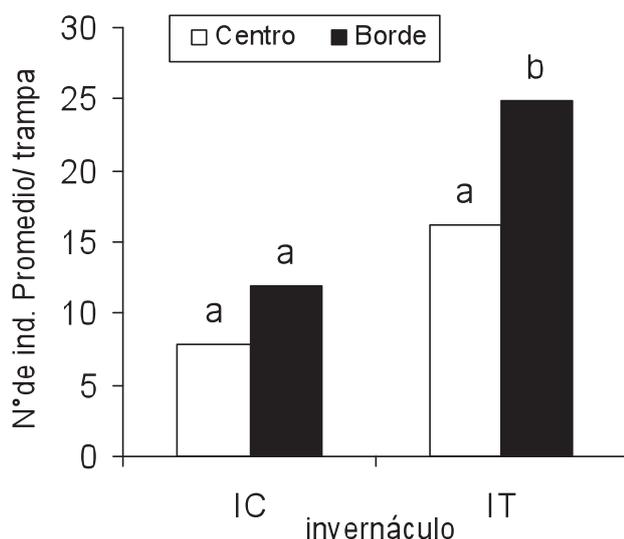


Figura 5. Número de individuos promedio por trampa del borde y centro, de invernáculo convencional y en transición Agroecológica. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

Discusión

Los resultados obtenidos en este trabajo confirman que las estrategias de manejo basadas en un alto uso de insumos químicos afectan la presencia de las familias del orden Araneae. Se observó el doble de abundancia del número total de individuos, en el invernáculo con manejo agroecológico (IT), que en el convencional (IC). Pérez y Rodolfi (1998), también observaron que las bajas más notables en la población de arañas, en especial las que son tejedoras, estaría ocasionadas por la aplicación de insecticidas y por la labranza del suelo. Como señala Morris *et al.* (1999) la actividad de las arañas se ve favorecida, por un lado, por aquellas prácticas que favorecen la diversidad y por el otro, con el uso de plaguicidas inocuos, aspecto que coincide con el manejo que realiza el productor en IT, ya que utiliza preparados caseros y una mayor diversidad de cultivos. Según Gliessman (2000) la diversidad estructural y temporal son atributos importantes de la heterogeneidad del sistema y garantizan la presencia de todos los niveles tróficos favoreciendo la regulación biótica. La diversidad cultivada y asociada se manifiesta en la estrategia de manejo llevado a cabo en IT, ya que la presencia de cultivos en diferentes estadios fenológicos, las rotaciones de cultivos y la presencia de vegetación arvense dentro del invernáculo están presentes a lo largo del año. La mayor presencia de arañas en IT, se explicaría, por la capacidad de las mismas de desplazarse a otro cultivo que se encuentra en un estadio fenológico diferente, pudiendo mantener así su población más o menos constante. La influencia positiva de la diversidad estructural cultivada sobre los enemigos naturales también ha sido observada en cultivos extensivos como soja (Liljesthrom *et al.* 2002), alfalfa (Greco *et al.* 2002) y camote en Perú (Pérez y Rodolfi 1998),

donde las poblaciones de arañas muestran un continuo crecimiento en el transcurso de la campaña agrícola y una disminución después de la cosecha.

La presencia de vegetación arvense junto con una mayor diversidad de cultivos en IT proporcionarían hábitat, refugio y fuente de alimentos para las arañas, ya que la composición y estructura de la vegetación presente en los ambientes seminaturales característicos de los sistemas hortícola de la zona de La Plata permitiría albergar enemigos naturales con hábitats y hábitos de vida diferentes (Paleólogos *et al.* 2008; Rypstra *et al.* 1999), los cuales pueden contribuir a la regulación biótica.

El número, tipo de familias y su proporción relativa fue semejante en ambos tratamientos. Esto sugiere que dichas familias son características del área muestreada, ya que no existen conocimientos de la diversidad de arañas en cultivos hortícolas de la zona. Las familias más abundantes fueron Lycosidae, Linyphiidae, Tetragnathidae, Anyphaenidae, Hahnidae y Corinnidae. Las 4 primeras fueron mayores en el IT. Dentro del gremio de las tejedoras se destacaron por su abundancia las familias Linyphiidae, Tetragnathidae y Hahnidae. Por el tipo de trampas utilizadas para el muestreo, los resultados podrían estar sesgados hacia las arañas de tipo tejedoras errantes y las cazadoras. Para el caso de las tejedoras, la mayoría de los cultivos hortícola que se realizan en invernáculo son de ciclo corto y no presentan disponibilidad de sitios apropiados para que arañas tejedoras de gran tamaño puedan insertar sus telas. La ubicación, forma y tamaño de las telas están determinadas por la interacción de características del ambiente y por la especie que la construye así como sus patrones adaptativos e interrelaciones con sus presas (Andrews y Birch 1984). También influye la disponibilidad de espacios para su construcción, el cual está en función de la estructura y densidad de la vegetación donde se construyen las telas (Foelix 1996). Estas características podrían explicar la menor abundancia de arañas tejedoras y dentro de éste grupo funcional, sólo especies de tamaño pequeño.

En los Linyphiidae la tela tiene forma de sábana horizontal irregular y en la mayoría es de gran extensión. No construyen estructuras como refugio para mudar o poner huevos. Se dispersan rápidamente y en general se las pueden encontrar errando o cazando, más que en sus propias telas (Aguilera y Casanueva 2005). Encuentran en los estratos inferiores de la vegetación y en el suelo sitios apropiados para anclar sus telas (Liljesthrom *et al.* 2002). Estas características, ofrecidas por la vegetación espontánea presente en IT y a los terrones de tierra abundantes en los suelos de los invernáculos explicarían la mayor abundancia de los Linyphiidae.

Los Tetragnathidae fabrican telas orbiculares horizontales generalmente en lugares húmedos entre la vegetación (Aguilera y Casanueva 2005). Estas condiciones

se repiten en IT y generan condiciones apropiadas para los Tetragnathidae, explicando la mayor abundancia de este grupo en relación a IC, donde los suelos están descubiertos y más secos. El incremento de individuos de Tetragnathidae en IT puede deberse también, por un lado, al desmalezado manual que favorece que los mismos salten de sus telas aumentando la probabilidad que caigan en las trampas, y por el otro, porque los machos, cuando alcanzan la madurez sexual, abandonan sus telas para ir en busca de las hembras (Pérez de la Cruz y de la Cruz Pérez 2005), lo que aumenta la posibilidad de caer en las trampas. Esta podría ser la causa de que la mayor proporción de individuos de la familia Tetragnathidae capturados fueron machos.

Los Hahnidae son constructoras de telas laminares tipo sábana delicadas y pequeñas sin refugio y comúnmente asociada a los terrones de tierra. Los Hahnidae fueron más abundantes en IC, esto podría explicarse por una posible competencia intragremio con los Linyphiidae ya que son de tamaño similar, construyen telas similares y estarían compitiendo por el sitio de anclaje de las mismas y de las presas. Los Linyphiidae fueron menos abundantes en IC, por sus hábitos deambuladores estarían más expuestos a los químicos, lo que provocaría un descenso en su número poblacional, por lo que los Hahnidae estarían siendo beneficiados con respecto a los sitios libres para anclar sus telas.

En el gremio de las cazadoras se destacaron por su abundancia las familias Lycosidae, Corinnidae y Anyphaenidae. Los representantes de las familias Lycosidae y Corinnidae son habitantes en general del suelo y estratos inferiores de la vegetación. Por presentar hábitos nocturnos estarían menos expuestos a los agroquímicos que son aplicados durante el día y podrían desplazarse con menor probabilidad de ser afectadas en IC durante la búsqueda de su presa. Los Lycosidae son el grupo de arañas errantes mejor representados, corredoras en suelo, son activas, no construyen telas para cazar y utilizan la tela para revestir sus refugios y construir ootecas que son transportada por la hembra en sus hileras, los juveniles son llevados en el dorso de la madre durante un tiempo. Es frecuente encontrarlas bajo pequeñas rocas especialmente donde existe humedad alta, mimetizándose con el terreno de los invernáculos, ya que estos poseen gran porcentaje de suelo descubierto. También, el alto grado de humedad generada por el riego permanente, le estarían proporcionando condiciones favorables para su permanencia dentro de los invernáculos. En olivares de España Morris *et al.* (1999), encontraron el año más seco tres veces menos individuos que en los húmedos. Por pertenecer al grupo que tienen dispersión terrestre, son arañas deambuladoras que cazan al asecho capturando gran diversidad de presas. Estas arañas son importantes consumidores de insectos (Nyffeler y Benz 1988) pero podrían sobrevivir en un medio donde la oferta de presas es baja y poco diversa (Morris

et al. 1999) como ocurre en el comienzo de los cultivos y después de la cosecha. Su mayor abundancia en IT estaría dada por una mayor oferta de alimento, además de las condiciones ambientales favorables. Los Corinnidae también son cazadores activos asociados al suelo entre los estratos inferiores de la vegetación y los terrones de tierra, presentan coloración mimética parda o negra. Este grupo no presentó diferencias significativas entre tratamientos. Los Anyphaenidae son deambuladores que no tejen tela para cazar sino que capturan a sus presas desplazándose por el sustrato o el follaje con el que suelen mimetizarse. Además, por ser de hábitos diurnos se encuentran más expuestos a la aplicación directa de los agroquímicos, característica que podría explicar el menor número de individuos en IC. Morris *et al.* (1999) hacen mención del efecto negativo del uso de pesticidas, en especial en aquellas familias que cazan activamente, ya que estarían expuestas directamente a estos.

Los estudios realizados por Kromp y Steimberg (1992) y Altieri (1992), sobre los bordes con vegetación natural señalan la influencia que estos tienen en relación a la presencia de enemigos naturales hacia el interior del cultivo. Nuestros datos, coincidentemente con éstos autores, están indicando que existe una intensa actividad de las especies mejor representadas. La existencia de un efecto borde en relación al centro del invernáculo se observó claramente en IT, donde el número de individuos fue mayor que en el centro del invernáculo. Esta diferencia estaría reflejando la importancia de dejar vegetación arvense, en los bordes, además de la influencia que podría tener la migración desde fuera al levantar los plásticos del invernáculo para su ventilación. Esta situación estaría evidenciando la inmigración de las arañas hacia el interior de sistemas de cultivo desde un ambiente poco disturbado (bordes externos e internos), que mantiene y/o proporciona un "stock" de nuevos individuos al invernáculo de forma continua. Esto no ocurre en IC, donde el uso de herbicidas e insecticidas disminuye la probabilidad de dicho efecto. La conservación de borduras menos disturbadas en los invernáculos, como reaseguro de la presencia de estos grupos funcionales muestra la factibilidad de pensar en estrategias de rediseño de los agroecosistemas, de manera de generar las condiciones mínimas para refugio y permanencia de los predadores dentro del sistema.

Algunas consideraciones

El análisis de los resultados de este trabajo muestra por un lado la necesidad de incrementar los conocimientos sobre el comportamiento de las arañas en los agroecosistemas, y por el otro, la influencia de las prácticas de manejo y las condiciones microambientales sobre la presencia o ausencia de las mismas.

La disminución en la aplicación de agroquímicos y el aumento de la agrobiodiversidad, son aspectos fundamentales a tener en cuenta si se pretende alcanzar la auto-

rregulación biótica de los agroecosistemas. Medidas tales como restringir el uso de agroquímicos solo a periodos cruciales del ciclo de vida de las especies plagas, evitando fumigar en horas en que las arañas están más activas y en lugares donde las arañas se refugian, minimizarían el riesgo y mantendrían las poblaciones de enemigos naturales polífagos. Estas precauciones podrían ayudar a conservar el número y diversidad de arañas en los agroecosistemas. Mantener montículos de residuos vegetales entre surcos como así también la presencia de vegetación espontánea, provee una complejidad de estructuras de hábitat y refugios para las arañas. Adoptar medidas de manejo en los sistemas de producción hortícola más agroecológicas, estaría favoreciendo el incremento y permanencia de las mismas, aportando en la estabilidad y capacidad de resiliencia de los sistemas productivos.

Agradecimientos

A los productores hortícolas de Arana por su buena predisposición para la realización del muestreo. A la ingeniera agrónoma Claudia Flores y a Jorge A. Barneche, por su ayuda en un comienzo con la determinación de las arañas.

Referencias

- Aguilera MA, Casanueva ME. 2005. Arañas Chilenas: Estado Actual del Conocimiento y Clave Para las Familias de Araneomorphae. *Guayana* 69(2): 201-224.
- Alessandria E, Leguia H, Sanchez J, Zamar JL, Pietrarelli L, Arborno M, 2006. Proceso de transición hacia una agricultura extensiva sustentable en el centro de la Provincia de Córdoba (Argentina). *LEISA, Revista de Agroecología* 22 (2): 30-33.
- Altieri MA. 1992. Biodiversidad, agroecología y manejo de plagas. CETAL (Centro de Estudios de Tecnologías Apropriadas para América Latina y el Caribe). Chile.
- Altieri MA. 1994. Biodiversity and pest management in agroecosystems. New Cork: Haworth Press.
- Altieri MA, Nicholls CI. 2007. Conversión agroecológica de sistemas convencionales de producción: teoría, estrategias y evaluación. *Ecosistemas* 16(1): 3-12
- Andrewartha HG, Birch LC. 1986. *The ecological web: More on the Distribution and Abundance of Animals*. Chicago: Chicago University Press. 506 pp.
- Asteraky EJ, Hart BJ, Ings TC, Manley WJ. 2004. Factors influencing the plant and invertebrate diversity of arable field margins. *Agriculture ecosystems and Environment* 102: 219-231.
- Benamú MA. 1999. Estudio preliminar de la araneofauna presente en mandarina cultivada en Vitarte, Lima, Peru. *Rev. Per. Ent.* 41: 154-157.
- Benamú MA, Aguilar PG. 2001. Araneofauna presente en huertos de manzano del Valle de Mala, Lima, Perú. *Rev. Per. Ent.* 42: 199-210.
- Benencia R, Quaranta, G. 2004. Producción, trabajo y nacionalidad: configuraciones territoriales de la producción hortícola del cinturón verde bonaerense. *Revista Interdisciplinaria de Estudios Sociales Agrarios*, Nº 23.
- Cabrera AL, Zardini EM. 1978. *Manual de la flora de los alrededores de Buenos Aires*. 2º Edición. Buenos Aires: ACME.
- Cattáneo C, Fernández R. 1997. Rol del entrepreneur hortícola en los cambios operados en la estructura productiva del área hortícola bonaerense. En: *Área hortícola Bonaerense. Cambios en la producción y su incidencia en los sectores sociales* (Benencia R, coord.). Buenos Aires: La Colmena, 107-121 pp.
- Censo Hortiflorícola (Provincia de Buenos Aires). 2005. Gobierno de la Provincia de Buenos Aires. Dirección Provincial de Estadística (Ministerio de Economía). Dirección Provincial de Economía Rural. Ministerio de Asuntos Agrarios.
- Cole LJ, McCracken DI, Downie IS, Dennis P, Foster GN, Waterhouse T, Murphy KJ, Griffin AL, Kennedy MP. 2005. Comparing the Effects of Farming Practices on Ground Beetle (Coleoptera: Carabidae) and Spider (Araneae) Assemblages of Scottish farmland. *Biodiversity and Conservation* 14: 441-460.
- Dennis P, Thomas MB, Sotherton NW. 1994. Structural features of field boundaries which influence the overwintering densities of beneficial arthropod. *Journal of Applied Ecology* 31: 361-370.
- Edwards CA. 1991. The assessment of populations of soil-inhabiting invertebrates. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 34: 145-176.
- Edwards CA, Sunderland KD, George KS. 1979. Studies on polyphagous predators of cereal aphids. *Journal of Applied Ecology*. 16: 811-823.
- Foelix FR. 1996. *Biology of spiders*. New York. Oxford, Oxford University.
- Fournier E, Loreau M. 2001. Respective roles of recent hedges and forest patch remnants in the maintenance of ground- beetle (Coleoptera: Carabidae) diversity in an agricultural landscape. *Landscape Ecology* 16 Pp. 17- 32.
- Gliessman SR. 2000. *Agroecología. Processos ecológicos em agricultura sustentable*. Segunda Edición. Editora da Universidade (Universidade Federal da Rio Grande do Sul) Pp: 653.
- Greco NM, Sánchez NE, Pereira PC. 2002. Principios de manejo de plagas en una agricultura sustentable. En *Agroecología: El camino hacia una agricultura sustentable* (Sarandón SJ, ed.). La Plata: Ediciones Científicas Americanas, 251-274 pp.
- Jarosik V. 1992. Pitfall trapping and species-abundance relationships: a value for carabid beetles (Coleop-

- tera, Carabidae). Acta Entomol. Bohemoslov 89: 1-12. Journal of Science 28(5): 261-268.
- Kromp B, Steinberger KH. 1992. Grassy field margins and arthropod diversity: a case study on ground beetles and spiders in eastern Austria (Coleoptera: arabidae; Arachnidae: Aranei, Opiliones). Biotic diversity in agroecosystems. Agriculture, Ecosystems and Environment 40: 1-4.
- Kross S, Schaefer M. 1998. The effect of different farming systems on epigeic arthropods: a five-year study on the rove beetle fauna (Coleoptera: Staphylinidae) of winter wheat. Agriculture, Ecosystems and Environment 69: 121-133.
- Lang A. 2003. Intraguild Interference and Biocontrol Effects of Generalist Predators in a Winter Wheat Field. Oecologia 134: 144-153.
- Lietti M, Gamundi JC, Montero G, Molinari A, Bulacio V. 2008. Efecto de dos sistemas de labranza sobre la abundancia de artrópodos que habitan en el suelo. Asociación Argentina de Ecología. Ecología Austral 18: 71-87.
- Lijestrom G, Minervino E, Castro D, González A. 2002. La Comunidad de Arañas del Cultivo de Soja en la Provincia de Buenos Aires, Argentina. Neotropical Entomology 31(2): 197-210.
- Marasas M, Sarandón S, Cicchino A. 2010. Semi-natural habitats and field margins in a typical agroecosystem of the Argentinean pampas as a reservoir of carabid beetles. Journal of Sustainable Agriculture, 34:1-16.
- Morris T, Symondson WOC, Kidd NAC, Campos M. 1999. Las arañas y su incidencia sobre *Prays oleae* en el olivar. Bol. Veg. Plagas, 25: 475-489.
- Nyeffeler M, Benz G. 1988. Feeding ecology and predatory importance of wolf spiders (*Pardosa* sp) (Araneae, Lycosidae) in winter wheat fields. J. Appl. Entomol. 106: 123-124.
- Paleologos MF, Flores CC, Sarandon SJ, Stupino SA, Bonicatto MM. 2008. Abundancia y diversidad de la entomofauna asociada a ambientes seminaturales en fincas hortícolas de La Plata, Buenos Aires, Argentina. Rev. Bras. de Agroecología. 3(1): 28-40.
- Pérez D, Rodolfi I. 1998. Las Arañas (Arachnida: Araneae) como controladores biológicos en camote (*Ipomoea batatas* Lam.) cultivado en la costa central del Perú. Ecología, Revista de la Asociación Peruana de Ecología 1(1): 59-64.
- Pérez de la Cruz M, De la Cruz Pérez A. 2005. Diversidad de Teridiidos (Araneae: Theridiidae) en cuatro asociaciones florísticas, en el Ejido "Las Delicias" en Teapa, sureste de México. Universidad y Ciencia 21: 41-44.
- Pérez de la Cruz M, Sánchez-Soto S, Ortiz-García CF, Zapata-Mata R, De la Cruz-Pérez A. 2007. Diversidad de insectos capturados por arañas tejedoras (Arácnida: Araneae) en agroecosistema Cacao en Tabasco, México. Neotropical Entomology 36(1): 090-101.
- Porcuna JL. 2007. Producción integrada. Una estrategia de transito hacia sistemas mas sostenibles. Ecosistemas 16(1): 37-43.
- Rypstra AL, Carter PE, Balfour RA, Marshall SD. 1999. Architectural features of agricultural habitats and their impact on the spider inhabitants. The Journal of Arachnology 27:371-377
- Saavedra de CE, Florez DE, Fernández HC. 2007. Capacidad de Depredación y Comportamiento de Alpaida (*Araneae: Araneidae*) en Cultivo de Arroz. Revista Colombiana de Entomología 33(1): 74-76.
- Sarandón SJ. 2002. Agroecología: El camino hacia una agricultura sustentable. (Sarandón SJ, ed.). , La Plata: Ediciones Científicas Americanas.
- Swift MJ, Izac A-MN, Noordwijk M van. 2004. Biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes- are we asking the right questions? Agriculture Ecosystems and Environmental 104: 113-134.
- Sotherton NW. 1985. The distributions and abundance of predatory coleoptera overwintering in field boundaries. Annals of Applied Biology. 106: 17-21.
- Thomas MB, Marshall EJP. 1999. Arthropod abundance and diversity in differently vegetable margins of arable fields. Agriculture, Ecosystems and Environment 72: 131-144.
- Thiele HU. 1977. Carabid Beetles in their environments. Berlin. New York: Springer-Verlag.
- Uetz GW, Halaj J, Cady AB. 1999. Guild Structure of Spider in Major Crops. The Journal of Arachnology 27:270-280.
- Yaisys Blanco, Leyva A. 2007. Revisión bibliográfica. Las arvenses en el agroecosistema y sus beneficios agroecológicos como hospedadores de enemigos naturales. Cultivos Tropicales 28(2): 21-28.

COMPLEJIDAD ECOLÓGICA Y EL CONTROL DE PLAGAS EN UN CAFETAL ORGÁNICO: DEVELANDO UN SERVICIO ECOSISTÉMICO AUTÓNOMO¹

Ivette Perfecto¹, John Vandermeer^{1,2}, Stacy M. Philpott³

¹School of Natural Resources and Environment, University of Michigan, Ann Arbor, MI 48109; ²Department of Ecology and Evolutionary Biology, University of Michigan, Ann Arbor, MI 48109; ³Department of Environmental Studies, University of Toledo, Toledo, OH. E-mail: perfecto@umich.edu

Resumen

Los que practican la agricultura orgánica o la agricultura tradicional perciben que la biodiversidad que se encuentra en sus fincas ofrece servicios ecosistémicos que contribuyen a la estabilidad, productividad y sostenibilidad de sus sistemas. Sin embargo, por su complejidad, las interacciones ecológicas en sistemas muy diversos son muy difíciles de discernir empíricamente, en especial cuando están embebidas en redes complejas. La ciencia de la complejidad nos ofrece una nueva plataforma para discernir esas interacciones ecológicas complejas y sus consecuencias para los sistemas agroecológicos. Estudios recientes que incorporan elementos de estructura de redes complejas, no-linearidades, estocasticidad y, en particular, una dimensión espacial, revelan sistemas ecológicos que persisten y que generan servicios ecosistémicos como resultado de las interacciones ecológicas. En este artículo, describimos nuestras investigaciones teóricas y empíricas de una red compleja de interacciones que tiene un efecto en por lo menos tres plagas de café, la broca, la escama verde (cochinilla o quereza) y la roya.

Palabras claves: Control biológico, agroecología, sistemas tradicionales, *Azteca instabilis*, especie clave, café de sombra, complejidad ecológica, dimensión espacial

Summary

Ecological Complexity and Pest Control in Organic Coffee Production: Uncovering an Autonomous Ecosystem Service

Those who practice organic or traditional agriculture have the sense that the biodiversity within their farms offers ecosystem services that contribute to the stability, productivity and sustainability of their systems. However, due to their complexity, ecological interactions are very difficult to tease out empirically, especially when these interactions are embedded in complex networks. The science of complexity offers a new platform to help us tease out those complex interactions and their consequences for agroecosystems. Recent studies that incorporate complex networks, non-linearities, stochasticity and, in particular, an added spatial dimension, reveal persistent ecological systems that generate ecosystem services as a result of ecological interactions. Here we describe our theoretical and empirical research of a complex interaction network that has an effect on at least four coffee pests, the coffee berry borer, the green coffee scale, the coffee rust and the coffee leafminer.

Keywords: Biological control, agroecology, traditional systems, *Azteca instabilis*, keystone species, shaded coffee, ecological complexity, spatial dimension

Introducción 1

Los proponentes de la agroecología y la agricultura sostenible promueven la idea de que la naturaleza, en particular

la biodiversidad, contribuye a mantener el sistema en equilibrio. Tanto los campesinos indígenas en América Latina como los pequeños agricultores orgánicos en los Estados Unidos y Europa tienen el sentido de que la diversidad en sus fincas provee servicios ecosistémicos que contribuyen a la estabilidad, productividad y sostenibilidad de sus fincas. Pero frecuentemente, los proponentes de la agricultura industrial califican esta visión de anti-científica, romántica e

1 Este artículo está adaptado del artículo publicado por los autores: Vandermeer J, Perfecto I, Philpott SM. 2010. Ecological complexity and pest control in organic coffee production: Uncovering an autonomous ecosystem service. *Bioscience*.

ingenua y en algunos casos, acusan a los promotores de la agroecología y la agricultura orgánica de amenazar contra el progreso tecnológico que, según ellos, es la única esperanza de poder alimentar la creciente población del mundo. La finca, según ellos, no es un ambiente que debe ser cuidado por ambientalistas y agricultores románticos, sino un campo de batalla, repleto de enemigos (las plagas), a los cuales hay que aniquilar con los armamentos más sofisticados que tengamos a nuestro alcance (o sea, plaguicidas) (Russell 2001). En los años de la post guerra, la solución tipo “bala mágica” se convirtió en el *sine qua non* de la agricultura industrial. Aunque hoy día las estrategias de la agricultura industrial son un poco más sofisticadas (agricultura de precisión, transgénicos, nanotecnologías), las soluciones rápidas basadas en alta tecnología y capital, siguen siendo el enfoque de los programas de investigación en los centros de investigación agrícola. Los que cuestionamos este enfoque de *technological fixes* somos catalogados de “agricultores intelectuales” con agendas ideológicas y sin preocupación por el bienestar de los productores ni por la gente que no tiene suficiente alimento para comer (Evans *et al.* 2002, Hendrix 2007), o como ambientalistas ingenuos que no nos percatamos de la devastación que pueden causar las plagas, ni de la necesidad de emplear plaguicidas para combatirlos. Pero a pesar de las críticas, muchos pequeños agricultores insisten en la idea de que la biodiversidad provee servicios ecosistémicos, y que para poder tomar ventaja de estos servicios hace falta conservar la biodiversidad dentro y en los alrededores de los sistemas agrícolas. De hecho, esta idea se ha ido consolidando entre agroecólogos y agricultores que practican la agricultura ecológica (Altieri y Nicholls 2004). Poco a poco se ha ido acumulando evidencia empírica y teórica que apoya la idea de que la biodiversidad contribuye al control de plagas (Andow 1991, Marc y Cannard 1997, Altieri 1999, Wilby y Thomas 2002, Benton *et al.* 2003, Cardinale *et al.* 2003, Gurr *et al.* 2003, Bianchi *et al.* 2006), aunque la idea de que la biodiversidad siempre contribuye al funcionamiento de los ecosistemas es todavía ampliamente debatida entre ecólogos (Huston y McBride 2002, Lambers *et al.* 2004, Fitter *et al.* 2005, Thompson *et al.* 2005, Cardinale *et al.* 2006).

En este artículo presentamos los resultados de más de una década de estudios científicos ecológicos en una finca orgánica de café en la región del Soconusco del estado de Chiapas en México. El estudio de la dinámica ecológica de un grupo de especies de artrópodos asociados con plagas de café corroboran la idea de que la biodiversidad contribuye a la reducción de plagas de café (Vandermeer *et al.* 2010). Mediante una combinación de censos en el campo, experimentos en el campo y en el laboratorio, y varios tipos de modelación, hemos descubierto un sistema ecológico complejo cuyas interacciones regulan varias plagas potenciales de café. A esta auto-regulación (o control endógeno) lo llamamos “control autónomo de plagas” ya que el control emerge de las interacciones internas del sistema, sin manipulación externa. El sistema consiste de, por lo menos, trece

componentes (artrópodos y hongos), seis procesos ecológicos (competencia, depredación, parasitismo, hiperparasitismo, mutualismo, enfermedad), muchas no linealidades sutiles pero definitivas, y una dinámica especial. Nuestra conclusión es que este sistema complejo crea una especie de amortiguamiento contra brotes extremos de plagas y enfermedades, contribuyendo de esta forma a la productividad y sostenibilidad del cafetal. La forma en que opera este sistema no es ni obvia y evidente a simple vista. Por el contrario, incorpora varias conexiones dinámicas muy complicadas que a veces resultan en un comportamiento sorpresivo. Sin embargo, parece promover la regulación de plagas mediante procesos endógenos al sistema.

Este ejemplo nos permite concluir que la percepción de muchos campesinos tradicionales sobre el funcionamiento de la biodiversidad en sus cafetales no debe ser catalogada ciegamente de romanticismo anticientífico, sino, por el contrario, parece ser que esta idea tiene un fundamento científico sólido, aunque de difícil detección.

Las plagas potenciales: roya, broca, escama verde, y minador

La primera plaga que nos concierne es la roya del café (*Hemileia vastatrix*). Su historia parece haber sido sacada de un cuento de horror (McCook 2006). Cuando los europeos ocuparon Sri Lanka, en aquel entonces llamada Ceylon, establecieron grandes plantaciones de café para exportar a Europa. Primero los holandeses y luego los ingleses generaron grandes riquezas de la producción de café en Sri Lanka. Tal era la ganancia del café que rápidamente evolucionó un modelo económico totalmente dependiente en la exportación de este rublo. Pero esta fuente de oro verde no habría de durar por siempre, y en 1869 la cosecha de café fue devastada por una enfermedad que se extendió rápidamente por toda la producción de la colonia y el resto de Asia del sur; esta enfermedad fue la roya del café (Fig. 1) (McCook 2006). Tan devastador fue el efecto de la roya en Sri Lanka que en tan solo pocos años la producción de café fue abandonada en toda la isla. Es por eso que hoy bebemos té de Sri Lanka y no café.



Figura 1. Hojas de café infectadas con roya.

La segunda parte del cuento de la roya de café se desarrolla en el continente americano. Dado que su efecto fue tan devastador en Sri Lanka (y luego en Java, Sumatra e India), los europeos tuvieron especial cuidado de no introducir la roya cuando introdujeron el café a Las Américas (Fulton 1984). Aunque por muchos años la producción de café en el continente estuvo libre de roya, el pánico cundió entre los productores cuando se detectó por primera vez en Brasil en 1970, y poco después en Centro América y el Caribe. Pronto se establecieron métodos fitosanitarios para el control de la roya, y se desarrollaron variedades resistentes. Algunos de los métodos de control recomendados tenían muy pocos fundamentos científicos, como por ejemplo, la reducción de los niveles de sombra. Sin embargo el tiempo demostró que en América el efecto de la enfermedad no sería tan devastador como en Asia. Aún en plantaciones muy remotas y aisladas, donde no se introdujeron las nuevas variedades resistentes y donde el cultivo de café se mantuvo con altos niveles de sombra, la enfermedad no destruyó la cosecha. ¿Por qué la roya ha persistido en América, sin adquirir las proporciones devastadoras que caracterizaron el periodo post introducción en Asia (Avelino *et. al.* 2004)? A esta pregunta regresaremos mas tarde.

La segunda plaga potencial, la broca (*Hypothenemus hampei*), es de más reciente introducción. La broca del café es un pequeño escarabajo curculiónido especialista en café y originario de África. Las hembras excavan un hueco en el fruto y dañan la semilla (Fig. 2) causando pérdidas económicas en todas las regiones donde se produce café (Damon 2000). Sin embargo, aunque este insecto tiene el potencial de causar grandes pérdidas económicas, no siempre es así. Además de las prácticas culturales que ayudan a controlar esta plaga, se han reportados varios enemigos naturales de la broca, incluyendo un thrip, parasitoides y varias especies de hormigas (Vega *et al.* 2009). En la finca que hemos estado estudiando por varios años, este insecto esta distribuido por toda la plantación.



Figura 2. Fruto de café con daño y con un adulto de la broca (*Hypothenemus hampei*).

La tercera plaga potencial es más bien una plaga esporádica que surge como plaga solamente bajo ciertas condiciones. La escama verde del café (*Coccus viridis*), o cochinilla, o queresa (Fig. 3), es muy común en plantas ornamentales y en cítricos, además de café (Bess 1958). Esta plaga tiene una amplia distribución geográfica, y en ocasiones puede causar pérdidas económicas en café (Young 1982). En la finca que estudiamos la escama verde alcanza grandes densidades solamente cuando está asociada a las hormigas (Vandermeer y Perfecto 2006).



Figura 3. Planta de café infectada con la escama verde (*Coccus viridis*).

La cuarta y última plaga que consideraremos en este artículo es el minador de la hoja del café (*Leucoptera coffeella*) (Fig. 4). Este lepidóptero, más que una plaga generalizada, está asociada a ciertas prácticas de manejo como la eliminación de la sombra (Lomeli-Flores *et al.* 2009) y la aplicación de plaguicidas (Fragoso *et al.* 2002). En la finca que hemos estado estudiando el daño de este lepidóptero ha ido en aumento, aunque todavía está en muy baja densidad.



Figura 4. Daño ocasionado por el minador de la hoja de café (*Leucoptera coffeella*).

Estas cuatro "plagas" tienen el potencial de causar daños devastadores a la producción de café, como pasó en Sri Lanka con la roya. Sin embargo, eso no ha pasado. Algo sobre la ecología del sistema evita que estas plagas potenciales se conviertan en plagas devastadoras. Nuestras investigaciones en los últimos 13 años nos llevan a formular la hipótesis que una red ecológica compleja resulta en el control parcial de estas plagas. En otras palabras, de estas interacciones emerge un servicio ecosistémico al que llamamos control de plaga "autónomo" o "endógeno."

La dinámica especial

La hormiga *Azteca instabilis* (Fig. 5), tiene una amplia distribución geográfica en el trópico americano. A diferencia de las especies que se asocian con los árboles de *Cecropia*, esta especie no se especializa en ninguna especie de árbol en particular. Por el contrario, parece ser capaz de anidar en casi cualquier árbol que tenga una pequeña cavidad, incluyendo, arbustos de café. En ocasiones, cuando la colonia crece mucho y la cavidad del árbol no es tan grande, *Azteca* construye un nido de cartón a medida de ampliación de su nido.



Figura 5. Obreras de *Azteca instabilis* en el tronco de una planta de café.

Para estudiar la distribución especial de *Azteca* en cafetales con sombra, establecimos una parcela de 45 hectáreas en una finca orgánica de café en la región del Soconusco del estado de Chiapas, México. En esta parcela, identificamos y mapeamos todos los árboles de sombra (mayores de 10 cm de circunferencia) y determinamos visualmente si el árbol tenía o no un nido de *Azteca*. La distribución especial de los nidos de *Azteca* en esta parcela resultó ser agrupada (Fig. 6a), a pesar de que los árboles de sombra tienen una distribución uniforme como consecuencia de ser sembrados (Fig. 6b).

En otro artículo (Vandermeer *et al.* 2008) hemos argumentado que la distribución agrupada de *Azteca* es auto-organizada y emerge de las interacciones ecológicas, o sea factores endógenos al sistema, y no de factores exógenos (como condiciones edáficas, o la distribución de los árboles donde *Azteca* puede anidar).

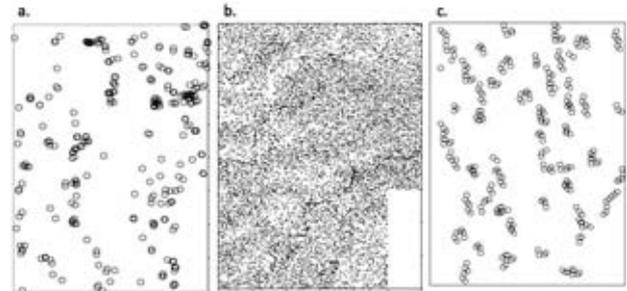


Figura 6. Mapa de la distribución espacial de los árboles de sombra y de *Azteca instabilis* en una parcela de 45 hectáreas en un cafetal orgánico en Chiapas, México; a: distribución espacial de nidos de *Azteca instabilis*; b: distribución espacial de todos los árboles de sombra con circunferencia de más de 10 centímetros en circunferencia; c: distribución hipotética con una tendencia central (simulando una distribución al azar).

La existencia de un patrón auto-organizado está fuertemente apoyada por la distribución de los tamaños de las agrupaciones de nidos, la cual es una distribución de poder, en lugar de tener una tendencia central (Fig. 6c). Pascual y Guichard (2005) han argumentado que la función de poder es una buena evidencia de auto-organización. De ser así, cabe preguntarse cuáles son las interacciones que producen estas agrupaciones. Varios estudios teóricos han demostrado que cuando una fuerza específica que causa expansión local se acopla con un efecto negativo denso-dependiente, se puede esperar el tipo de distribución agrupada que documentamos para *Azteca* (Alonso *et al.* 2002, Pascual *et al.* 2002). Este resultado dinámico refleja la perspicacia de Alan Turing (1952), quien demostró que en un medio homogéneo, la reacción química de un activador y un represor que se difunden a diferentes tasas, pueden generar patrones muy definidos. Varios modelos ecológicos tienen resultados similares (Alonso *et al.* 2002, Pascual *et al.* 2002). Siguiendo esta tradición, construimos un modelo de autómatas celulares para describir la formación de las agrupaciones de *Azteca*. Comenzamos asumiendo un espacio abstracto homogéneo dividido en forma de cuadrícula con celdas que podrían o no ser ocupadas por nidos de *Azteca* de acuerdo con reglas muy sencillas. Primero, cada celda que no tiene un nido de *Azteca*, recibe un nido con una probabilidad basada en la ocupación de las 8 celdas que la rodean (el vecindario de Moore). Esta regla refleja el hecho que esta especie es propensa a la expansión mediante "budding" (establecimiento de un nuevo nido a partir de uno existente). Segundo, cada celda que tiene un nido, pierde este nido con una probabilidad basada en la ocupación de las 8

celdas que la rodean. Esta regla asume la existencia de un antagonista (o enemigo natural) que tiene una relación denso-dependiente. En resumen, construimos una abstracción que imita la expansión local de los nidos de *Azteca* y le añadimos una fuerza que causa la desaparición de nidos basado en su abundancia local. Este modelo frecuentemente genera una distribución espacial donde los tamaños de las agrupaciones de nidos siguen una relación de poder (Vandermeer *et al.* 2008).

El modelo refleja la realidad de la expansión de los nidos de *Azteca* mediante el "budding," o sea, cuando una de las reinas sale de un nido con un grupo de obreras y establece otra colonia en un árbol vecino al nido original. Evidentemente este es el componente de expansión de la auto-organización del sistema. Sin embargo, si éste es el único proceso, el resultado inevitable será la eventual ocupación de todos los árboles de sombra con nidos de *Azteca*. Obviamente esto no es lo único que sucede ya que menos del cuatro por ciento de los árboles en la parcela tenían nidos de *Azteca* cuando se comenzó el estudio (de aproximadamente 11,000 árboles, unos 400 tenían nidos). Esto significa que debe haber algún factor (similar el "represor" de Turing) que está controlando los nidos de *Azteca* y según nuestro modelo, este factor debe de ser denso-dependiente. Una de las fuerzas negativas claves que opera en nuestro sistema es una mosca parasítica en la familia Phoridae y el género *Pseudacteon*, que ataca a *Azteca*. Este fórido pone un huevo en la base de la cabeza de las obreras de *Azteca*. Cuando la larva emerge, se introduce en la cabeza de la hormiga y se alimenta del contenido encefálico del insecto hasta pupar. Cuando la mosca adulta esta lista para emerger, la cabeza de la hormiga se desprende de su cuerpo y la mosca adulta emerge de la capsula cefálica de la hormiga, ganándose el nombre mosca decapitadora (Philpott *et al.* 2009). Mediante censos extensivos en toda la parcela hemos determinado que los fóridos atacan a las *Azteca* en una forma denso-dependiente. O sea, mientras mayor es la agrupación de nidos de *Azteca*, mayor es el ataque de los fóridos (Vandermeer *et al.* 2008, Philpott *et al.* 2009). Este es precisamente el tipo de proceso que se espera genere un patrón auto-organizado. Por un lado tenemos la expansión de los nidos de *Azteca* formando agrupaciones cada vez más grandes (con más nidos), y por otro tenemos un antagonista (el fórido) que ataca más las colonias de *Azteca* que están en agrupaciones con altas densidades de nidos.

La escama verde

Una consecuencia de esta dinámica espacial es un patrón espacial específico, como mencionamos anteriormente (Fig. 6a). Interesantemente, este patrón parece ser un requisito para el mantenimiento de uno de los enemigos naturales más importantes de una de las plagas potenciales de café, la escama verde. El cocciné-

lido, *Azya orbigera* (Fig. 7a, b), es un depredador importante de esta plaga y potencialmente, una de las razones que este insecto rara vez alcanza el nivel de daño económico. Los adultos de *A. orbigera* vuelan por la finca comiendo las escamas que puedan encontrar. Mediante estudios con olfactómetros hemos descubierto que los adultos de *A. orbigera* pueden detectar hojas de café con escamas, ya sea porque detectan algunas feromonas que liberan las escamas o los compuestos volátiles que liberan las hojas de café cuando están atacadas por escamas (Vandermeer *et al.* 2010). Los coccinélidos también pueden detectar las feromonas de las hormigas y posiblemente usan estas para encontrar sitios para ovipositar (Hsieh, datos no publicados). Las larvas del coccinélido son severamente atacadas por varios parasitoides (al menos dos Eulophidae y un Encirtidae). Las tasas de parasitización de la larva son tan altas que se puede concluir que este depredador no puede sobrevivir en los cafetales. Sin embargo, es bastante común y parece ser el principal regulador de las poblaciones de la escama verde. ¿Cómo es esto posible?

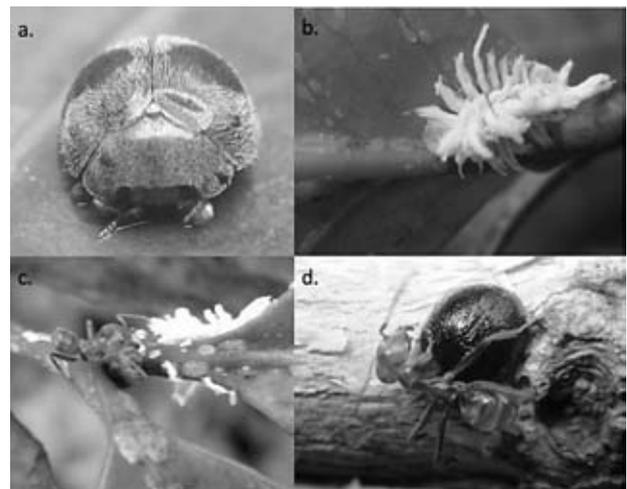


Figura 7. Fotografías de *Azya orbigera*; a: adulto; b: larva comiendo escamas (nótese los filamentos de cera que protegen a la larva de las hormigas; c: *Azteca instabilis* tratando fallidamente de matar una larva de *A. orbigera*; d: *A. instabilis* atacando un adulto *A. orbigera*.

Esta paradoja se resuelve cuando examinamos las consecuencias del patrón espacial de *A. instabilis* sobre el coccinélido. Recordemos que el patrón se caracteriza por agrupaciones de nidos de *Azteca* (Fig. 6a). *Azteca* forma una relación mutualista con la escama verde, típica de las relaciones entre hormigas y hemípteros. *Azteca* se alimenta de la solución azucarada producida por la escama y a cambio, le ofrece protección contra sus enemigos naturales, parasitoides y depredadores, especialmente los adultos de *Azya*. Pero la larva de *Azya* produce unos largos filamentos de cera que la protegen contra las hormigas (Fig. 7b). De esta manera, las larvas de *Azya* pueden estar en sitios con grandes concentraciones de escamas (por la protección contra las hormigas) sin que las *Azte-*

cas puedan matarlas (Fig. 7c). No solamente esto, sino que las hormigas, al proteger las escamas contra parasitoides, también espantan los parasitoides de las larvas de *Azya* (Liere y Perfecto, 2008). O sea que en los parches con *Azteca*, las larvas de *Azya* encuentran hábitats de alta calidad, con mucho alimento (altas concentraciones de escamas) y un refugio contra sus parasitoides. Pero los adultos de *Azya* son atacados ferozmente por las hormigas (Fig. 7d). Irónicamente, los parches de *Azteca* se convierten en suplidores de adultos de *Azya*, los cuales vuelan en el resto del cafetal, donde no hay *Azteca* (aproximadamente el 97% de la finca), y controlan la escama verde. El patrón espacial emergente proporciona espacios con *Azteca*, donde las larvas de *Azya* pueden sobrevivir pero los adultos no (3-5% de la plantación), y espacios sin *Azteca*, donde las larvas son atacadas por parasitoides, pero los adultos sobreviven comiendo las escamas dispersas por la plantación (97-95% de la finca). En otras palabras, la distribución espacial de *Azteca* permite que *Azya orbigera* controle la escama verde en la mayor parte del cafetal. Pero para que este coccinélido persista en la plantación, es necesario el patrón espacial de *Azteca instabilis*.

Reconsiderando la dinámica espacial

Sin lugar a duda, las agrupaciones de *Azteca* crean las condiciones que le permiten al coccinélido persistir en el cafetal. Pero lo que causa el patrón, no es del todo obvio. Anteriormente especulamos que el fórido podría ser el antagonista responsable del patrón observado. Sin embargo, otros factores que actúan de forma denso dependiente también podrían estar causando el patrón o, por lo menos, contribuyendo a su formación. En particular, cualquier enemigo natural de las escamas, las cuales son mutualistas con las hormigas, podría ser el agente represor. *Lecanicillium lecanii*, el hongo de halo blanco (Fig. 8), podría ser dicho agente represor. Esta enfermedad que ataca a la escama verde se encuentra esporádicamente por todo el cafetal pero solo alcanza niveles epizoóticos cuando las escamas están en asociación con *Azteca*, o sea, en los parches con *Azteca*. Por su efecto denso dependiente, *Lecanicillium* también podría ser el agente represor que contribuye a la formación del patrón espacial de *Azteca* (Jackson *et al.* 2009).

Enfatizamos que el efecto del hongo en *Azteca* es indirecto, ya que es a través de su efecto en la escama verde, de la cual la hormiga adquiere la mayor parte de su energía. Pero si argumentamos esto para el hongo, también tenemos que aceptar otros posibles factores que, de igual manera, afectan las escamas verdes de forma denso dependiente, en particular el coccinélido, *Azya*. Irónicamente, si es cierto que *Azya* está implicado en la formación del patrón espacial de *Azteca*, este sería un ejemplo de una situación donde un organismo es responsable por la formación de un patrón espacial el cual es necesario para su sobrevivencia.



Figura 8. La escama verde (*Coccus viridis*) infectada con el hongo *Lecanicillium lecanii*.

La roya

Regresando al tema que motivó el estudio de este sistema, recordamos que la roya tuvo un enorme impacto en la historia, no solo de la industria del café, sino también del imperialismo europeo, ya que tanto el imperio holandés como el británico fueron apoyados por el cultivo del café en Asia, hasta que éste fue devastado por la roya. La roya causó el colapso total del cultivo de café en Ceylon (ahora Sri Lanka), Java, Sumatra, y en partes de India. Dada esta historia, no es sorprendente que la roya sea fuente de gran preocupación para todos los productores de café, aún hoy día.

Desde nuestra perspectiva la pregunta interesante es, ¿por qué la roya no tuvo el mismo efecto devastador en Las Américas? Nuestros estudios sugieren que el sistema complejo de *Azteca* es, al menos parcialmente responsable y el vínculo crítico parece ser el hongo *Lecanicillium*. Resulta que *Lecanicillium lecanii*, el hongo que ataca la escama verde y que alcanza niveles epizoóticos solo cuando la escama está asociada con hormigas, es un antagonista de la roya (Avelino *et al.* 2004) (Fig. 9). La evidencia hasta el momento sugiere que esta interacción tiene un componente espacial asociado a la distribución de las *Aztec*as. Las esporas de *Lecanicillium* permanecen en el suelo en los sitios donde la enfermedad alcanza niveles epizoóticos, o sea, en los parches de *Azteca*. Desde estos *locis* las esporas se dispersan localmente y atacan la roya (Vandermeer *et al.* 2009). Tenemos evidencia que muestra una relación positiva entre la distancia de un evento epizoótico previo y la incidencia de roya en cafetos (Vandermeer *et al.* 2009). Los cafetos más cerca del centro del epizoótico de *Lecanicillium* tienen menor incidencia de roya que los que están más lejos. También, a nivel de la parcela de 45 hectáreas, hay una relación negativa significativa, aunque tenue, entre las agrupaciones de *Azteca* y la incidencia de roya.

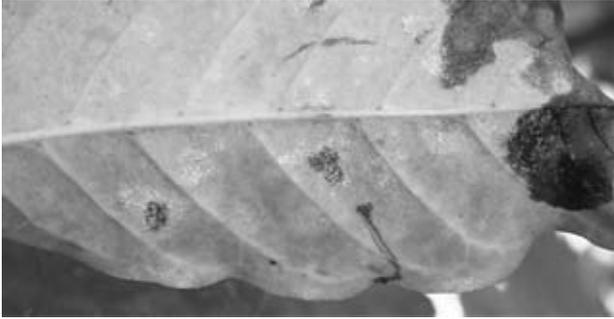


Figura 9. El hongo *Lecanicillium lecanii* atacando a la roya que se está desarrollando en una hoja de café.

Facilitación de *Azteca* por otras hormigas

El proceso de formación de agrupaciones de nidos de *Azteca* se genera a partir de dos fuerzas generales. Primero, las colonias de *Azteca* tienen la tendencia de dividirse y establecer nuevos nidos en árboles de sombra cercanos al nido original. Y segundo, una fuerza negativa, o sea algún enemigo natural de la hormiga o de sus escamas mutualistas, actúa de forma denso-dependiente contra los nidos que están en agrupaciones grandes. Esta fuerza negativa puede estar causada por los fíridos que atacan a las *Aztecas* y reducen su efectividad de forrajeo (Philpott *et al.* 2009), las larvas de coccinélidos que se comen las escamas (Liere y Perfecto 2008), o el hongo *Lecanicillium lecanii*, que causa episodios epizooticos eliminando completamente las escamas a nivel local (Jackson *et al.* 2009). Sea cual sea la causa, cuando esto sucede, la *Azteca* se ve forzada a mover su nido a otro lugar que tenga suficiente escamas para establecer una nueva colonia de escamas que puedan suplir suficiente energía a la colonia. Si la hormiga se mueve a un área que no tiene una colonia establecida de escamas, tendrá que depender de otra fuente de carbohidratos hasta que se desarrolle una colonia de escamas lo suficientemente grande para mantener la colonia de *Azteca* (o sea de miles de escamas). Este proceso puede ser demasiado lento para poder mantener la colonia de *Azteca*. Este dilema se soluciona cuando examinamos lo que pasa con las otras especies de hormigas en el cafetal. Existen por lo menos cinco especies de hormigas que también atienden escamas en los cafetos, pero que no parecen ofrecerles el grado de protección que les ofrece *Azteca* y por lo tanto, las colonias de escamas donde están estas otras hormigas, tienden a ser pequeñas, de unos 50 a 100 individuos. Recordamos que cuando las escamas no están bajo la protección de las hormigas, son atacadas por depredadores (principalmente el adulto de *Azya*) y parasitoides, y es muy raro encontrarlas en los cafetos sin hormigas. Una de las "otras especies de hormigas" que atienden escamas en los cafetos es una *Pheidole* no identificada a la cual llamamos *Pheidole cpt*. Esta especie anida en el suelo pero forrajea en los cafetos y frecuentemente se

encuentra atendiendo concentraciones de escamas de entre 50 y 100 individuos. Nuestros estudios sobre las interacciones entre esta especie y *Azteca* sugieren que *Pheidole cpt* actúa como un facilitador de *Azteca*, manteniendo pequeñas concentraciones de escamas que pueden ser acaparadas por *Azteca* cuando ésta está en busca de un nuevo sitio para establecer su nido.

Dada la importancia potencial de esta especie en la formación del patrón espacial de *Azteca*, es útil considerar sus efectos en otros componentes del sistema. En particular, el hecho de que esta especie puede forrajear en el suelo y en las plantas, puede darle una ventaja competitiva sobre otras especies que son completamente arbóreas. Cuando *Pheidole cpt* se encuentra forrajeando en un cafeto, rara vez se observan otras especies de hormigas arbóreas. En particular, parecen haber unas cinco a diez especies de hormigas arbóreas que anidan en las ramitas del café, las cuales se ven afectadas por la presencia de *Azteca* y *Pheidole cpt*. Estas ramiteras (hormigas arbóreas que anidan en ramitas) frecuentemente se encuentran en cafetos que no tienen *Azteca* ni *Pheidole cpt*, aunque el efecto negativo de *Azteca* es mayor que el de *Pheidole cpt*. Más importante aún podría ser la presión competitiva de otra especie muy pequeña que anida en el suelo y que tiene una alta densidad de nidos en los cafetales, *Pheidole protensa*. Esta especie no forrajea en los cafetos y, por lo tanto, no puede cuidar escamas. Sin embargo, esta especie puede afectar la formación del patrón espacial de *Azteca* mediante interacciones indirectas a través de su efecto en la distribución de *Pheidole cpt*. O sea, en áreas que tienen una alta densidad de *P. protensa*, *Pheidole cpt* no puede co-existir (al menos no en altas densidades). Si *Pheidole cpt* realmente facilita a *Azteca* proveyéndole de concentraciones locales de escamas, el efecto negativo de *P. protensa* en *Pheidole cpt* puede resultar en un efecto negativo indirecto en *Azteca*. Estas interacciones vinculan, de una forma sutil, a la comunidad de hormigas que anidan en el suelo con la formación del patrón espacial de *Azteca instabilis*. Aunque todavía no conocemos los detalles de estas interacciones, este podría ser un ejemplo de cómo pequeñas interacciones ecológicas, podrían tener grandes consecuencias ecológicas (ej. McCann *et al.*, 1998, Vandermeer y Pascual, 2006).

Azteca y otras hormigas depredadoras de broca y otros herbívoros en café

Cuando pensamos en la relación mutualista entre *Azteca* y la escama verde, tendemos a pensar en el efecto negativo indirecto que tiene *Azteca* en el café. Esto es lo que lleva a algunos caficultores de la zona a reclamar que la solución al problema de la escama verde es la eliminación de la *Azteca*. Sin embargo, como vimos anteriormente, los parches con *Azteca* con responsables por la sobrevivencia y permanencia del coccinélido *Azya*

orbigera, el cual es el principal depredador de la escama verde en las áreas donde no hay *Azteca* (i.e. la mayor parte del cafetal). Si eliminamos la *Azteca* estaremos eliminando el principal control biológico de la escama verde e, irónicamente, podríamos generar un brote de esta plaga. Más importante aún es el efecto que tiene *Azteca* en la broca del café. Como mencionamos anteriormente, la broca es una importante plaga de café en todo el mundo donde se produce este cultivo. Nuestros estudios demuestran que *Azteca* también tiene un efecto negativo en la broca (Perfecto y Vandermeer 2006). Colocando broca en cafetos, tomamos nota en el tiempo que se tardan las hormigas en encontrar la broca y llevarla a su nido, en relación a la actividad de la hormiga en los cafetos. En los cafetos con mayor actividad de *Azteca*, las brocas eran removidas rápidamente, mientras que en los cafetos con muy poca actividad de *Azteca* o sin *Azteca*, las brocas tenían suficiente tiempo de penetrar en el fruto y quedar fuera del alcance de las hormigas. También encontramos una relación negativa significativa entre el número de escamas verdes en un cafeto y el porcentaje de frutos brocados (Perfecto y Vandermeer 2006). Esto hace sentido ya que un alto nivel de escamas verdes es una indicación de una mayor actividad de las *Aztec*as.

Como mencionamos anteriormente, *Azteca* no es la única hormiga que se encuentra en los cafetos. En los cafetales del sur de México existe una gran diversidad de hormigas, algunas exclusivamente arbóreas, otras exclusivamente epigeas, y otras con hábitos mixtos. Durante una década de trabajo en la finca orgánica con sombra en el Soconusco de México hemos encontrado aproximadamente unas 80 especies de hormigas. Hasta ahora conocemos muy poco sobre la historia natural de estas especies, pero recientemente hemos comenzado estudios sobre la comunidad de hormigas y sus interacciones y estamos comenzando a entender el papel que juegan algunas de estas especies como depredadoras de herbívoros (Philpott y Armbrrecht 2006), así como las interacciones de competencia entre las hormigas epigeas, las arbóreas y entre estos dos grupos. Por ejemplo, una de las especies arbóreas dominantes en los cafetos es *Pseudomyrmex simplex*. Esta es una de como diez especies de hormigas comunes que anidan en las ramas secas del café, las ramiteras. Esta especie (así como otras ramiteras) depreda insectos, inclusive la escama verde, la broca y el minador de la hoja (De la Mora *et al.* 2008, Larsen y Philpott 2010). Pero cuando un cafeto está ocupado por *Azteca instabilis* o por *Pheidole ctp*, las ramiteras son raras, presumiblemente por la presión de competencia de estas otras especies. *Pheidole ctp* y otras especies similares (a las que llamamos el "grupo *Pheidole ctp*") tienden a dominar parches grandes de modo que las relaciones entre estas especies, las ramiteras y *Azteca* se puede resumir de la siguiente manera: 1) las *Aztec*as tienen un fuerte mutualismo con las escamas y son do-

minantes dondequiera que ocurren, pero solo ocupan aproximadamente el 3-5% del cafetal; 2) las hormigas que anidan en el suelo y forrajean en los cafetos (el grupo *Pheidole ctp*), facilitan la formación del patrón espacial de *Azteca*, atienden pequeños grupos de escamas y depredan pequeños artrópodos mientras forrajean en los cafetos; 3) las hormigas que anidan y forrajean en el suelo (el grupo *Pheidole protensa*) compiten fuertemente por sitios para anidar entre ellas mismas y contra el grupo de *Pheidole ctp*; 4) las hormigas que anidan en las ramitas del cafeto (las ramiteras; grupo *Pseudomyrmex simplex*), forrajean en los cafetos y compiten entre ellas por sitios de anidar y con el grupo *Pheidole ctp* por presas. Las interacciones entre estas especies (o grupos de especies) y sus consecuencias para el control de las plagas del café están ilustradas en la figura 10.

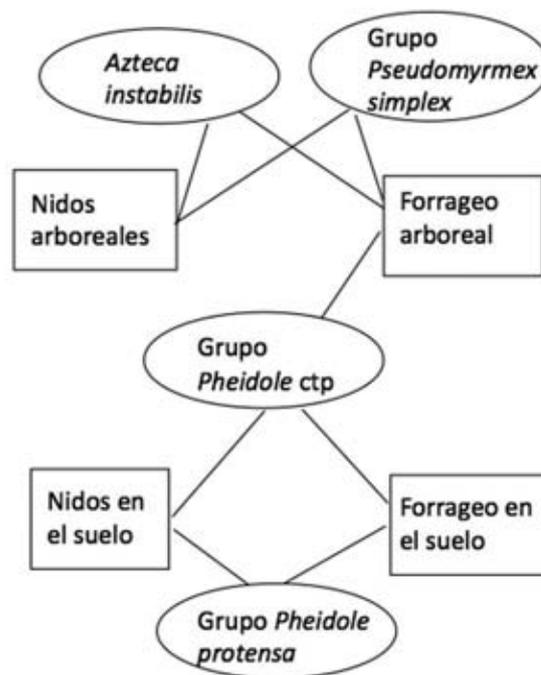


Figura 10. Diagrama de las interacciones de los varios grupos de hormiga que se encuentran en un cafetal orgánico de sombra en Chiapas, México.

Esta estructura compleja que envuelve unas 80 especies de hormigas es importante para el control de plagas de café por cuatro razones. Primero, el grupo de *Pheidole ctp* efectivamente mantiene poblaciones residuales de la escama verde facilitando a *Azteca* y contribuyendo al mantenimiento del patrón espacial de esta especie. Como discutimos anteriormente, el poder encontrar estas poblaciones residuales de escamas le permite a *Azteca* mover su nido cuando, por alguna razón (ataques de hongo, demasiadas larvas de *Azya*, o fuertes ataques de fóridos) pierde sus escamas, las cuales son la principal fuente de energía para la colonia. El patrón espacial de *Azteca* es, a su vez, un componente esencial para el mantenimiento de dos enemigos naturales im-

portantes de las escamas, el coccinélido, *A. orbigera* y el hongo *L. lecanii*. Segundo, las hormigas en el grupo de *Pseudomyrmex simplex* son depredadoras del minador de la hoja del café (de la Mora et al., 2008); aunque *Azteca* también es un depredador generalista (Vandermeer et al. 2002) y depreda en el minador ocasionalmente (Lomeli Flores 2009), no parece ser tan eficiente como las especies del grupo de *Pseudomyrmex*. Tercero, tanto *Azteca* (Perfecto y Vandermeer 2006) como el grupo de *Pseudomyrmex* (Larsen y Philpott 2010) depredan en la broca. Cuarto, las especies en el grupo de *Pheidole protensa* podrían ser importantes depredadores de la broca cuando esta se encuentra en los frutos secos que se caen al suelo. Estos frutos se convierten en refugios de broca durante la época cuando no hay frutos en las plantas. En Colombia se ha demostrado que hay varias especies de hormigas muy pequeñas que forrajean en el suelo y que penetran los frutos o semillas de café en el suelo y depredan la broca (Armbrecht y Gallego 2007) (Fig. 11).



Figura 11. *Solenopsis* sp. Atacando adultos y larvas de la broca.

Discusión

Resumimos las interacciones ecológicas aquí descritas en la figura 12. En este diagrama resaltan dos elementos. Primero, la red de interacción sugiere una estructura de “pequeño mundo,” caracterizada por fuertes agrupaciones y conexiones cortas, aunque mucha de la conectividad en la agrupación principal (las conexiones con *Azteca*) son de efectos no-lineales de alto nivel (higher order nonlinear effects), que reflejan la importancia de *Azteca* como piedra angular (key stone species). Segundo, la integridad de la red es, al menos parcialmente, un resultado de la estructura espacial del sistema, la cual parece ser una propiedad emergente auto-organizada del sistema.

La existencia de servicios ecosistémicos (en este caso la auto-regulación de plagas) que emanan de la complejidad ecológica es particularmente interesante en este sistema agrícola. No solo porque café es un cultivo

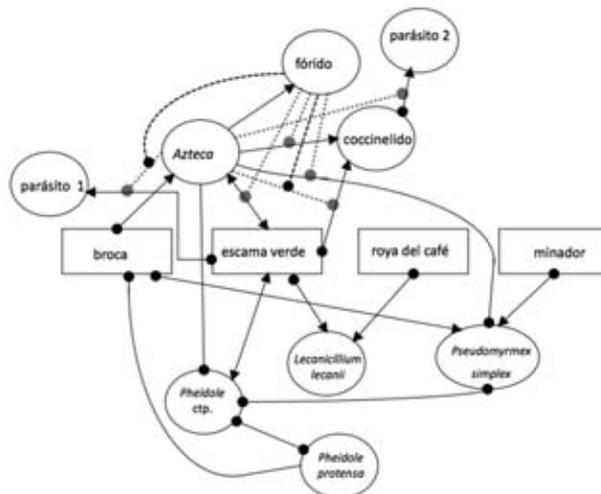


Figura 12. Diagrama que resume la red compleja de interacciones ecológicas en un cafetal orgánico de sombra en Chiapas, México. Las flechas indican efectos positivos y los círculos indican efectos negativos. Las líneas negras representan efectos directos. Las líneas azules representan efectos no lineales indirectos de primer orden y las líneas rojas representan efectos no lineales indirectos de segundo orden.

de gran importancia económica para millones de campesinos y trabajadores agrícolas (Nolasco 1985, Calo y Wise 2005), sino también porque el sistema de café de sombra ha sido estudiado ampliamente como refugio de biodiversidad y como una matriz de alta calidad que contribuye al mantenimiento de biodiversidad en ecosistemas fragmentados (Perfecto et al. 1996, Moguel y Todelo 1999, Philpott et al. 2008, Perfecto y Vandermeer 2002, Perfecto et al. 2009). La evidencia de que la biodiversidad en los cafetales de sombra contribuye al servicio ecosistémico de control de plaga, enfatiza la importancia de mantener los cafetales con sombra para conservar la biodiversidad.

La finca donde se condujeron la mayoría de los estudios aquí descritos es una finca orgánica con sombra que ha estado en producción por casi 100 años (para una descripción más completa pueden ver Vandermeer et al. 2008 o Philpott et al. 2009). Muchos de los organismos que participan en la red de interacciones son organismos muy bien reconocidos por su asociación al café, sin embargo, no se conoce el lugar de origen de todas las especies. La roya, es casi seguro que se originó en África, el coccinélido tiene una amplia distribución por el trópico americano, el hongo *L. lecanii* tiene una amplia distribución pantropical, y la mayoría de las hormigas parecen ser nativas de México. Aunque casi todo el trabajo aquí reportado se llevó a cabo en esta finca, creemos que este tipo de redes de interacciones complejas son comunes en todos los agroecosistemas. Sin embargo, no sabemos cómo se manifestarán las relaciones específicas en otros sistemas. Por ejemplo, sabemos que casi todos los componentes descritos en esta red también ocurren en plantaciones de café en Puerto

Rico, excepto que la hormiga *Azteca* no existe en la isla. Como esta especie parece actuar como piedra angular del sistema, no sabemos cómo funcionará esta red de interacciones sin la presencia de *Azteca*. ¿Será posible que otra especie, por ejemplo *Solenopsis geminata*, ocupe la posición que *Azteca* ocupa en el sistema en México? Solo investigaciones ecológicas detalladas y con un componente espacial explícito podrán contestar esta pregunta.

Finalmente, este sistema modelo contradice la visión Newtoniana de la armonía y el balance de la naturaleza. Los organismos en los ecosistemas no son como canecas que llega a reposar al fondo de una parábola invertida. Sin embargo, mediante estudios ecológicos con un componente espacial explícito hemos podido descubrir una red de interacciones complejas, muchas no lineales, de la cual emerge una noción más profunda del "balance de la naturaleza." No nos referimos al balance en el sentido Newtoniano, sino al balance que puede ser representado por dunas de arena, las cuales están constantemente cambiando pero preservan la esencia de las dunas de arena. En oposición a la lógica cruda positivista que identifica un enemigo (plaga) al cual hay que derrotar con una bala mágica (plaguicida), proponemos una visión holística y una nueva noción del "balance de la naturaleza," la cual emerge de la biodiversidad y la complejidad que los agricultores tradicionales han entendido y cultivado desde un principio.

Referencias

- Alonso DF, Bartumeus F, Catalan J. 2002. Mutual interference between predators can give rise to Turing spatial patterns. *Ecology* 83: 28-34.
- Altieri MA, Nicholls CI. 2004. *Biodiversity and Pest Management in Agroecosystems*. Binghamton, NY: Food Produc Press.
- Altieri MA. 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 74: 19-31.
- Andow DA. 1991. Vegetational diversity and arthropod population response. *Annual Review of Entomology* 36: 561-586.
- Avelino J, Willocquet L, Savary S. 2004. Effects of crop management patterns on coffee rust epidemics. *Plant Pathology* 53: 541-547.
- Benton TG, Vickery JA, Wilson JD. 2003. Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the key? *Trends in Ecology and Evolution* 18: 182-188.
- Bess HA. 1958. The green scale *Coccus viridis* (Green) and ants. *Proc. Hawaiian Entomol. Soc.* 16: 349.
- Bianchi FJJA, Booij CJH, Tscharntke T. 2006. Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. *Proceedings of the Royal Society* 273: 1715-1727.
- Calo M, Wise TA. 2005. *Revaluing peasant coffee production: organic and fair trade markets in Mexico*. Global Development and Environment Institute, Tuft University
- Cardinale BJ, Harvey CT, Gross, K, Ives AR. 2003. Biodiversity and biocontrol: emergent impacts of a multi-enemy assemblage on pest suppression and crop yield in an agroecosystem. *Ecology Letters* 6: 857-865.
- Cardinale BJ, Srivastava DS, Duffy JE, Wright JP, Downing AL, Sankaran M, Jouseau C. 2006. Effects of biodiversity on the functioning of trophic groups and ecosystems. *Nature* 443: 989-992.
- Damon A. 2000. A review of the biology and control of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). *Bull. Entomological Research* 90: 453-465.
- De la Mora A, Livingston G, Philpott SM. 2008. Arboreal ant abundance and leaf miner damage in coffee agroecosystems. *Biotropica* 40: 742-746.
- Evans N, Morris C, Winter M. 2002. Conceptualizing agriculture: a critique of post-productivism as the new orthodoxy. *Progress in Human Geography* 26:313-332.
- Fitter AH, Gilligan CA, Hollingworth K, Kleczkowski A, Twyman RM, Pitchford JW, members of the NERC Soil Diversity Progemme. 2005. Biodiversity and ecosystem function in soil. *Functional Ecology* 19: 369-377.
- Fragoso DB, Guedes RNC, Picanco MC, Zambolim L. 2002. Insecticide use and organophosphate resistance in the coffee leaf miner *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae). *Bulletin of Entomological Research* 92:203-212.
- Fulton RH (ed). 1984. *Coffee Rust in the Americas*. American Phytopathology Society, St. Paul, MN.
- Armbrecht, I, Gallego MC. 2007. Testing ant predation on the coffee berry borer in shaded and sun coffee plantations in Colombia. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 124: 261-267.
- Gurr GM, Wratten SD, Luna JM. 2003. Multifunctional agricultural biodiversity: pest management and other benefits. *Basic and Applied Ecology* 4: 107-116.
- Hendrix J. 2007. Editorial response by Jim Hendrix. *Renewable Agriculture and Food Systems* 22: 84-85.
- Huston MA, McBride AC. 2002. Evaluating the relative strengths of biotic versus abiotic controls on ecosystem processes. In: *Biodiversity and Ecosystem Functioning* (Loreau M, Naeem S, Inchausti P, eds.). Oxford, UK: Oxford University Press, 47-60 pp.
- Jackson D, Vandermeer J, Perfecto, I. 2009. Spatial and temporal dynamics of a fungal pathogen promote pattern formation in a tropical agroecosystem. *The Open Ecology Journal* 2: 62-73.

- Lambers JHR, Harpole WS, Tilman D, Knops J, Reich PB. 2004. Mechanisms responsible for the positive diversity-productivity relationship in Minnesota grasslands. *Ecology Letters* 7:661-668.
- Larsen A, Philpott SM. 2010. Twig-nesting ants: the hidden predators of the coffee berry borer in Chiapas, Mexico. *Biotropica* 42:3, 342-347.
- Liere H, Perfecto I. 2008. Cheating on a mutualism: Indirect benefits of ant attendance to a coccidophagous coccinellid. *Ecological Entomology* 37: 143-149.
- Lomeli-Flores JR, Barrera JF, Bernal JS. 2009. Impact of natural enemies on coffee leafminer *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae) population dynamics in Chiapas, Mexico. *Biological Control* 51:51-60.
- Marc P, Canard A. 1997. Maintaining spider biodiversity in agroecosystems as a tool of pest control. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 62: 229-235.
- McCann K, Hastings A, Huxel GR. 1998. Weak trophic interactions and the balance of nature. *Nature* 395: 794-798.
- McCook S. 2006. Global rust belt: *Hemileia vastatrix* and the ecological integration of world coffee production since 1850. *Journal of Global History* 1:177-95.
- Moguel P, Toledo VM. 1999. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico. *Conservation Biology* 13: 11-21
- Nolasco M. 1985. *Café y Sociedad en México*. Centro de Ecodesarrollo, México, DF.
- Pascual M, Guichard F. 2005. Criticality and disturbance in spatial ecological systems. *Trends in Ecology and Evolution* 20: 23-27.
- Pascual M, Manojit R, Guichard F, Flierl G. 2002. Cluster size distributions: signatures of self-organization in spatial ecologies. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 357: 657-666.
- Perfecto I, Vandermeer J. 2002. Quality of agroecological matrix in a tropical montane landscape: Ants in coffee plantations in southern Mexico. *Conservation Biology* 16: 174-182.
- Perfecto I, Vandermeer J. 2006. The effect of an ant/scale mutualism on the management of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) in southern Mexico. *Agriculture Ecosystems and Environment*. 117:218-221.
- Perfecto I, Rice RA, Greenberg R, van der Voort ME. 1996. Shade coffee: A disappearing refuge for biodiversity. *BioScience* 46: 598-608.
- Perfecto I, Vandermeer J, Wright A. 2009. *Nature's Matrix: The Links Between Agriculture, Biodiversity and Food Sovereignty*. Earthscan, London.
- Philpott SM, Armbrrecht I. 2006. Biodiversity in tropical agroforests and the ecological role of ants and ant diversity in predatory function. *Ecological Entomology* 31: 369-377.
- Philpott SM, Arendt W, Armbrrecht I, Bichier P, Dietrich T, Gordon C, Greenberg R, Perfecto I, Soto-Pinto L, Tejeda-Cruz C, Williams G, Valenzuela J. 2008. Biodiversity loss in Latin American coffee landscapes: reviewing evidence on ants, birds, and trees. *Conservation Biology* 22: 1093-1105.
- Philpott SM, Perfecto I, Vandermeer J, Uno S. 2009. Spatial scale and density dependence in a host parasitoid system: An arboreal ant, *Azteca instabilis*, and its *Pseudacteon* Phorid parasitoid. *Environ. Entomol.* 38: 790-796.
- Russell E. 2001. *War and Nature: Fighting Humans and Insects with Chemicals from World War I to Silent Spring*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Thompson K, Askew AP, Grime JP, Dunnett NP, Willis AJ. 2005. Biodiversity, ecosystem function and plant traits in mature and immature plant communities. *Functional Ecology* 19: 355-358.
- Vandermeer J, Pascual M. 2006. Competitive coexistence through intermediate polyphagy. *Ecological Complexity* 3: 37-43.
- Vandermeer J, Perfecto I. 2006. A keystone mutualism drives pattern in a power function. *Science* 311: 1000-1002
- Vandermeer J, Perfecto I, Philpott SM. 2010. Ecological complexity and pest control in organic coffee production: uncovering an autonomous ecosystem service. *BioScience* 60(7): 527-537.
- Vandermeer J, Perfecto I, Liere H. 2009. Evidence for hyperparasitism of coffee rust (*Hemileia vastatrix*) by the entomogenous fungus, *Lecanicillium lecanii* through a complex ecological web. *Plant Pathology* 58:636-641.
- Vandermeer J, Perfecto I, Philpott SM. 2008. Clusters of ant colonies and robust criticality in a tropical agroecosystem. *Nature*: 451: 457-459.
- Vandermeer J, Perfecto I, Ibarra Nuñez G, Philpott SM, Garcia Ballinas A. 2002. Ants (*Azteca* sp.) as potential biological control agents in shade coffee production in Chiapas, Mexico. *Agroforestry Systems* 56: 271-276.
- Vega FE, Infante F, Castillo A, Jaramillo J. 2009. The coffee berry vorer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae): a short review, with recent findings and future research directions. *Terrestrial Arthropod Reviews* 2: 129-147.
- Wilby A, Thomas MB. 2002. Natural enemy diversity and pest control: patterns of pest emergence with agricultural intensification. *Ecology Letters* 5: 535-360.
- Young GR. 1982. Recent work on biological control in Papua New Guinea and some suggestions for the future. *Trop. Pest Manage.* 28:107.

RESULTADOS DE UN PROCESO DE CAPACITACIÓN E INNOVACIÓN PARTICIPATIVAS PARA LA ADOPCIÓN DEL MANEJO AGROECOLÓGICO DE LA BROCA DEL CAFÉ EN CUBA

Luis L. Vázquez¹, Carlos Murguido¹, Aurelio Navarro² y Mario García²

¹Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal (INISAV). Calle 110 No. 514. Entre 5ta B y 5ta F. CP 11600. Playa. Ciudad de La Habana. ²Cuba. Centro Nacional de Sanidad Vegetal (CNSV). E-mail: lvazquez@inisav.cu, llvazquezmoreno@yahoo.es

Resumen

La broca del café (*Hypothenemus hampei*) se ha convertido en la principal plaga de este cultivo en el país desde mediados de los años noventa y para su manejo se ha utilizado el insecticida endosulfán, la eliminación de frutos infestados y el uso del hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana*, entre otras prácticas. Debido a la necesidad de transitar hacia la caficultura sostenible, se realizó un proyecto de innovación y capacitación participativas para lograr la adopción de prácticas agroecológicas en el manejo de la broca del café, el cual se ejecutó durante los años 2005-2008 en los 27 municipios cafetaleros del país, con la participación de técnicos y caficultores. Se logró la adopción de 36 prácticas agroecológicas para el manejo de la broca del café, de las cuales cuatro dependen de productos biológicos que se adquieren fuera de la finca y el resto son realizadas totalmente por el caficultor; de estas, el 35 % se han adoptado en más de 64,0 Miles de hectáreas (más del 80 % del área de café del país). Hubo una reducción de más del 80 % del uso del insecticida endosulfán (0,4 % del área de café del país en 2008) y el índice de infestación de la plaga se redujo a niveles por debajo del 5 %.

Palabras clave: Cafeto, manejo agroecológico de plagas, *Hypothenemus hampei*, Cuba

Summary

Results of a participative innovation and qualification process to the coffee berry borer agroecological management adoption in Cuba

The coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) has transformed into the main pest of this cultivation in the country from half-filled of the years ninety and its management has been used the endosulfan insecticide, the elimination of infested fruits and the use of the entomopathogen fungi *Beauveria bassiana*, among other practical. Due to the necessity of trafficking toward the sustainable caficulture, it was carried out a participatory innovation and qualification project and to achieve the adoption of agroecological practices in the coffee berry borer management, which was executed during the years 2005-2008 in the 27 coffee municipalities of the country, with the participation of technicians and caficultors. The adoption of 36 agroecological practices was achieved for the coffee berry borer management, of which four depend on biological products that are acquired outside of the production system and the rest they are carried out totally by the caficultor; of these, 35% has been adopted in more than 64,0 Thousands of hectares (more than 80% of the coffee area of the country). There was a reduction of more than 80% of the use of the endosulfan insecticide (0,4% of the area of coffee of the country in 2008) and the infestation index of the pest decreased at levels below 5%.

Key words: Coffee, agroecological pest management, *Hypothenemus hampei*, Cuba

Introducción

El cafeto (*Coffea* spp, Rubiaceae) es una planta de gran importancia económica en Cuba, que se siembra tradicionalmente en 8 provincias y 27 municipios ex-

istentes en los cuatro sistemas montañosos del país: Sierra Maestra, Sagua-Nipe-Baracoa, Guamuhaya (Escambray) y Guaniguanico; se cultiva bajo sombra y en altas densidades, principalmente las variedades Caturra, Robusta y Catimores (DNCC 1990).

Respecto a los problemas fitosanitarios, éstos tienen una incidencia significativa en la producción y los rendimientos de este cultivo, principalmente el minador de la hoja (*Leucoptera coffeella* Guerin-Meneville), los nematodos (*Meloidogyne* spp.), las arvenses y la broca del café (*Hypothenemus hampei* Ferrari), esta última se ha convertido desde mediados de los noventa en la principal plaga del cultivo en el país (Álvarez 2000, CNSV 2003, Fernández *et al.* 1993, Vázquez 2005).

La lucha contra estas problemáticas ha tenido diversas etapas, hasta mediados de los años noventa en que se generalizó con éxito el Manejo Integrado de Plagas (MIP), que involucró aspectos tecnológicos, socio-económicos y ecológicos (CNSV 1989, Simón 1989, 1999, Vázquez 2001) y, con posterioridad, desde que se introdujo la broca del café en que se ha implantado un programa de defensa nacional que se ha sustentado en el uso del insecticida endosulfán, de un bioplaguicida a base de *Beauveria bassiana*, el saneamiento para eliminar frutos infestados y las trampas de captura, entre otras prácticas (CNSV 1998, Vázquez 2005, Vázquez *et al.* 1999).

Sin embargo, debido a las experiencias exitosas en el manejo del minador de la hoja y otras plagas (Simón 1989, Vázquez 2005) y por las características de las zonas cafetaleras del país (cafetales en ecosistemas de montaña, sombra diversificada y estratificada, diversidad de sistemas de cultivo, entre otras), así como por la necesidad de reducir el empleo del insecticida endosulfán y de disponer de tecnologías sostenibles para el manejo de la broca del café, se desarrolló un proyecto de investigación y capacitación participativas para lograr la adopción de prácticas agroecológicas, cuyos resultados se ofrecen en el presente artículo.

Materiales y métodos

El trabajo se realizó durante los años 2005 a 2008 en los 27 municipios de las ocho provincias cafetaleras, que

se ubican en los cuatro macizos montañosos del país, cuyas características principales se resumen en la tabla 1 (Soto *et al.* 2001, 2002).

Para la identificación de las prácticas agroecológicas promisorias, durante el mes de marzo de 2005 se convocó a especialistas de las Direcciones Provinciales de Sanidad Vegetal, de la Delegaciones Provinciales del Ministerio de la Agricultura y de las Estaciones Territoriales de Protección de Plantas (ETPP), así como a técnicos de las empresas y cooperativas de producción cafetalera, a talleres regionales de sistematización de experiencias en el manejo de la broca del café, los que se realizaron en las regiones siguientes: (1) Guantánamo-Santiago de Cuba, (2) Holguín-Granma, (3) Cienfuegos-Villa Clara-Sancti Spiritus, (4) Pinar del Río.

Los talleres de cada región se estructuraron en dos bloques temáticos, a saber:

- *Capacitación:* Conferencia especialmente elaborada sobre las bases para el manejo agroecológico de la broca del café, con el propósito de crear capacidades en manejo agroecológico de plagas en cafeto.
- *Ejercicio:* Sistematizar las experiencias en prácticas agroecológicas para el manejo de la broca del café. Para su realización se confeccionó una lista preliminar de prácticas agroecológicas propuestas en diferentes investigaciones realizadas con anterioridad sobre otras plagas del cafeto y broca del café. Se organizaron equipos al azar, los que disponían de un modelo con la lista de prácticas agroecológicas, con espacio para reflejar los resultados. Los equipos debían analizar cada una de las prácticas y responder a las preguntas siguientes: (1) ¿Cuáles prácticas son factibles de aplicar?, (2) ¿Qué prácticas no son factibles?, (3) ¿Qué prácticas deben ser modificadas para que puedan ser utilizadas?, (4) ¿Qué nuevas prácticas se proponen?

Tabla 1. Características agroecológicas de los principales macizos montañosos de Cuba donde se cultiva el cafeto (Soto *et al.* 2001, 2002).

Sistema agrario de montaña	Provincias que ocupa	Área (km ²)	Altura máxima (msnm)	Temperatura media anual del aire (°C)	Distribución de la lluvia anual (mm)
Guaniguanico	Pinar del Río	3 681,5	750	24,3	760-1200
Guamuhaya	Villa clara, Cienfuegos y Sancti Spiritus	1 959,5	1 156 (Pico San Juan)	15,1-20,5	1 200-1 600
Sierra Maestra	Santiago de Cuba y Granma	4 804,5	1 976 (Pico Real del Turquino)	Parte baja: 24-26 Parte alta: < 16	Pre-montaña norte: 1 400 Partes más altas: 2200-2600
Sagua-Nipe-Baracoa	Holguín, Santiago de Cuba y Guantánamo	7 831,9	1 325	25	1 000-1 800

Al concluir todos los equipos se realizaba la sesión plenaria, en que un representante exponía y argumentaba los resultados. El resto de los participantes hacían preguntas aclaratorias y aportes para enriquecer las propuestas de cada equipo.

Los resultados de cada uno de los equipos de los cuatro talleres regionales realizados se procesaron posteriormente, para lograr una primera versión de las prácticas promisorias para el manejo agroecológico de la broca del café, las que se someterían posteriormente al proceso de validación en las zonas cafetaleras del país.

La validación de las diferentes prácticas agroecológicas promisorias en condiciones de producción se realizó a través de un proceso de innovación y capacitación participativas, en el que se involucró a técnicos y caficultores de Unidades Básicas de Producción Cooperativa (UBPC), Cooperativas de Producción Agropecuaria (CPA) y Cooperativas de Créditos y Servicios (CCS) representativas de cada uno de los 27 municipios cafetaleros del país, mediante el procedimiento siguiente: Se seleccionaba una cooperativa en cada municipio donde estas prácticas se aplicaron en sitios pilotos que eran atendidos especialmente por los técnicos de café y sanidad vegetal (Fig. 1) y, paralelamente, se efectuaban seminarios con los jefes y dueños de fincas de las cooperativas del municipio para explicarles cada una de las prácticas, con el propósito de que las realizaran en sus fincas, todo lo cual se efectuó durante el período 2005-2006.



Figura 1. Sitio de validación de las prácticas promisorias para el manejo agroecológico de la broca del café. Fomento, Sancti Spiritus. De izquierda a derecha: los dos especialistas de la Estación Territorial de Protección de Plantas (ETPP), el caficultor y los tres extensionistas de café.

Durante el primer semestre de 2006 se organizaron talleres provinciales (Pinar del Río, Cienfuegos, Villa Clara, Sancti Spíritus, Granma, Holguín, Santiago de Cuba, Guantánamo), con la participación de especialistas de sanidad vegetal y café de la provincia, técnicos que trabajan en las áreas cafetaleras y caficultores, los que se estructuraron en los bloques temáticos siguientes:

- *Capacitación:* Conferencia especialmente elaborada sobre las bases para el manejo agroecológico de la broca del café, con el propósito de crear capacidades en manejo agroecológico de plagas en café.
- *Ejercicio:* Validación de las prácticas agroecológicas identificadas en los talleres regionales. El ejercicio permitía validar las prácticas agroecológicas identificadas en los talleres de 2005 y que se habían llevado a la práctica por los técnicos y caficultores en los municipios cafetaleros. Se organizaron equipos al azar, los que disponían de un modelo con la lista de prácticas agroecológicas identificadas en los talleres regionales, con espacio para reflejar los resultados. Los equipos debían analizar cada una de las prácticas y responder a las preguntas siguientes: (1) ¿Cuáles prácticas se mantenían?, (2) ¿Qué prácticas no eran viables? (3) ¿Qué prácticas debían ser modificadas para utilizarlas?, (4) ¿Qué otras prácticas proponían?. Al concluir todos los equipos se realizaba la sesión plenaria, en que un representante exponía y argumentaba los resultados. El resto de los participantes hacían preguntas aclaratorias y aportes para enriquecer las propuestas de cada equipo. Estos segundos talleres tenían la ventaja de que se enriquecían con los resultados que se apreciaban en la validación de las prácticas en los sitios seleccionados y que tenían una mayor participación de caficultores, ya que se realizaron a nivel de cada provincia.

Los resultados de cada uno de los equipos de los talleres provinciales realizados se procesaron posteriormente, para lograr una primera versión del Programa de Manejo Agroecológico de la Broca del Café (PROMABROCU).

El proceso de adopción de las prácticas agroecológicas por parte de los agricultores del país comenzó precisamente con los resultados de cada uno de los talleres realizados, primero los regionales (2005) y luego los provinciales (2006), lo que fue reforzado por el trabajo en cada uno de los sitios de validación y la capacitación que se realizó en todos los territorios cafetaleros del país.

Para evaluar el nivel de adopción de las diferentes prácticas agroecológicas se organizaron talleres municipales durante el 2007, donde igualmente se trabajó en equipos, los que disponían de una copia del programa de manejo agroecológico (PROMABROCU), para evaluar el grado de adopción de las diferentes prácticas agroecológicas en el territorio, sobre la base de un criterio relativo que partía del número de unidades de producción (UBPC, CPA y CCS) que las habían adoptado. Por supuesto, estos ejercicios también contribuyeron al ajuste de algunas de las prácticas del programa a las características locales, sobre la base de la experiencia acumulada por los caficultores y los técnicos.

Resultados y discusión

Los resultados de los talleres regionales fueron muy interesantes, pues en los mismos se pudo constatar que muchos de los participantes no tenían la percepción de la efectividad de las prácticas agronómicas sobre las poblaciones de la broca del café, lo que contribuyó, junto con la conferencia, a entender que el manejo agroecológico no es solamente control biológico, como muchos expresaron en los debates.

Todas las prácticas presentadas fueron aceptadas, lo que significó que eran adecuadas para someterlas al proceso de validación; además, los participantes propusieron un buen número de prácticas nuevas (Tabla 2), lo que significó que estos talleres regionales fueron muy provechosos al enriquecer en 47,6 % las prácticas agroecológicas promisorias para el manejo de la broca del café.

Al año siguiente, en los talleres provinciales, se comprobó que se había realizado una buena validación de las prácticas en las diferentes áreas cafetaleras del país, ya que se había acumulado la experiencia de un año de trabajo con los caficultores, en que también contribuyó la capacitación realizada. De las 21 prácticas aprobadas en los talleres regionales se aceptaron 20 (95,2 %) y resultó muy importante que en estos talleres se propusieron 16 nuevas prácticas, lo que significó un gran aporte al programa (44,4 %), resultados que evidenciaron las posibilidades del manejo agroecológico de la broca del café (Tabla 2).

Los resultados del proceso de sistematización de experiencias y validación de prácticas promisorias concluidos en los talleres regionales y provinciales permitieron disponer de una primera versión del Programa de Manejo Agroecológico de la Broca del Café en Cuba (PROMABROCU).

En los talleres provinciales de 2006 hubo debates muy interesantes sobre las perspectivas del manejo de la broca del café en el país y en algunos temas hubo consenso, principalmente los siguientes:

- El uso del insecticida endosulfán (Thodán 50) significa un riesgo para los agroecosistemas cafetaleros de montaña y en la práctica se convierte en

un ciclo vicioso al tener que depender del mismo para reducir poblaciones.

- La experiencia desarrollada en el manejo del minador de la hoja y otras plagas, que también son específicas del café, ha demostrado que bajo las condiciones de montaña y en los sistemas de café bajo sombra se pueden integrar prácticas agronómicas que contribuyen a reducir los problemas de plagas en este cultivo.
- El control biológico tiene muchas perspectivas, tanto los parasitoides como el entomopatógeno *Beauveria bassiana*.
- El saneamiento es una práctica que está dando resultados, solo que hay que controlar su calidad, aunque es costosa.
- El uso de trampas rústicas para la captura de hembras adultas es una práctica efectiva, pero requiere apoyo logístico para los alcoholes y otros componentes de las trampas.
- El arroje de los restos de labores de chapea y poda en la base de las plantas (narigón) y la siembra de cobertura viva entre hileras de plantas (camellón), constituyen prácticas muy promisorias para reducir infestaciones en la cosecha siguiente.
- Hay que integrar el manejo de la broca y de las demás plagas del café en un solo programa, que forme parte del manejo del cafetal

Durante los talleres municipales de 2007, de las 36 prácticas sometidas a validación, 10 tienen entre 30-50 % de adopción por los caficultores (27,7 %) y 12 se han adoptado por más del 50 % de los caficultores (33,3 %), lo que nos indica que existe un relativamente elevado interés en el manejo agroecológico de esta plaga, lo que constituye un potencial para la caficultura sostenible.

En la fase de pre cosecha existen prácticas agronómicas que aún no llegan a un buen nivel de aceptación por los caficultores (Tabla 3), principalmente la eliminación del primer floreo esporádico y de los frutos llamados aventureros, lo que se debe principalmente a que al caficultor no le gusta eliminar café en la planta; respecto al registro fenológico para pronosticar la etapa óptima de ataque, existe rechazo por la complejidad de la metodología, lo que sugiere que debe revisarse para buscar ajustes que permitan sea más sencilla.

Tabla 2. Resultados de los diferentes talleres efectuados para la evaluación y validación de prácticas agroecológicas en el manejo de la broca del café.

Talleres	Número y porcentaje de prácticas				
	Presentadas ¹	Aceptadas ²	Rechazadas ³	Nuevas ⁴	Aprobadas ⁵
Regionales (2005)	11	11 (100)	0	10 (47,6 %)	21
Provinciales (2006)	21	20 (95,2 %)	1 (4,7 %)	16 (44,4 %)	36

(1) Las que se llevaron como propuestas al taller (en los modelos para el ejercicio)

(2) De las presentadas, las que fueron aceptadas en el ejercicio.

(3) De las presentadas, las que fueron rechazadas en el ejercicio.

(4) Las prácticas nuevas que se propusieron en el ejercicio.

(5) El total de prácticas aprobadas en los ejercicios, las que se consideraron como la versión final propuesta para el proceso siguiente.

Durante la fase de cosecha la mayoría de las prácticas han sido adoptadas por los caficultores (Tabla 4), aunque la cosecha según índices muestra dificultades debido a aun que no existe experiencia y está en fase de organización, lo que se espera lograr para cosechas futuras. La cosecha con doble bolso aun no es muy utilizada, pero resulta de interés, lo que significa que tiene posibilidades de incrementarse.

Por otra parte la cosecha con mantas, que es muy aceptada porque tiene efectos sobre los rendimientos y sobre la infestación residual por broca, no ha sido practicada ya que no se hay suficiente experiencia y los caficultores están en el proceso de implementación, aunque manifiestan que resulta muy incómoda; sin embargo, se han realizado innovaciones en los "jolongos" que se emplean atados a la cintura de los cosechadores,

Tabla 3. Estado de la adopción relativa de prácticas agroecológicas en el manejo de la broca del café durante la fase de pre cosecha. 2007 (PROMABROCU).

Prácticas	Propósitos	Adopción (%)
Registro de floraciones	Planificación de labores y pronóstico de cosecha.	5
Determinación del índice de infestación	Conocer la incidencia de la plaga desde que se Desarrollan los primeros frutos óptimos.	31
Eliminación del primer floreo esporádico	Emparejar la cosecha y reducir infestación en la cosecha principal.	7
Eliminación de frutos aventureros	Para disminuir los frutos que constituyan fuentes de infestación de la cosecha principal.	21
Eliminación de frutos infestados (saneamiento)	Con el propósito disminuir las fuentes de contaminación a la cosecha principal. No más de 15 días en la frecuencia del saneamiento durante la pre cosecha.	80
Aspersiones de <i>Beauveria bassiana</i> producida con cepas aisladas en la región.	Controlar primeras infestaciones de adultos que puedan afectar la cosecha, mientras predomine la infestación en la posición A (iniciando la penetración del fruto) y B (en el canal de penetración).	23
Aspersiones de mezclas de <i>Beauveria bassiana</i> mezclada con <i>Heterorhabditis bacteriophora</i>	Controlar primeras infestaciones de adultos que puedan afectar la cosecha, mientras predomine la infestación en la posición A (iniciando la penetración del fruto) y B (en el canal de penetración).	0
Liberaciones del parasitoides <i>Phymastichus coffeae</i>	Disminuir las primeras poblaciones de adultos que puedan afectar la cosecha	0

Tabla 4. Estado de la adopción relativa de prácticas agroecológicas en el manejo de la broca del café durante la fase de cosecha. 2007 (PROMABROCU).

Prácticas	Propósitos	Adopción (%)
Limpieza del cafetal (deshierbe)	Facilitar la recogida de frutos que caigan y la calidad de la cosecha.	57
Eliminación de frutos infestados (saneamiento)	Reducir el número de frutos infestados. No más de 15 días en la frecuencia del saneamiento durante la cosecha.	67
Determinación del índice de infestación	Conocer la incidencia de la plaga desde que se inicia la cosecha	91
Aspersiones de <i>Beauveria bassiana</i>	Controlar poblaciones de adultos que están realizando reinfestaciones	34
Cosecha según índices	Disminuir las reinfestaciones durante la cosecha	13
Cosecha según variedades	Disminuir las reinfestaciones	18
Manejo de los pases de cosecha	Reducir posibilidades de infestación	36
Cosecha con doble bolso	Cosechar aparte los frutos infestados	10
Limitación de los puntos de concentración de la cosecha	Reducir las fuentes de infestación	45
Cosecha con mantas	Recoger los frutos que caen durante esta labor y así disminuir la fuente de infestación para la cosecha siguiente.	0,5
Trampeo de adultos	Colectar adultos en los puntos de concentración de la cosecha y en los caminos.	22
Chequeo de la calidad de la cosecha	Reducir fuentes de infestación para la cosecha siguiente	66
Eliminación de frutos infestados	Reducir fuentes de infestación para la cosecha siguiente	89
Traslado de frutos brocados e infectados por <i>Beauveria bassiana</i> natural	Ayudar a su diseminación y favorecer epizootia	9
Liberaciones del parasitoides <i>Cephalonomia stephanoederis</i>	Disminuir poblaciones de la plaga durante la cosecha y al final de esta, para reducir infestación en la cosecha siguiente	0

pues muchos de ellos que abarcan aproximadamente 0,90 m², lo que aumenta la captura de los granos que caen durante la labor de cosecha (Fig. 2).

En la fase de post cosecha (Tabla 5) todas las prácticas están en diferentes fases de realización, la mayoría a niveles de adopción elevados.

En la fase de beneficio el nivel de adopción de las prácticas recomendadas aun no alcanza el requerido, sobre todo el uso de trampas de captura dentro y en los alrededores de las instalaciones (Tabla 6).

Es preciso enfatizar que la adopción de estas prácticas por los caficultores es relativa, debido a que existen particularidades en las diferentes regiones cafetaleras, principalmente por condiciones materiales, características biofísicas de los sistemas de producción, costumbres, gustos y otros aspectos que determinan que no todas las prácticas tienen el mismo grado de adopción en dichas regiones, lo que se considera lógico ya que las prácticas agroecológicas son esencialmente contextuales.

Entre las prácticas relacionadas con el control biológico, el nivel de utilización de *Beauveria bassiana* aun es bajo debido principalmente a la lejanía de los centros de producción, y en el caso de los parasitoides (*Ce-*



Figura 2. "Jolongos" empleados para la cosecha de café en Bahía Honda, Pinar del Río.

phalonomia stephanoderis y *Phymastichus coffeae*) y el nematodo entomopatógeno (*Heterorhabditis bacteriophora*), aunque existe un programa de creación de centros para su multiplicación masiva, durante el proceso de validación aun no estaban disponibles en cantidades para su utilización por los caficultores.

Precisamente, debido a que estas nuevas prácticas de control biológico no pudieron ser validadas, esto con-

Tabla 5. Estado de la adopción relativa de prácticas agroecológicas en el manejo de la broca del café durante la fase de post cosecha. 2007 (PROMABROCU).

Prácticas	Propósitos	Adopción (%)
Eliminación de frutos infestados (saneamiento)	Para que las plantas estén sin frutos que constituyan fuentes de infestación para la cosecha siguiente	98
Colecta de frutos goteados	Disminuir los frutos en el suelo que constituyen la sobrevivencia de poblaciones de la plaga para la cosecha siguiente	37
Chapea de malezas	En los campos que no se manejan con cobertura, realizar chapea.	78
Regulación de la sombra	Mantener una iluminación difusa de aproximadamente 70 % dentro del cafetal, con el propósito de lograr un nivel de iluminación no preferido por los adultos de la broca.	89
Poda cíclica	Regular la estructura de la planta para facilitar labor de cosecha.	45
Siembra de cobertura viva	Garantizar condiciones microclimáticas para la actividad de los parasitoides liberados. Favorecer plantas florecidas en el cafetal para la alimentación de los adultos de los parasitoides liberados. Mantener humedad en la superficie del suelo para favorecer la actividad del nematodo y el hongo entomopatógenos. Favorecer descomposición de granos en el suelo.	34
Arrope al hilo (narigón)	Favorecer la descomposición de frutos goteados y la actividad de los entomonemátodos.	67
Aplicación de nematodos entomopatógenos	Reducir niveles de infestación de la broca en los granos del suelo	0,9
Trampas de captura	Suprimir poblaciones de adultos que se han introducido en los frutos goteados durante la cosecha	45

Tabla 6. Estado de la adopción relativa de prácticas agronómicas en el manejo de la broca del café durante la fase de beneficio. 2007 (PROMABROCU).

Prácticas	Propósitos	Adopción (%)
Procesamiento diario	Limitar las infestaciones procedentes del proceso de beneficio	90
Tratamiento de granos que flotan	Limitar las infestaciones procedentes del proceso de beneficio	33
Filtraje del desague	Evitar movimiento de poblaciones de adultos a través del desague del despulpe.	56
Trampas de captura	Suprimir poblaciones de adultos que emergen de los frutos cosechados	32

tribuyó a la evaluación de las restantes prácticas agroecológicas de manera independiente, las que fueron muy aceptadas y efectivas, lo que significa que cuando se logren producciones de los controladores biológicos previstos, el manejo agroecológico de esta plaga será una estrategia sostenible para nuestra producción cafetalera.

Desde luego, también la producción cafetalera ha estado afectada por fenómenos naturales, principalmente sequía y huracanes, así como por grandes limitaciones de recursos, lo que ha contribuido a que los caficultores adopten con mayor rapidez el manejo agroecológico, porque incluye prácticas que pueden ser realizadas sin decisiones ni insumos externos.

Resultan promisorias las prácticas que se relacionan con el manejo del suelo, que es el reservorio de las poblaciones de la plaga que infestan la cosecha siguiente, como es el caso de la cobertura viva, que se emplea desde hace años con éxito como un método de control biológico de malezas (Caro *et al.* 1984, CNSV 1989, Martínez 1991) y según los resultados de Simón (1989), tanto la *Zebrina pendula* como la *Commelina diffusa* constituyen refugio y alimento de los adultos de los parasitoides del minador de la hoja del café, por lo que no debe regularse en los períodos de mayor incidencia de esta plaga.

Se ha determinado además que, si no es factible la siembra de cobertura viva, debe manejarse las malezas y procurar dejar algunas que florecen en la época de mayor incidencia del minador de la hoja, para que sus flores sirvan también a los adultos de los parasitoides (Simón 1989, Vázquez 1999), siendo esto más factible para las especies consideradas como malezas nobles, de las cuales según Álvarez (2000) se han identificado 15 especies en nuestros cafetales.

De hecho la siembra de cobertura viva en los cafetales ha sido una práctica muy aceptada por la mayoría de los productores y se ha podido comprobar que ofrece las ventajas siguientes (Vázquez 2005): (1) Contribuye a la conservación del suelo; (2) Contribuye al incremento de la materia orgánica en el suelo; (3) Evita el desarrollo de las plantas competidoras (arvenses, malezas); (4) Favorece un microclima más fresco (humedad relativa y temperatura); (5) Protege a los adultos de los parasitoides de la acción del intemperismo (radiaciones solares, corrientes de aire); (6) Protege a los adultos de los parasitoides del contacto directo con los plaguicidas (químicos y biológicos); (7) Sus flores son fuentes de alimentación de los adultos de los parasitoides; (8) Contribuye al desarrollo de la microflora y microfauna del suelo (microorganismos descomponedores, hormigas, etc.); (9) Favorece la descomposición del fruto que cae al suelo durante la cosecha; (10) Mejora las condiciones del suelo para lograr una mejor actividad y sobrevivencia de los nematodos entomopatógenos (habitantes del suelo o aplicados como bioplaguicidas).

En estudios recientes (Vázquez *et al.* 2005) se pudo comprobar que los cafetales que tienen cobertura viva manifiestan menores cantidades de frutos en el suelo de una cosecha a la siguiente, ya que dichos frutos se descomponen con mayor rapidez, reduciendo las condiciones para la supervivencia de poblaciones de *Hypothenemus hampei*, además de que las migraciones de hembras adultas durante esta etapa son menos exitosas por no encontrar suficientes frutos óptimos para su ataque; desde luego, los índices de infestación en el suelo en el periodo pre cosecha son más altos, precisamente por haber menor cantidad de frutos con las características que requieren las hembras.

Para la lucha contra la broca es frecuente recomendar que el suelo esté limpio, generalmente mediante aplicaciones de herbicidas, para facilitar la recolección del fruto que cae durante la cosecha, considerada esta una práctica para reducir la infestación de la plaga en la cosecha siguiente (CNSV 1998); sin embargo, se ha demostrado que esta labor no resulta del todo eficiente y por demás tiene costos económicos y ambientales, estos últimos relativos a la conservación del suelo, entre otros; además, cuando se arropa toda la biomasa que se deriva de la diversidad de plantas que existe dentro y en los alrededores del cafetal, sea por las labores culturales o la que se aporta producto de la caída de las hojas y otros órganos, etc., se favorecen las condiciones climáticas para el desarrollo de microorganismos descomponedores de dicha biomasa, en la cual también están incluidos los frutos infestados y sanos que han caído (Vázquez 2005, Vázquez *et al.* 2005).

Al respecto refieren Baker *et al.* (1992) y Vázquez (2005), que las características de los cafetales, principalmente la sombra y la cobertura del suelo podrían tener una contribución importante en la descomposición de los frutos en el suelo con posterioridad a la cosecha, debido a factores biofísicos del cafetal, pues si consideramos que la biomasa vegetal que cubre el suelo favorece el desarrollo de microorganismos descomponedores (Martínez 1991, Vázquez 2005, Vázquez *et al.* 2005), es de esperarse que bajo la sombra del cafetal y en un régimen de precipitaciones, la pudrición y la germinación del fruto también se aceleren y por tanto sean de mayor cuantía, lo que pudiera estar relacionado con el tipo de microorganismos que se desarrolla mejor en esta diversidad de manejos, aspecto que requiere ser estudiado para buscar un manejo más eficiente del suelo en función de contribuir a la reducción de las poblaciones sobrevivientes de *H. hampei*.

Por otra parte, la ocurrencia de poblaciones de varios enemigos naturales de *H. hampei* en los cafetales del país (Vázquez *et al.* 2006), entre los que se destacan por su magnitud varias especies de hormigas (*Wasmannia auropunctata* (Roger), *Solenopsis geminata* (Fabricius), *Tetramorium bicarinatum* (Nylander), *Monomorium floricola* (Jerdon) y *Pheidole megacephala* (Fabricius) y la observación de *T. bicarinatum* estrechamente relacionada con las poblaciones

de la broca del café en el interior de frutos perforados en el suelo y la planta (Vázquez *et al.* 2009), así como la manifestación ostensible de epizootias por cepas nativas de *B. bassiana* (Elósegui *et al.* 2006, Vázquez *et al.* 2008), sugieren un alto potencial a las prácticas de conservación de enemigos naturales, las que se verán favorecidas por el manejo agroecológico del cafetal y las liberaciones inoculativas de agentes de control biológico.

Los diferentes talleres realizados y la estratificación de los participantes a nivel regional (2005), provincial (2006) y municipal (2007) constituyó un proceso muy provechoso, toda vez que permitió realizar una capacitación sobre las bases agroecológicas para el manejo de la broca del café (Fig. 3) y, como resultado de los ejercicios realizados, se logró un gran debate sobre las diversas experiencias y facilitar la adopción paulatina de las prácticas agroecológicas, ya que en los mismos participaron personas de disímiles ocupaciones (Fig. 4), desde los especialistas y técnicos que trabajan directamente en la caficultura hasta los productores de café (jefes y dueños de fincas).



Figura 3. Algunas escenas de los talleres municipales de las regiones Sagua-Nipe-Baracoa y Sierra Maestra. 2007.

Precisamente, cuando analizamos las principales prácticas de manejo de la broca del café que se realizan en toda la caficultura del país, se observa que las prácticas de control se realizan aun a niveles relativamente

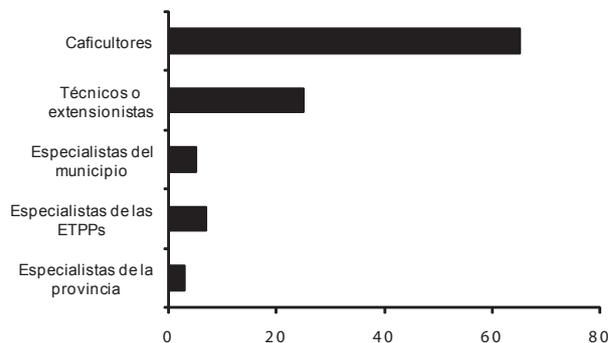


Figura 4. Ocupación de las personas y participación (%) en los diferentes talleres efectuados durante los años 2005, 2006 y 2007.

bajos y llama la atención una tendencia marcada en la disminución en el uso del insecticida endosulfán (Fig. 5) y un ligero incremento del control biológico con *Beauveria bassiana* y de las trampas de captura; en cambio, el saneamiento (eliminación de frutos infestados) se mantiene entre las prácticas principales y, por otra parte, se observa un incremento progresivo de las prácticas agronómicas, entre ellas el arropo en la base de las plantas (60 %), la siembra de cobertura viva (30 %), el manejo de la sombra y el manejo de la cosecha, lo que demuestra que el manejo agroecológico ha adquirido un protagonismo.

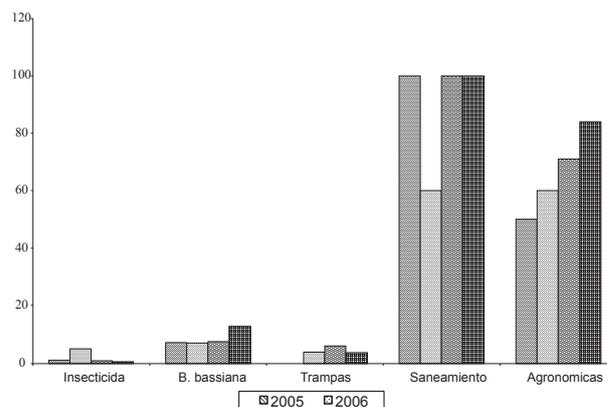


Figura 5. Nivel de realización de las prácticas de mayor importancia en el manejo de la broca del café en Cuba. 2005-2008 (Fuente: CNSV).

En particular el insecticida endosulfán durante los primeros años de ocurrencia de la plaga se aplicaba prácticamente con una frecuencia mensual en más del 60 % del área afectada y, en algunos lugares mucho más; sin embargo, como resultado del establecimiento de un sistema de monitoreo y diagnóstico para decidir la aplicación (índice 2 %) y evaluar la efectividad técnica, entre otras prácticas, el uso de este producto se fue reduciendo paulatinamente, sobre todo con posterioridad al 2003 que se aplicaba en aproximadamente el 35,5 % de las áreas hasta que en 2008 había descendido al 0,4 %.

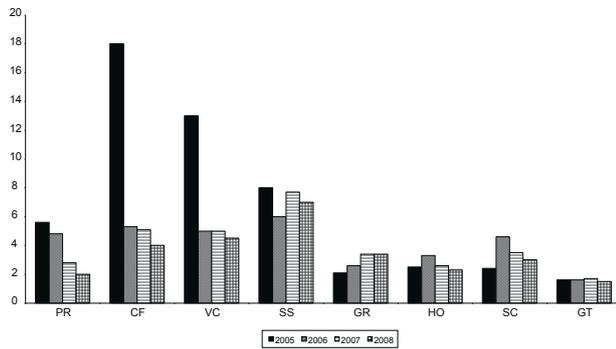


Figura 6. Comportamiento del índice de infestación de *H. hampei* en las provincias cafetaleras durante los años 2005-2008 (Fuente: CNSV).

A escala nacional, el comportamiento de la plaga ha tenido una tendencia a disminuir (Fig. 6), excepto en Sancti Spiritus y Granma donde los índices oscilan alrededor de los mismos valores; no obstante esta tendencia, de manera general los índices aun son elevados en las provincias centrales, mientras que en el resto no sobrepasan el 5 %.

Estos resultados se pueden considerar aceptables, ya que están demostrando que es posible manejar la broca del café mediante prácticas agroecológicas, pues hay que considerar que aún el control biológico no ha alcanzado el nivel esperado por razones logísticas y que los cafetales no reciben buenas atenciones culturales debido a limitaciones económicas, lo que reduce sus potenciales productivos, a lo cual contribuye también que han estado sometidos a eventos extremos del clima, principalmente huracanes y sequía prolongada.

Cuando se revisan los programas de manejo de la broca del café en algunos países de la región, el mayor peso lo ostentan las prácticas de control, sea con insecticidas químicos, mediante el empleo de controladores biológicos, el uso de trampas de captura como método de control y la eliminación de frutos infestados; sin embargo, no se atribuye importancia a las prácticas agronómicas con carácter preventivo y el uso del control biológico es limitado, como se refiere en Costa Rica por Rojas (2007), en Panamá por Pérez (2007), en República Dominicana por Contreras y Camilo (2007), en Guatemala por Campos (2007) y en México por Ramírez *et al.* (2007).

Referencias

- Álvarez RJ. 2000. Estudio de la flora arvense, sus diásporas y agentes patógenos en las principales zonas cafetaleras de Cuba. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. Universidad Central de Las Villas. Santa Clara, Villa Clara, Cuba.
- Baker PS, Ley C, Balbuena R, Barrera JF. 1992. Factors affecting the emergence of *Hypothenemus hampei*

- (Coleoptera: Scolytidae) from coffee berries. Bulletin of Entomological Research 82(2): 145-150.
- Campos O. 2007. 35 años de experiencias sobre la broca del café en Guatemala. En: la boca del café en América tropical: hallazgos y enfoques. (Barrera JF, García A, Domínguez V, Luna C, eds). México: Sociedad Mexicana de Entomología y el Colegio de la Frontera Sur, 7-16 pp.
- Caro PM, Huepp G, Muiña M, Izquierdo J. 1984. Lucha contra malezas en cafetales con más de dos años de edad mediante el uso combinado de herbicidas, cobertura viva y arroje de origen vegetal. Cienc. Tec. Agric. Café y Cacao 6: 37-48.
- CNSV (Centro Nacional de Sanidad Vegetal). 1989. Programa Integral de Defensa Fitosanitaria del Cafeto. Ministerio de la Agricultura.
- CNSV (Centro Nacional de Sanidad Vegetal). 1998. Programa de defensa contra la broca del café (*Hypothenemus hampei* Ferrari). La Habana.
- CNSV (Centro Nacional de Sanidad Vegetal). 2003. Retrospectiva y situación actual de la broca del café en Cuba. Informe Técnico del Centro Nacional de Sanidad Vegetal y Dirección Nacional de Café y Cacao, Ministerio de la Agricultura.
- Contreras T, Camilo JE. 2007. Situación de la broca del café en República Dominicana. En: La Boca del Café en América Tropical: Hallazgos y Enfoques (Barrera JF, García A, Domínguez V, Luna C, eds). México: Sociedad Mexicana de Entomología y El Colegio de la Frontera Sur, 43-55 pp.
- DNCC (Dirección Nacional de Café y Cacao). 1990. Tecnología para altas densidades en el cultivo del café. Ciudad de La Habana: CIDA.
- Elósegui O, Jiménez J, Carr A. 2006. Aislamiento, identificación y caracterización morfológica de aislados nativos de hongos mitospóricos con potencialidad para el control de especies de insectos plaga. Fitosanidad 10 (4):265-272.
- Fernández E, Acosta O, Pérez I. 1993. Manejo integrado de nematodos del género *Meloidogyne* en el cafeto. VIII Fórum Nacional de Ciencia y Técnica. Ciudad de La Habana,
- Martínez JT. 1991. Efecto del control y manejo de las malezas sobre el comportamiento de la cenosis y *Coffea arabica* L. bajo dos niveles de iluminación. Tesis Doctoral. Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias de Bayamo, Granma, Cuba.
- Pérez H. 2007. Manejo de la broca del café en la República de Panamá. En: La Boca del Café en América Tropical: Hallazgos y Enfoques. (Barrera JF, García A, Domínguez V, Luna C, eds). México: Sociedad Mexicana de Entomología y El Colegio de la Frontera Sur, 33-36 pp.
- Ramírez M, González M, Bello A, Romero S. 2007. Campaña nacional contra la broca del café en México: operación y perspectivas. En: La Boca del Café en

- América Tropical: Hallazgos y Enfoques. (Barrera JF, García A, Domínguez V, Luna C, eds). Sociedad Mexicana de Entomología y El Colegio de la Frontera Sur. México, 73-81 pp.
- Rojas M. 2007. Acciones y estrategias ante la broca del café en Costa Rica. En: La Boca del Café en América Tropical: Hallazgos y Enfoques. (Barrera JF, García A, Domínguez V, Luna C, eds). México: Sociedad Mexicana de Entomología y El Colegio de la Frontera Sur, 17-23 pp.
- Simón F. 1989. Programa de defensa integral contra el minador de la hoja del cafeto. Hoja Informativa (4) (INISAV). Ciudad de La Habana.
- Simón F. 1999. Los plaguicidas en el manejo integrado de plagas del café y su impacto ecotoxicológico sobre ecosistemas de montaña. Tesis Doctoral. Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal. La Habana, Cuba.
- Soto F, Vantour A, Hernández A, Planas A, Figueroa A, Fuentes PO, Tejeda T, Morales M, Vázquez R, Zamora E, Alfonso HM, Vázquez LL, Caro P. 2001. La zonificación agroecológica del *Coffea arabica* L. en Cuba. Macizo Montañoso Sagua-Nipe-Baracoa. Cultivos Tropicales 22: 27-51.
- Soto F, Vantour A, Hernández A, Planas A, Figueroa A, Fuentes PO, Tejeda T, Morales M, Vázquez R, Zamora E, Alfonso HM, Vázquez LL, Caro P. 2002. La zonificación agroecológica del *Coffea arabica* L. en Cuba. Macizos montañosos Sierra Maestra y Guahumaya. Cultivos Tropicales 23: 35-44.
- Vázquez LL. 2001. Principales estrategias y componentes del programa de manejo integrado de plagas del cafeto en Cuba. En: XVII Congreso Venezolano de Entomología. Maturín, Monagas. Conferencias, 55-63 pp.
- Vázquez LL. 2005. Experiencia cubana en el manejo agroecológico de plagas en cafeto y avances en la broca del café. En: Simposio sobre Situación Actual y Perspectivas de la Investigación y Manejo de la Broca del Café en Costa Rica, Cuba, Guatemala y México. México: Sociedad Mexicana de Entomología y El Colegio de la Frontera Sur, Tapachula, Chiapas, 46-57 pp.
- Vázquez LL, Bell N, Blanco E, Pena E, García R, Murguido C. 1999. Diagnóstico, bioecología y control de la Broca del Café. Informe Final de Investigación. Programa Desarrollo Sostenible de la Montaña. MINAG-CITMA. Ciudad de La Habana.
- Vázquez LL, Blanco E, Elósegui O, Matienzo Y, Alfonso J. 2006. Observaciones sobre enemigos naturales de la broca del café (*Hypothenemus hampei* Ferrari) en Cuba. Fitosanidad 10(4):307-308.
- Vázquez LL, Elósegui O, Alfonso J, Álvarez A. 2008. Regulación natural de la broca del café. Agricultura orgánica 14(3): 32-34.
- Vázquez Moreno LL, García Castillo R, Peña Marrero E. 2005. Observaciones sobre la ocurrencia de broca del café (*Hypothenemus hampei*) en los frutos que caen al suelo. Fitosanidad 9(2). 47-48.
- Vázquez LL, Matienzo Y, Alfonso J, Moreno D, Álvarez A. 2009. Diversidad de especies de hormigas (Hymenoptera: Formicidae) en cafetales afectados por *Hypothenemus hampei* Ferrari (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). Fitosanidad 13(3): 163-168.

REVALORANDO VIEJAS PRÁCTICAS MAYAS DE MANEJO DE PLAGAS DEL MAÍZ ALMACENADO PARA LA AGRICULTURA DEL FUTURO

Helda Morales, Pedro Ramírez, Heidi Liere, Soledad Rodas, Juan Carlos López

El Colegio de la Frontera Sur, Carretera Panamericana y Periférico Sur S-N, San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México.

Resumen

Se presentan los resultados de una serie de estudios para documentar y evaluar el conocimiento tradicional de manejo de plagas en granos de maíz almacenado entre agricultores mayas. Se realizaron 157 entrevistas en cinco comunidades de Los Altos de Chiapas y tres comunidades del altiplano guatemalteco. *Sithophilus zeamais* y *Sitotroga cerealella* fueron los insectos más comúnmente reportados. El 50% de los agricultores usa insecticidas, muchas veces en una forma inapropiada. Sin embargo aun utilizan varias prácticas tradicionales de manejo, que son en su mayoría de carácter preventivo (variedades criollas, fechas estrictas de cosecha, secado del maíz antes de guardarlo, aplicación de cal, e incorporación de plantas repelentes y utilización de graneros fríos y secos). Se establecieron experimentos para probar la efectividad de estas prácticas. El uso de variedades criollas amarillas, la incorporación de hojas de *Piper auritum*, y un lugar seco y frío para el almacenamiento parecen ser prácticas efectivas para reducir el ataque de plaga. A través de talleres se divulgaron los resultados de la investigación, con el fin de invitar a los jóvenes agricultores de la región a probar las prácticas que inventaron sus ancestros. Una encuesta realizada un año después de los talleres sugiere que los talleres provocaron cambios positivos entre los jóvenes y su actitud hacia las prácticas tradicionales. Los principios del conocimiento tradicional maya para la protección del maíz almacenado tienen potencial para la agricultura orgánica y la seguridad alimentaria en uno de los centros de domesticación del maíz, dos prioridades de la agricultura de hoy y el mañana.

Palabras clave: Granos almacenados, conocimiento tradicional, manejo ecológico de plagas, control cultural, prevención de plagas, poscosecha

Summary

The value of old Mayan practices for pest storage grain management for modern and future and future agriculture.

We present results of a series of studies documenting and evaluating traditional knowledge of pest in stored grains among Mayan farmers. We performed 257 interviews in five communities in the Chiapas highlands and in three communities in the Guatemalan highlands. *Sithophilus zeamais* and *Sitotroga cerealella* were the most commonly reported insects. Fifty % of farmers use the pesticide aluminum phosphide or malathion, often in inappropriate ways. However they still employ several traditional management practices, the majority of which are preventative (local varieties, strict harvest dates, drying maize before storage, lime application, incorporation of repellent plants and cool, dry granaries). We conducted experiments to test the efficacy of these practices. The use of traditional yellow corn variety, the incorporation of *Piper auritum* leaves and lime in the storage, and dry, cool storage room seem to reduce pest attacks. We communicated our findings through workshops inviting young farmers to try the techniques invented by their ancestors. A survey performed a year after the workshops suggested that the workshops induced positive changes in young farmers' attitudes towards traditional practices. The principles of Maya traditional knowledge of stored grain protection have potential for application to organic agriculture and for food security in one of the domestication centers of maize, two priorities for today's and tomorrow's agriculture.

Key words: Storage grains, traditional knowledge, ecological pest management, cultural control, pest prevention, postharvest

Introducción

En todo el mundo, las plagas del maíz almacenado causan graves pérdidas y amenazan la seguridad alimentaria (Pretty y Hine 2001). En las regiones tropicales las pérdidas causadas por las plagas del almacén puede ser mayores al 40% (García-Lara y Bergvinson 2007). En las zonas altas de Chiapas y el altiplano de Guatemala, uno de los centros de domesticación del maíz (Kato 1984), los agricultores tradicionalmente no han sufrido ataques considerables de plagas (Morales y Perfecto 2000). Sin embargo, recientemente se ha incrementado el problema en esta región, posiblemente debido al abandono de prácticas tradicionales de manejo. Aunque a partir de los acuerdos de paz, en Guatemala se han hecho esfuerzos para disminuir el racismo, en toda la región aun es frecuente menospreciar el conocimiento de los campesinos mayas. Adicionalmente, las políticas económicas actuales han provocado que el maíz ya no sea rentable, empujando a los agricultores a buscar trabajos afuera de la producción de milpa para complementar sus ingresos, y adoptar el uso de plaguicidas para simplificar el trabajo que el maíz requiere.

Alrededor del mundo se han hecho esfuerzos en documentar esta información como complemento a programas ya existentes (Warren 1992), reconociendo tanto sus limitaciones como la contribución potencial al desarrollo (Thrupp 1989). La importancia de estas prácticas está en que han surgido luego de cientos de años de experiencia y de búsqueda de soluciones a problemas de plagas por miles de grupos étnicos alrededor del mundo. Las prácticas son dinámicas y están constantemente influenciadas por la creatividad y experimentación. La agricultura tradicional ofrece modelos prometedores ya que conserva la agrobiodiversidad (considerado un concepto clave en el diseño de agricultura sostenible de hoy en día (Altieri 1993)), protege las reservas de diversidad genética y sostiene cosechas año tras año sin el uso de agroquímicos (Altieri 2004). Por otro lado, fortalecer y fomentar el uso de conocimiento tradicional de plagas, no sólo trae beneficios a la ciencia y al ambiente, si no también es una forma en que los agricultores sean menos dependientes de insumos externos y de compañías de agroquímicos que pueden tener altos costos. Según Thrupp (1989), legitimizar este conocimiento también es una forma de ayudar a estas comunidades a desarrollar respeto personal, confianza y orgullo en su propio conocimiento y capacidad, haciendo que estas comunidades no desplacen sus prácticas por agricultura mecanizada y manejada por químicos. Estudios realizados por Morales y Perfecto (2000) muestran que agricultores del altiplano guatemalteco tienen un amplio conocimiento sobre las prácticas preventivas de manejo de plagas de maíz. Estas prácticas probablemente sean efectivas y ambientalmente amigables y debido a la poca importancia que se le da

por parte de instituciones, están en peligro de ser sustituidas por métodos no sustentables.

Aquí pretendemos documentar el conocimiento y prácticas de manejo de plagas del maíz almacenado entre pequeños productores de los Altos de Chiapas y el Altiplano de Guatemala, evaluar la efectividad biológica de alguna de las prácticas reportadas y discutir las limitaciones y factibilidad de adaptación de las mismas para la agricultura del futuro.

Materiales y Métodos

Documentación del conocimiento de manejo de plagas del maíz almacenado: Con el fin de conocer sobre los problemas de plagas en el maíz almacenado y sobre los métodos de manejo entre agricultores mayas, se realizaron encuestas en 5 comunidades de los Altos de Chiapas y 3 comunidades del Altiplano Central de Guatemala. En total se realizaron 154 encuestas en Chiapas y 103 en Guatemala. Se trató de entrevistar tanto a hombres como a mujeres, así como a agricultores jóvenes y ancianos.

Además de las encuestas, se realizaron observaciones de las prácticas de almacenamiento del grano de maíz y se realizaron algunas entrevistas a profundidad. Las encuestas y entrevistas se hicieron en tsotsil, tseltal, kakchiquel o tzutuhil y español, según el idioma de cada comunidad, por lo que se contó con el apoyo de traductores.

Evaluación de la efectividad biológica de las prácticas tradicionales de manejo de plagas del maíz almacenado:

Se realizaron 8 bioensayos a nivel de laboratorio y trojas para evaluar la eficacia de 5 métodos documentados en la encuesta, entrevistas y observaciones. Se comparó el ataque de plagas a diferentes variedades de maíz producido en la región con bioensayos a nivel en almacenes y en trojas tradicionales; el ataque de plagas del almacén en mazorcas con tusa y sin tusa; el ataque de plagas en maíz cosechado en diferentes fases lunares; se estudió la mortalidad de *Sithophilus zeamais* por polvos vegetales de chilca (*Barkleyanthus saliscifolius*), frijol y maíz; la mortalidad de *S. zeamais* con diferentes concentraciones de hierba santa o mumu (*Piper auritum*), la variabilidad de las hojas de mumu en la mortalidad de *S. zeamais* y la mortalidad de *S. zeamais* por cal hidratada (hidróxido de calcio).

Variedades:

Para determinar si hay diferencia del ataque de plagas del almacén entre las diferentes variedades de maíz criollo, se colectó maíz amarillo, blanco y negro de nueve agricultores entrevistados en las 5 comunidades de Chiapas, teniendo un diseño completamente al azar con tres tratamientos y nueve repeticiones. Cada colecta se almacenó en cajas plásticas abiertas que se dejaron en una bodega por ocho meses. Se realizaron tres muestreos, el primero al establecer el experimento,

el segundo a los cuatro meses y el tercero a los ocho meses. En cada muestreo se contó el número de plagas del grano y el número de especies por caja. Las variables fueron analizadas con un análisis de varianza de una vía para cada muestreo.

Un estudio similar se estableció en seis trojas tradicionales de los Altos de Chiapas. Las trojas de 1 metro cuadrado y 2 metros de alto, fueron construidos con adobe y con techo de tejas de barro. En ellas se estableció un ensayo con las mismas tres variedades de maíces criollos del ensayo anterior y dos variedades introducidas, con seis replicas constituidas por una troja cada una. Cada variedad estaba en una red de lazo para mantenerla separada de las otras. Se almacenó el maíz en ellas durante un año y se realizaron muestreos mensuales para evaluar el número de insectos y el daño.

Tusa:

Paralelamente, en las mismas trojas se estableció otro ensayo para comparar el ataque de plagas entre mazorcas con la tusa o el doblador con mazorcas peladas. Los datos acumulados de ambos ensayos fueron analizados con un análisis de varianza en bloques al azar.

Luna.

Para determinar si hay diferencia en el porcentaje de daño causado por insectos entre el maíz cosechado en luna llena con el cosechado en luna nueva, se realizaron cosechas en esas dos fases lunares en dos sitios por mes, por tres meses. Un total de 5 sitios fueron muestreados. En la Tabla 1 se describe el diseño.

Tabla 1. Diseño experimental para evaluar el efecto de cosechar el maíz en luna llena y luna nueva.

Fase lunar	Cosechas					
	Luna Nueva			Luna Llena		
Mes	enero	febrero	marzo	enero	febrero	marzo
Lugar	Sitio 1	Sitio 2 Sitio 3	Sitio 4 Sitio 5	Sitio 1 Sitio 2	Sitio 2 Sitio 3	Sitio 4 Sitio 5

Se tomaron muestras de maíz provenientes de todas las cosechas (todos los sitios cosechados en las dos fases lunares y de los tres meses muestreados). Para cada tratamiento se colocaron 100g de grano en frascos plásticos de 250g con 5 repeticiones por tratamiento. Luego de dos meses se hicieron mediciones del daño en el maíz y el número de individuos presentes en cada muestra. Los datos fueron analizados utilizando análisis de varianza de dos vías.

Polvos vegetales:

Se estableció un bioensayo en frascos para determinar si los polvos vegetales de chilca, polvo de maíz y el polvo de frijol tienen efecto sobre las poblaciones de gorgojos. Para ello se colocaron 100 gr de maíz esterilizado en frascos plásticos cerrados. Cada frasco se inoculó con 10 gorgojos *S.zeamais* de no más de 3 días de nacidos. Se estableció un diseño completamente al azar con 100 re-

peticiones y se guardaron los frascos en el laboratorio. Se realizaron muestreos cada dos semanas durante dos meses, registrando el número de gorgojos vivos y muertos. El número acumulado de gorgojos muertos fue analizado al final del ensayo con un ANDEVA de una vía.

Un bioensayo similar se estableció para evaluar el impacto de polvo de hojas de mumu en dos diferentes concentraciones (0,5% y 2,5% del volumen) y un testigo con solo maíz sobre la mortalidad de gorgojos. Se registró el número de gorgojos muertos cada 24 horas. Paralelamente se evaluaron hojas de mumu provenientes de plantas creciendo en localidades de Chiapas a diferentes altitudes sobre la mortalidad de los gorgojos.

Finalmente, se montó un experimento donde compará- bamos aplicaciones de cal hidratada en dos dosis (1% y 5% del volumen del frasco), con un testigo sobre poblaciones de gorgojo *S.zeamais* en un diseño como el anterior.

En el último año del proyecto, se realizaron talleres en todas las comunidades donde se realizaron las entrevistas para iniciar el proceso de intercambio de experiencias de campesino a campesino y dar a conocer los resultados de la investigación entre agrónomos y educadores de la región. En el taller se exhibe el video "Ixim: la milpa de los ancestros" donde campesinos comparten sus experiencias de manejo de plagas; se obsequia el CD "Que hable la milpa" que contiene canciones originales señalando el peligro de los plaguicidas y la efectividad de algunas de las prácticas tradicionales; y se presenta un taller de títeres. En cada taller se hacía una invitación a los jóvenes agricultores de la región para que probaran las prácticas que inventaron sus ancestros para manejar las plagas.

Un año después de ofrecidos los talleres se realizó una pequeña encuesta entre los asistentes para determinar si estaban utilizando algunas de las prácticas presentadas en los talleres, su actitud a las prácticas tradicionales y si habían cambios en el uso de plaguicidas. Para ello, de la lista de asistencia, se eligieron al azar a 10 personas de cada una de las 5 comunidades de Chiapas.

Resultados

Encuesta

Plagas del almacén en el altiplano de Chiapas y Guatemala:

Al hacer un análisis de frecuencias de las respuestas de todos los entrevistados se observa que 95.3% de los encuestados reporta tener plagas en el maíz almacenado, tal como gorgojos *Sithophilus zeamais* (Motschulsky) (Coleoptera: Curculionidae) y *Sitotroga cerealella* Olivier (Gelechiidae: Lepidoptera). Sin embargo solo 39% reporta sufrir daños por ellas.

Métodos de manejo:

Más de la mitad (52%) de los productores entrevistados declaró aplicar insecticidas a sus granos almacenados

para el control de las plagas. El plaguicida más comúnmente mencionado fue "la pastilla" de Fosforo de Aluminio y algunos usan Malatión. Sin embargo una cantidad significativa de productores declaró que no usa ningún plaguicida en su maíz almacenado. Incluso los que usan insecticidas, usan además otras estrategias para el manejo de las plagas del almacén. Estas estrategias se basan en el conocimiento heredado por sus antepasados (Tabla 2).

Tabla 2. Prácticas utilizadas por agricultores de los Altos de Guatemala y el Altiplano de Guatemala para manejar las plagas del maíz almacenado.

Prácticas de manejo de plagas del maíz almacenado	Porcentaje de agricultores que la practican.
Fosforo de aluminio	52%
Variedades resistentes	81%
Cosecha con la luna llena	76%
Lugar de almacenamiento frío y seco	51%
Almacenamiento de la mazorca con tusa o doblador	51%
Doblan la milpa antes de la cosecha para un secado completo del grano	49%
Aplican cal en el almacén	49%
Secan el maíz en el patio antes de guardarlo	43%

La estrategia más comúnmente mencionada es la utilización de variedades tolerantes al ataque de plagas del almacén. La variedad más frecuentemente mencionada como resistente fue el maíz amarillo, seguido por el tuxpeño. Algunos pocos mencionaron al maíz negro como el más resistente. Ningún productor mencionó las variedades introducidas o híbridos como resistentes.

La segunda práctica más mencionada como efectiva para el manejo de plagas del almacén fue la de cosechar con la luna llena. Los productores en los Altos de Guatemala y Chiapas tradicionalmente dicen que cosechan el maíz durante la luna llena de enero a marzo, porque durante la luna llena el maíz tiene más humedad y resiste mejor el ataque de plagas.

Cincuenta y seis por ciento mencionaron que es importante guardar los granos en un lugar frío y seco para evitar el ataque de plagas. Los lugares de almacenaje varían mucho de un sitio a otro y de familia a familia. En Guatemala, muchos productores guardan sus granos en una choza de cañas de bambú o maíz. En Chiapas, observamos casitas hechas con adobe y teja de barro, ollas grandes de barro y cajones de madera. También vimos que en ambos países es muy frecuente guardar el maíz en el tapanco de las casas de habitación dentro de costales de nylon.

Antes de almacenar el maíz, realizan varias tareas para secar y mantener seco el grano. Cuando el grano está completamente formado, doblan la planta para que seque y evitar que entre el agua por la punta de la mazorca. Entre uno a tres meses después, cosechan el maíz. La mayoría de los agricultores asolean el maíz cosechado para secarlo y evitar la infestación de los granos por gorgojos y palomillas. También durante la noche dejan afuera los granos para que reciban el sereno de la noche. Según ellos, asolear y serenar en la noche endurece los granos y evita la entrada de plagas. Los agricultores aseguran que con estas prácticas de secado los granos se conservan por varios meses sin que se piquen.

Ya dentro del sitio de almacenamiento, alrededor de la mitad de los productores mencionaron que para proteger al maíz del ataque de insectos es conveniente guardarlo dentro de la tusa o doblador. Sin embargo también mencionaron que muchas veces no lo hacen porque eso aumenta el riesgo de ataque de ratas. Es también común ver las mazorcas que se reservarán para la semilla del ciclo siguiente, colgadas en las vigas de las casas o colgadas en las cocinas sobre las estufas de leña para que el humo las proteja del ataque de insectos. El maíz para vender es generalmente almacenado desgranado y en costales de nylon.

Aproximadamente la mitad de los entrevistados también mencionaron que aplicar cal al maíz almacenado disminuye el ataque de plagas. Si guardan el maíz desgranado, este es mezclado con cal de manera homogénea y luego se coloca en costales. Si guardan los granos de maíz en una troja, la cal es aplicada entre capas del grano.

Tabla 3. Plantas utilizadas por agricultores de los Altos de Chiapas para el manejo de plagas de maíz almacenado.

Especie	Nombre común	Parte de la planta utilizada y forma de uso
<i>Piper auritum</i>	Mumu, hierba santa	-Hojas frescas poniéndolas por capas entre los granos. -Hojas secadas al sol, molidas y mezcladas con los granos.
<i>Pinus tecunumanii</i> y <i>P. oocarpa</i>	Pino de ocote	-Madera cortada en pedacitos de un centímetro y medio. -5 kilos de ocote/ 600 kilos de maíz -ocote mezclado en forma uniforme entre las mazorcas.
<i>Barkleyanthus salicifolus</i>	Chilca	-Raíz, hojas y flores -Hojas frescas o secadas al sol. -Un puño por 50 kilogramos de grano
<i>Zea mays</i>	Polvo de maíz	-Polvo del maíz producido al desgranar -Mezclan el polvo con el maíz.
<i>Phaseolus vulgaris</i>	Cascabillo o polvo de frijol	-Cascabillo de frijol (polvo que sueltan las vainas secas a la hora de golpearlas) mezclado con el maíz.
<i>Solanum spp.</i>	Chile	-Mezcla de frutos enteros, previamente secos con granos almacenados.

Durante las observaciones a los sitios de almacenaje del grano y de las entrevistas a profundidad realizadas, se obtuvo una lista de prácticas que no son tan difundidas como las mencionadas en la encuesta, pero que parecen ser importantes para los agricultores que las practican. La mayoría de estas prácticas consisten en la incorporación de plantas y material vegetal con los granos almacenados para repeler o matar los insectos del almacén (Tabla 3).

Posiblemente por esta serie de prácticas de manejo de plagas, a pesar que casi la totalidad mencionó tener plagas en el almacén, solo 20% las percibe como un problema.

Otro aspecto interesante a resaltar es que muchos agricultores acuden a sus antiguas costumbres rituales con el fin de prevenir las plagas de los granos de maíz. Visitan los lugares sagrados, tal como iglesias, cuevas, cerros y nacimientos de agua. Al llegar a estos lugares su petición es, que no llegue *bakni, joch'* (gorgojo) y *supul* (palomilla) a los granos de maíz. Llevan ofrendas como velas, inciensos, flores, refrescos, licor y comida. Aseguran que al entregar sus ofrendas en los lugares sagrados reciben una respuesta favorable porque no se daña el maíz almacenado.

Bioensayos

Varietades.

Los insectos granívoros encontrados en las muestras de maíz fueron principalmente el gorgojo *Sitophilus zeamais* y muy raramente la palomilla *Sitotroga cerealella*. La Figura 1 muestra que desde el campo algunas de las muestras ya venían infestadas del gorgojo, pero en muy bajas cantidades (entre 0 y 17 gorgojos por muestra), durante el primer muestreo no se encontró diferencia significativa entre las tres variedades de maíz ($p=0,306$). Cuatro meses después, el número de gorgojos seguía siendo bastante bajo (entre 0 y 66 gorgojos por muestra), pero ya parece haber diferencia entre las tres variedades. Se encontró un menor número de gorgojos en las muestras de maíz negro ($p=0,058$). Sin embargo, a los ocho meses de almacenamiento, el número de gorgojos se disparó y ya el daño causado a los granos era evidente. El mayor número de gorgojos se encontró en las muestras de maíz blanco ($p=0,075$).

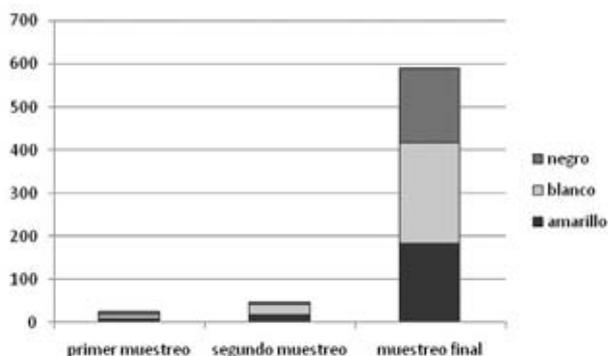


Figura 1. Número de *Sitophilus zeamays* en variedades de maíz de los Altos de Chiapas, inmediatamente después de la cosecha ($p=0,306$), seis meses ($p=0,058$) y ocho meses después de la cosecha ($p=0,075$).

Trojas.

Los insectos granívoros encontrados en las trojas fueron los mismos a los encontrados en las bodegas. Sin embargo, durante el año de muestreo, los gorgojos y las palomillas no pasaron de 5 por cada costal. El daño causado por ellos fue mínimo por lo que no se pudo evaluar si había diferencias en el ataque de plagas entre las diferentes variedades.

Tusa.

Lo mismo ocurrió en el ensayo comparando mazorcas con tusa y sin tusa. La única diferencia encontrada fue que en las mazorcas con tusa, en los primeros dos muestreos se encontraron entre 4 a 7 tijeretas *Dorus spp.* Estas no aparecieron en los muestreos siguientes.

Luna.

Luego de evaluar los datos con el ANDEVA de dos vías se observó que tanto para el número de pupas como para el número de adultos de *S. cerealella* hubo una diferencia significativa entre el número de individuos y la fase lunar en que fueron cosechadas las muestras (pupas=0.004; adultos: $p= 0.002$). En ambos casos se encontraron más individuos en promedio en luna nueva (adultos= 91.4, pupas= 159.1) que en luna llena (adultos= 15.6, pupas=32.8). Pero, las muestras de luna nueva tuvieron dos semanas de ventaja. Para contrarrestar este error, se hizo un estimado del número de individuos adultos que pudieron haberse encontrado en las muestras de luna llena si el muestreo hubiera sido dos semanas después. *S. cerealella* dura de 8 a 11 días en pasar de pupa a adulto, si las muestras de luna llena hubieran permanecido dos semanas más en los frascos, todas las pupas hubiesen podido convertirse en adultos. En el nuevo análisis se sumó únicamente a los datos cosechados en luna llena, el número de pupas que había en cada frasco con el número de adultos. En este nuevo análisis la diferencia entre las muestras de las cosechas de las dos fases lunares dejó de ser significativa ($p= 0.260$). Hubo más porcentaje de daño en las muestras cosechadas durante luna nueva (57.93%) que en luna llena (14.34%) ($p= 0.008$) (Fig. 2). Por último, también se hizo un análisis en donde se encontró que hubo significativamente ($p=0.020$) mayor pérdida en el peso en las muestras de la cosecha de la luna nueva (4 %) que las provenientes de la luna llena (2%).

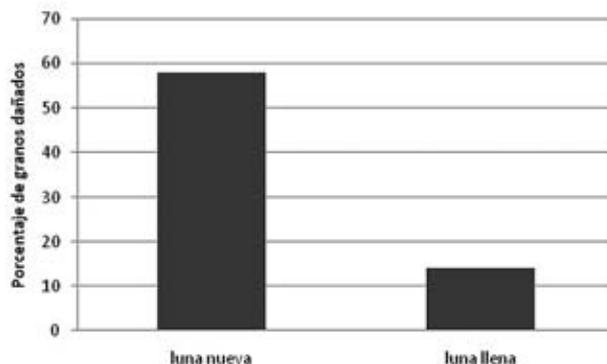


Figura 2. Porcentaje de daño en granos de maíz almacenado cosechado en dos fases lunares distintas durante tres meses ($p= 0.008$).

Polvos vegetales.

Cómo se muestra en la Figura 3, ninguno de los tratamientos difirió del testigo en términos de la mortalidad de gorgojos entre los diferentes polvos evaluados ($p=0,27$). La chilca que es comúnmente utilizada para preservar granos en los Altos de Chiapas no parece tener ningún impacto sobre los gorgojos.

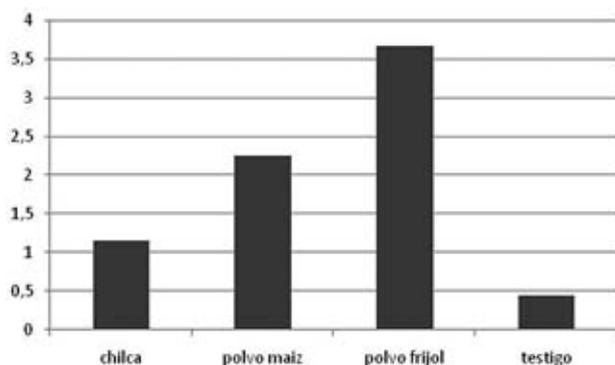


Figura 3. Número de *Sitophilus zeamays* muertos, de un total de 10 que fueron colocados en granos de maíz almacenado en frascos plásticos con diferentes polvos vegetales ($p=0,27$).

Por el contrario, los ensayos con mumu sí sugieren que este tiene un efecto insecticida. A las 48 horas, ya habían diferencias significativas entre los tratamientos, y a los 8 días ya se habían eliminado al 90% de los insectos ($p=0,05$) (Fig. 4).

Mortalidad de *Sitophilus zeamais* causada por *Piper auritum*

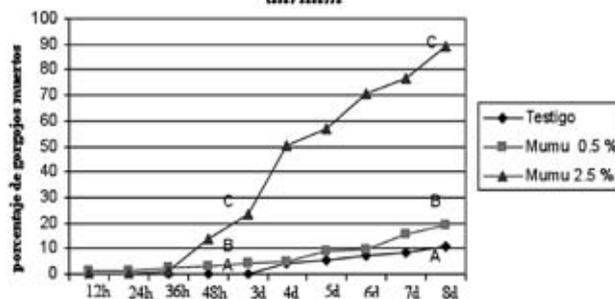


Figura 4. Porcentaje de *Sitophilus zeamays* muertos en frascos conteniendo granos de maíz y polvo de *Piper auritum*. A partir de las 48 horas, las diferencias ya son significativas ($p=0,05$).

Sin embargo, parece que la efectividad del mumu sobre los gorgojos varía dependiendo del lugar de colecta de la planta (Fig. 5). Nuestros datos sugieren que las plantas provenientes de altitudes mayores (San Cristóbal de Las Casas 2100 msnm, Oxchuc 2000 msnm) son más efectivas que las provenientes de lugares con menores altitudes (Tapachula 171 msnm, Selva Lacandona 500 msnm) ($p=0,06$).

Cal.

A las 48 horas de establecido el experimento, ya habían diferencias significativas entre los tratamientos, y a los 8 días de haber montado el experimento se elim-

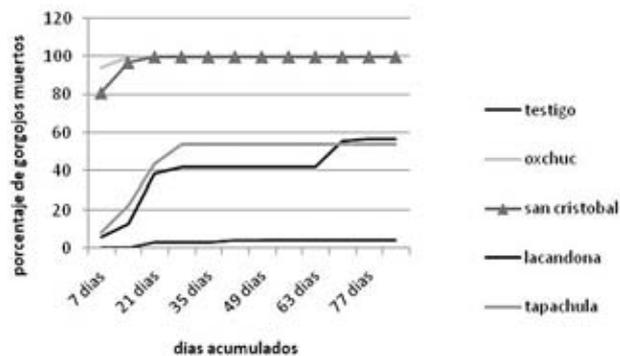


Figura 5. Porcentaje de *Sitophilus zeamays* muertos en frascos conteniendo granos de maíz y polvo de *Piper auritum* proveniente de 4 localidades de Chiapas ubicadas a diferentes altitudes. Los polvos provenientes de Oxchuc y San Cristóbal de Las Casas difieren significativamente de los polvos provenientes de la selva Lacandona y Tapachula. Todos los tratamientos difieren significativamente del testigo ($p=0,06$).

Mortalidad de *Sitophilus zeamais* causada por cal

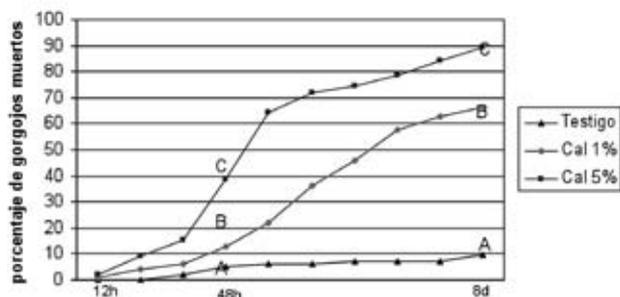


Figura 6. Porcentaje de *Sitophilus zeamays* muertos en frascos conteniendo granos de maíz y cal. A partir de las 48 horas, las diferencias ya son significativas ($p=0,04$).

inó al 90% de los insectos con la dosis de cal al 5% del volumen del frasco (Fig. 6) ($p=0,04$).

Resultados taller

Los talleres realizados en las comunidades atrajeron a los agricultores. Es interesante destacar que muchos no apreciaron en un inicio que les reportáramos lo que ellos ya saben y muchos aun practican. Sin embargo, algunos de ellos cambiaban de opinión y veían la importancia de la promoción del conocimiento tradicional entre los jóvenes, después de que algún miembro de la comunidad se los hacía ver. En todas las comunidades donde se realizó el taller, siempre había alguien agradecido de que éramos las primeras personas que no les llegábamos a decir que hacer, sino a valorar lo que ya se hace y a estimularlos a experimentar en base a su propio conocimiento.

Las encuestas posttaller, muestran que un 100% de los entrevistados están consientes de los peligros de los plaguicidas. La aplicación del mumu en los granos almacenados, fue la única de las prácticas tradicionales que 35% de los entrevistados manifestaron que habían probado y que estaban satisfechos con ella.

Discusión

La búsqueda de variedades resistentes para el manejo ecológico de plagas es un constante reto para los mejoradores genéticos y los expertos en sanidad vegetal. Sin embargo, son pocos o nulos los éxitos logrados para el manejo de plagas del maíz almacenado. Los bioensayos para comparar el ataque de gorgojos entre las distintas variedades criollas utilizadas por los agricultores de los Altos de Chiapas sugieren que tal como lo han observado la mayoría de los agricultores, la variedad amarilla es más resistente que la variedad blanca. Cabe destacar sin embargo, que todas las variedades criollas estudiadas no sufrieron daños considerables hasta después de los seis meses de almacenaje, lo cual parece dar un margen bastante bueno a los productores. Es necesario para futuros estudios, no solamente clasificarlas por color como lo hacen los productores, sino determinar de qué variedades se tratan y compararlas con las variedades que impulsa el gobierno y con las que adquieren los productores de las compañías de semillas.

El planificar las actividades de cosecha con las fases lunares es una práctica frecuentemente reportada, no sólo en Chiapas y Guatemala, sino a nivel mundial. A pesar de que existe gran cantidad de información anecdótica disponible, en el que la luna tiene algún tipo de influencia sobre las actividades agrícolas y silvícolas (Carter y Snedaker 1969, Ek *et al.* 1982, Rojas 1988, Thrupp 1989, Morales y Perfecto 2000, Vecinos Mundiales Guatemala 2000), hay pocos estudios científicos que den una explicación fisiológica o ecológica, quizás porque es difícil encontrar una hipótesis de trabajo que justifique los estudios o por la dificultad en montar un ensayo apropiado. Nuestro ensayo tiene la limitante de que durante los tres meses en los que se replicó el ensayo, por la naturaleza del estudio, siempre se cosechó el grano en luna nueva dos semanas antes que los granos cosechados en luna llena. Para contrarrestar ese sesgo, los datos fueron transformados estimando como crecería la población de *Sitotroga cerealella* de los granos cosechados en luna llena en las dos siguientes semanas. Los datos sugieren que tal como lo afirman los productores, el daño es mayor en los granos cosechados en la luna nueva. Es necesario sin embargo para poder concluir, desarrollar un experimento de forma tal que el problema del desfase entre las dos lunas sea eliminado. Si realmente existe diferencia, es importante entender a que debe. En la mayoría de los casos los agricultores mencionan que hay más humedad en las plantas durante la fase de luna nueva. Al existir una influencia lunar sobre la humedad de las plantas, como ha sido reportado a nivel mundial, es bastante probable que se tenga cambios en el número de insectos encontrados en el almacén ya que se conoce que la humedad es un factor determinante en el desarrollo de los insectos (Christensen y Kaufmann 1976, Hosney 1994, Ramírez 1979).

Además, no sólo grandes diferencias en el porcentaje de humedad son capaces de causar efecto en algunos insectos. Así lo mostró Smith (1993) estudiando *Sitophilus sp.*, en donde pequeños cambios en la humedad del maíz fueron perceptibles por esta plaga. Aunque parece bastante improbable que pudiera haber efecto lunar en la planta de maíz al momento de la cosecha (ya que en este momento la planta se encuentra bastante seca), estudios por Zürcher (1998) han mostrado que existe efectos lunares en la fisiología diaria en árboles en donde el diámetro del tallo fluctúa reversiblemente al igual que las mareas. En la madera ya no hay presente células vivas en el duramen, lo que lleva a Zürcher a la hipótesis que el agua puede moverse alternadamente de los protoplastos (células vivas) a las paredes celulares de los vasos conductores (las cuales no contienen células vivas). Si efectivamente las fases lunares pueden causar variaciones en la humedad presente en el maíz, es bastante probable que el mismo maíz cosechado en las distintas fases lunares responda de distinta manera en la etapa de almacenaje. Un grano más húmedo estará más propenso a daño, tanto por plagas como por factores ambientales entre las distintas cosechas ya que se conoce que la humedad es un factor clave en la preservación de los granos y los insectos y hongos son muy susceptibles a estas diferencias en humedad.

El uso de plantas para la protección del maíz almacenado fue raramente mencionado por los agricultores entrevistados, sin embargo, en San Juan Chamula, Chiapas, es conocido que los granos son comúnmente tratados con chilca. Nuestro estudio no muestra ningún efecto ni de las hojas de chilca, ni de el escobillo, ni del polvo de maíz. Esto contradice los hallazgos de otros investigadores que han evaluado el efecto de la chilca (Rodríguez y López 2001). Como ocurre con algunas plantas medicinales, es posible que la diferencia se deba a la hora, la época del año, o el estado vegetativo en que se cosecha el material vegetal, ya que la producción de compuestos secundarios y los aceites esenciales no es constante.

Nuestros datos sugieren que un fenómeno parecido podría explicar las diferencias encontradas entre la efectividad de las hojas de mumu cosechadas de plantas creciendo en diferentes altitudes. Las hojas de mumu creciendo en altitudes arriba de 2000 metros sobre el nivel del mar parecen tener un efecto letal sobre las poblaciones de gorgojos, mientras que las plantas de mumu creciendo en altitudes menores no parecen ser efectivas.

Nuestro bioensayo para evaluar la cal, aunque a nivel de laboratorio, corrobora los hallazgos de otros investigadores que han evaluado el impacto de los polvos inertes sobre las plagas del almacén.

Los tratamientos establecidos dentro de las trojas tradicionales de adobe no pudieron ser evaluados debido a que no hubo presencia de gorgojos, ni palomillas. Posible-

mente esto se deba a la efectividad de las para el manejo de plagas, pero con este estudio no lo podemos concluir. Vale la pena establecer futuros estudios comparando el impacto de las trojas con otros sitios de almacenamiento.

Aunque aún hay muchos detalles por afinar y comprender, en general podemos concluir con bastante confianza que las variedades criollas utilizadas en los Altos de Chiapas, las incorporación de hojas de *Piper auritum* provenientes de los Altos de Chiapas y la incorporación de cal, son estrategias efectivas para el manejo de plagas del maíz almacenado.

Con un modesto presupuesto, todas las prácticas mencionadas por los productores del Altiplano de Guatemala y los Altos de Chiapas, así como el resultado de los bioensayos fueron presentados en las comunidades de estudio tanto en una presentación formal, cómo en una forma lúdica. Ambas fueron recibidas con interés, pero fueron las canciones, el video y el teatro guiñol lo que realmente abrió la discusión entre nuestro equipo de investigación y los productores. Durante las presentaciones formales, los agricultores se mantuvieron atentos e hicieron preguntas relevantes, pero rara vez discutieron o cuestionaron el estudio. Sin embargo, en numerosas ocasiones, cuando preguntábamos a través de las marionetas sobre la relevancia de las prácticas para la agricultura de hoy, los productores con toda confianza señalaban que era difícil para ellos esperar a la luna llena para cosechar sus granos porque tienen otros trabajos afuera de la agricultura; que hay que ser cuidadosos con la cantidad de cal que se incorpora a los granos porque puede endurecerlo y darle mala consistencia a la tortilla; y que aunque el maíz blanco no resisten tanto el ataque de plagas como el maíz amarillo, siembran mayor cantidad de blanco porque es el más apreciado en las zonas urbanas donde lo venden. La mayoría de los productores asistentes a los talleres no conocía el uso del mumu para la protección de los granos almacenados y se mostraron sumamente interesados en aprender a hacerlo. Al realizar la evaluación del taller un año más tarde, la gran mayoría de los productores dijeron que la innovación que habían realizado después de asistir al taller era incorporar hojas de mumu a su maíz almacenado y que este había protegido por varios meses más a su maíz. Es posible que esto se deba a que no conocían la práctica y despertó su curiosidad probarla, o que la incorporación de un "producto" sea más fácil y no requiera mayores cambios o inversión en su sistema de producción, o que las otras prácticas ya las utilizaban desde antes. Para muchos de los productores, lo más importante del taller fue que por primera vez alguien valoraba su conocimiento ancestral.

A un nivel global, este estudio es importante porque constituye otro ejemplo de estrategias desarrolladas por campesinos, utilizando recursos locales, para evitar el ataque de plagas. La estrategia general de integrar varias prácticas para el manejo de plagas del almacén

sin el uso de agroquímicos y algunas de las prácticas en particular evaluadas aquí como efectivas, podrían ser de gran valor para su aplicación en la producción de maíz orgánico. El mantener las prácticas tradicionales de manejo de plagas permitiría la comercialización de maíz orgánico, de creciente demanda en la región y una nueva fuente de ingreso para los hogares campesinos. En el 2007, la tonelada de maíz orgánico en México tenía un valor de más del doble del convencional.

Sin embargo, en nuestra opinión, lo más importante es que al reconocer la importancia del manejo tradicional de las plagas del almacén, se podría contribuir a la conservación del material genético del cual los campesinos de Chiapas y Guatemala son guardianes y a la seguridad alimentaria. Los productores de Guatemala continúan cultivando la milpa para garantizar su seguridad alimentaria (Isakson 2009). Los agricultores perciben que las otras actividades económicas a las que se dedican, son inestables porque dependen del mercado. El cultivar la milpa les garantiza que la familia no pasará hambre. Las variedades tradicionales de maíz pueden tener altos contenidos de proteína. En un estudio realizado en Guatemala en los años 50s, se muestra que el maíz, por lo menos en ese tiempo, proveía el 73% de la dosis de niacina recomendada por el Consejo Nacional de Investigación de los Estados Unidos y el 64% de la proteína (Bressani y Mertz 1958). Si ignoramos la contribución de los campesinos a la seguridad alimentaria, a través del material genético de sus semillas y los métodos para su conservación, pondremos en riesgo la conservación de la agrobiodiversidad y el acceso a un sistema alimenticio resiliente para el resto de la humanidad (Isakson 2009).

Agradecimientos

Este proyecto contó con el financiamiento del CONACYT a través del proyecto Manejo de plagas y conocimiento tradicional en Los Altos de Chiapas y Guatemala de ciencia básica otorgado a la primera autora, el apoyo logístico de la Universidad del Valle de Guatemala y asistencia en el trabajo de campo de Conrado Martínez, Sylvain Payou y Catalina Meza.

Referencias

- Altieri M. 1993. Ethnoscience and biodiversity: key elements in the design of sustainable pest management systems for small farmers in developing countries. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 46: 257-272.
- Altieri M. 2004. Linking ecologists and traditional farmers in the search for sustainable agriculture. *Frontiers in Ecology and Environment* 2(1): 35-42.
- Bressani R, Mertz E. 1958. Studies on corn proteins. IV. Protein and amino acid content of different corn varieties. *Cereal Chemistry*. 35: 227-235.

- Carter W, Snedaker S. 1969. New lands and old traditions: Kekchi cultivators in the Guatemalan lowlands. Latin American Monographs, 2nd series, No. 6. Univ. USA: Florida Press.
- Christensen C, Kaufmann H. 1976. Contaminación por hongos en granos almacenados. México: Editorial Pax-México.
- Ek U, Narváez M, Puch A, Chan C. 1982. El cultivo del maíz en el ejido de Mucel. Nuestro Maíz, Dirección General de Culturas Populares, México. 243-287 pp.
- García-Lara S, Bergvinson. 2007. Programa integral para reducir pérdidas poscosecha en maíz. Agricultura Técnica de México 33(2): 181-189.
- Hoseney R. 1994. Principles of cereal science and technology. American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, MN.
- Isakson R. 2009. No hay ganancia en la milpa: the agrarian question, food sovereignty, and the on-farm conservation of agrobiodiversity in the Guatemalan highlands. Journal of Peasant Studies 36 (4): 725-759.
- Kato YTA. 1984. Chromosome morphology and the origin of maize and its races. Evolutionary Biology 17: 219-253.
- Morales H, Perfecto I. 2000. Traditional knowledge and pest management in the Guatemalan highlands. Agriculture and Human Values 17: 49-63.
- Pretty J, R Hine. 2001. Reducing food poverty with sustainable agriculture: a summary of new evidence. London: University of Essex.
- Ramírez M. 1979. Almacenamiento y conservación de granos y semillas. Compañía Continental S.A., México DF.
- Rodríguez C, López E. 2001. Actividad insecticida e insectística de la chilca (*Senecio salignus*) sobre *Zabrotes subfasciatus*. Costa Rica. Manejo integrado de plagas. 79 (20).
- Rojas F. 1988. La Cultura del maíz en Guatemala. Guatemala: Delgado Impresos y Cía. Ltda.
- Smith L. 1993. Effect of humidity on life history characteristics of *Anisopteromalus calandrae* (Hymenoptera: Pteromalidae) parasitizing maize weevil (Coleoptera: Curculionidae) larvae in shelled corn. Environmental Entomology 22(3): 619-624.
- Thrupp A. 1989. Legitimizing local knowledge: From displacement to empowerment to third world people. Agriculture and Human Values 6(3): 13-23.
- Vecinos Mundiales Guatemala. 2000. La luna: el sol nocturno en los trópicos y su influencia en la agricultura. Curso-Taller de agricultura ecológica "De la Utopía al día al día". Guatemala, abril. 14(30).
- Warren D. 1992. Indigenous knowledge, biodiversity conservation and development. Keynote address at the International Conference on Conservation of Biodiversity in Africa: Local Initiatives and Institutional Roles, 30 august-3 september, Nairobi, Kenya. En: www.ciesin.org/docs/004-173/004-173.html
- Zürcher E. 1998. Chronobiology of trees: Síntesis of traditional phytopractices and scientific research, as a tool of future forestry. Department of Forest and Wood Sciences, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, Suiza. En: <http://iufro.boku.ac.at/iufro/iufro.net/d6/wu60603/proc1998/Zürcher.htm>

CONSIDERACIONES ECOLÓGICAS PARA EL DESARROLLO DE PROGRAMAS DE MANEJO INTEGRADO DE MALEZAS

Fabián D. Menalled

Department of Land Resources and Environmental Sciences, Montana State University, Bozeman, MT 59717-3120. E-mail: menalled@montana.edu

Resumen

En los últimos 60 años, el manejo de las malezas se ha abocado a la erradicación de las especies no deseadas, principalmente mediante el uso de herbicidas. Recientemente, esta aproximación al manejo de las malezas ha sido altamente criticada por su costo ambiental, social, y económico. En respuesta a dichas objeciones, se ha generado un consenso sobre la necesidad de desarrollar programas alternativos de manejo basados no sólo en el conocimiento de los factores que condicionan la abundancia e impacto de las malezas, sino también en las consecuencias ecológicas y sociales de dichas prácticas. En este contexto, el manejo integrado de malezas puede ser definido como un proceso de toma de decisiones que coordina diferentes aproximaciones tecnológicas con información ambiental y conocimiento sobre la biología y ecología de las malezas y los cultivos. Este artículo explora los principios ecológicos del manejo integrado de malezas y discute los factores que limitan la adopción de dichos programas. La agroecología puede contribuir al desarrollo de programas integrados de manejo si adopta una perspectiva holística de los mecanismos determinantes de la abundancia, dispersión, e impacto de las malezas. Dicho conocimiento debe ser integrado con programas educativos del manejo ecológico de las malezas que tomen en cuenta las necesidades y el conocimiento de los productores agrícolas.

Palabras clave: Agroecología, manejo integrado de plagas, sistemas agrícolas, biodiversidad

Summary

Ecological considerations in the design of integrated weed management programs

During the last 60 years, weed management has focused in achieving the goal of eradication of all undesired species, mainly through the use of herbicides. Recently, this approach to weed management has been highly criticized due to its high environmental, social, and economic costs. In response to these objections, there is a growing consensus on the need of developing alternative weed management programs based not only on understanding the factors that condition weed abundance and impact, but the ecological and social consequences of such programs. In this context, integrated weed management can be defined as a decision-making process that coordinates different technological approaches with environmental information and knowledge on weed and crop biology and ecology. This article explores the ecological principles associated with the integrated management of agricultural weeds and discusses the factors that limit the adoption of such programs. Agroecology can contribute to the development of integrated weed management programs if it adopts a holistic perspective on the analysis of the mechanisms determining the abundance, dispersion, and impact of agricultural weeds. Such knowledge should be integrated with educational programs on ecological approaches to weed management that take into account the need and knowledge of the targeted audience.

Keywords. Agroecology, integrated pest management, agricultural systems, biodiversity

Introducción

La agricultura puede ser definida como el proceso mediante el cual el ser humano modifica las comunidades vegetales con el fin que un pequeño grupo de

especies, a las que llamamos cultivos, produzcan alimentos, fibras, o energía. Dentro de este contexto, las malezas han sido tradicionalmente vistas como aquellas otras especies vegetales que, aunque no hayan

sido sembradas, están presentes en el agroecosistema. Ubicándose en el mismo nivel trófico que los cultivos, las malezas tienen la capacidad de competir por los nutrientes, el agua y la luz, perjudicar la cantidad y calidad de la producción agrícola, interferir en las labores de cosecha, y hospedar enfermedades e insectos plaga. Por ello, es común definir a las malezas como “plantas indeseables” o “plantas fuera de lugar” (Klingman *et al.* 1975). A pesar que los productores agrícolas invierten gran cantidad de tiempo y esfuerzo en controlar a las malezas, se estima que las mismas reducen la producción agrícola mundial en un 13% y que dicha figura se incrementaría a un 30% si no se utilizase ninguna práctica de manejo de malezas (Oerke *et al.* 1994). En los países en desarrollo, se ha estimado que las pérdidas anuales causadas por las malezas alcanzan a 125 millones de toneladas de alimentos, cantidad suficiente para sustentar 250 millones de personas (Parker y Fryer 1975).

Durante milenios, la remoción manual o mecánica de las malezas ha sido el método tradicional de control. En los últimos 60 años, y coincidiendo con el inicio de la industrialización agrícola, el manejo de las malezas se ha abocado más en la erradicación mediante el uso de herbicidas que en el desarrollo de un sistema de manejo holístico que considere variables económicas, ecológicas, y sociales (Upadhyaya y Blackshaw 2007). Tres premisas, no necesariamente corroboradas, sustentan el paradigma de erradicación de las malezas. Primero, está la creencia que las malezas sólo tienen un efecto negativo en la producción agrícola. Segundo, existe la hipótesis que el impacto neto de una comunidad de malezas sobre la producción agrícola resulta de la simple adición del potencial competitivo de cada una de las especies que constituyen dicha comunidad. Finalmente, se cree que existe un conflicto entre el objetivo de maximizar la productividad agrícola a corto plazo y el de promover la sustentabilidad económica y ambiental del sistema agrícola a mediano y largo plazo (Swift *et al.* 2004).

Pese a la alta tasa de consumo de herbicidas, la erradicación de las malezas sigue siendo hoy día un objetivo tan elusivo como lo era en 1941, antes de la síntesis de herbicidas de uso selectivo (Smith *et al.* 2006). La promesa, hasta ahora no cumplida, de un futuro “libre

de malezas” (Sagar 1968) ha sido promovida principalmente por las compañías agroquímicas en respuesta al deseo de los agricultores y los diseñadores de políticas agrícolas de obtener un control óptimo y simple de las malezas (Wilson *et al.* 2009). Recientemente, los cultivos transgénicos han sido promocionados como un paso más hacia la simplificación agrícola mediante el uso casi exclusivo de plaguicidas de amplio espectro y alta eficiencia (Mortensen *et al.* 2000).

Si bien es cierto que a corto plazo las políticas de manejo de malezas centradas en el uso herbicidas han sido exitosas en términos de producción, eficiencia, y simplicidad; esta aproximación al manejo de las malezas ha sido altamente criticada por su alto costo ambiental, social, y económico (Robinson y Sutherland 2002, Robertson y Swinton 2005). La selección de biotipos de malezas resistentes a herbicidas, la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, los problemas de salud de agricultores y consumidores, la disminución de la riqueza florística, el incremento de los costos de producción, y el flujo de genes entre cultivos y malezas son algunos de los problemas asociados al sobre-uso de herbicidas. En respuesta a estos costos ambientales, sociales, y económicos se ha generado un consenso sobre la necesidad de desarrollar programas alternativos de manejo de malezas basados en las siguientes premisas. Primero, es necesario reducir la dependencia de insumos energéticos no-renovables en los sistemas agrícolas. Segundo, se debe incrementar el uso de procesos ecológicos que disminuyan la abundancia y/o el impacto de las malezas. Tercero, los programas de manejo de malezas deben ser desarrollados como un componente más de los sistemas de producción agrícolas. Finalmente, es necesario mantener o mejorar la productividad de los cultivos, los ingresos económicos de los productores, y la calidad del ambiente (Liebman y Davis 2000, Mortensen *et al.* 2000). Pero, ¿es posible reemplazar el paradigma del control de malezas centrado en el uso de herbicidas por un sistema de manejo cimentado en el conocimiento de procesos ecológicos? ¿Cuáles son los principios ecológicos asociados a un programa integrado del manejo de malezas? ¿Qué factores que limitan la adopción de un programa de manejo inte-

Tabla 1. Características ecológicas y morfológicas de las malezas y los cultivos (adaptado de Liebman *et al.* 2001).

Características	Malezas	Cultivos
Tasa de crecimiento relativo ($g\ g^{-1}\ d^{-1}$)	Muy alta	Alta
Tasa de crecimiento como plántula ($g\ g^{-1}\ d^{-1}$)	Baja	Alta
Tolerancia a la sombra	Baja	Baja
Tolerancia a la escasez de nutrientes	Baja	Baja
Tasa de absorción de nutrientes	Muy alta	Alta
Tamaño de semilla	Generalmente pequeña	Generalmente grande
Tasa de reproducción	Alta	Varía según el cultivo
Dormición en semillas	Frecuente	Muy rara
Geminación en respuesta a la labranza	Frecuente	Rara
Longevidad de la semilla en el suelo	Generalmente larga	Generalmente corta

grado de malezas? Re-evaluar el término “maleza” es el primer paso necesario para incorporar una perspectiva ecológica en la producción agrícola.

Las malezas como componentes de los agroecosistemas

Desde el punto de vista ecológico la mayoría de las actividades agrícolas incluyendo el uso de herbicidas, el laboreo de suelo, la adición de nutrientes, y la cosecha representan disturbios. Picket y White (1985) definen a los disturbios ecológicos como “eventos...que modifican la estructura del ecosistema, la comunidad, o la población y cambian la disponibilidad de recursos, substrato, o ambiente”. El tipo, frecuencia, e intensidad de las perturbaciones ecológicas asociadas al manejo de los cultivos no sólo establecen el contexto evolutivo de las malezas (Neve *et al.* 2009), sino que determinan la características de las comunidades vegetales presentes en los agroecosistemas (Menalled *et al.* 2001, Pollnac *et al.* 2009a). Dentro de este contexto, es posible estudiar las características ecológicas y morfológicas de las malezas y los cultivos que les permiten germinar, sobrevivir, y reproducirse (Tabla 1).

Considerando el marco ecológico y evolutivo de los agroecosistemas, es posible definir a las malezas como “plantas particularmente exitosas en colonizar sitios perturbados, pero potencialmente de alta productividad, y en mantener su abundancia bajo condiciones de perturbaciones frecuentes” (Liebman *et al.* 2001). Esta definición permite evaluar a las malezas como componentes integrales de los agroecosistemas, teniendo en cuenta no sólo sus impactos negativos, sino también analizando los factores causales de su abundancia, y estudiando su función ecológica. Por ejemplo, las malezas pueden proveer diferentes servicios ecológicos como ayudar a controlar la erosión del suelo, modificar procesos micro-climáticos, impactar la dinámica hidrológica, constituir una reserva de germoplasma, alterar al ciclo de nutrientes, y proveer refugio y alimento a los enemigos naturales de las plagas de cultivos (Jordan y Vatovec 2004, Nicholls 2006). Adoptar una perspectiva ecológica en la estudio de las malezas representa el primer paso en el desarrollo de un programa integral de manejo de las mismas.

Manejo Integrado de Malezas

El concepto de manejo integrado de plagas (MIP) ha sido desarrollado principalmente por entomólogos durante la década de 1960 como respuesta al impacto negativo asociado al uso excesivo de plaguicidas. La idea central del MIP consiste en la utilización conjunta de métodos complementarios, incluyendo prácticas físicas, mecánicas, químicas, biológicas, genéticas, y culturales. El objetivo final del MIP no consiste en alcanzar

la erradicación de las plagas, sino minimizar su impacto. Para ello, el MIP toma en cuenta el contexto ambiental en el cual se pretende manejar a las plagas, monitorea dinámica poblacional de las mismas, e integra técnicas y métodos de manejo cuando las poblaciones nocivas exceden un nivel umbral de acción.

Recientemente, el concepto de MIP ha sido adaptado al control de malezas. El manejo integrado de las malezas (MIM) consiste en combinar información acerca de los factores biológicos, culturales, y abióticos que determinan la abundancia e impacto de las mismas con una evaluación de las consecuencias ecológicas y sociales de las prácticas de manejo (Labrada *et al.* 1996, Sanyal *et al.* 2008). El MIM puede ser visto como un proceso de toma de decisiones que coordina aproximaciones tecnológicas incluyendo medios culturales, genéticos, mecánicos, biológicos, y químicos con el fin de 1) suprimir el crecimiento o impacto de las malezas, manteniendo las poblaciones nocivas a niveles por debajo de aquéllos causantes de daño económico, 2) prevenir o minimizar la producción de semillas u otras estructuras de reproducción de malezas, 3) reducir el número de semillas presentes en el suelo, y 4) menguar la distribución de malezas (Sanyal *et al.* 2008).

El MIM combina estrategias directas e indirectas de control. Estrategias directas incluyen prácticas culturales como el laboreo del suelo, el uso de enemigos naturales, y la aplicación de herbicidas. Estrategias indirectas de control de las malezas incluyen la modificación de las condiciones ambientales y biológicas del agroecosistema con el fin de maximizar la captación de recursos por parte de los cultivos, reduciendo la abundancia e impacto de las malezas.

La prevención es quizás la estrategia indirecta más importante en el desarrollo de un programa integrando de manejo de malezas agrícolas. Otras prácticas indirectas incluyen la selección de cultivos altamente competitivos, la rotación de los cultivos, la modificación del tiempo de siembra, el aumento de la densidad de siembra, y el uso de cultivos de cubierta (Labrada *et al.* 1996). Individualmente, es posible que cada una de estas prácticas no alcance a suprimir las malezas o minimizar su impacto. Por ello, el MIM requiere el uso combinado de todas las prácticas disponibles, integrándolas de forma tal que en su conjunto permitan suprimir o regular a las malezas (Liebman y Gallandt 1997). Como cualquier otro programa de manejo de plagas, el MIM debe ser entendido como un componente más del agroecosistema (Lewis *et al.* 1997).

Principios Ecológicos del Manejo Integrado de Malezas

El concepto de nicho ecológico, definido como la situación espacial, temporal, y trófica de una especie dentro de una comunidad (Pianka 1976) es esencial al desarrollo de prácticas integradas de manejo de malezas. En un agroecosistema, las malezas y los culti-

vos tienden a ocupar nichos ecológicos similares y el grado de superposición de dichos nichos determina la resultante de la competencia. Cousens (1985) describe la reducción relativa de la productividad agrícola (YL) debido a la competencia con las malezas por medio de una función hiperbólica simple:

$$YL = iN_w / 1 + iN_w \quad (\text{Eq. 1})$$

donde N_w representa la densidad de las malezas e i es la pendiente inicial de la curva que relaciona YL con la densidad de malezas (Fig. 1). El impacto de las malezas en los cultivos puede ser reducido por tres caminos diferentes, pero no por ellos excluyentes. Primero, se pueden aplicar prácticas curativas como el laboreo del suelo o el uso de herbicidas con el fin de reducirla densidad de malezas (N_w) por debajo de niveles tolerables (Fig. 1a). Segundo, independientemente de la densidad de malezas, se puede intentar minimizar el impacto de las mismas sobre los cultivos (YL) (Fig. 1b). Esto puede lograrse por medio de diferentes prácticas indirectas como el uso de variedades de cultivos altamente competitivos, la modificación del tiempo de siembra, y el aumento de la densidad de siembra. Finalmente, se debe programar el uso combinado de prácticas de manejo que logren reemplazar aquellas malezas altamente competitivas por una comunidad dominada por especies de fácil manejo o baja capacidad de competencia (Fig. 1c). Si bien esto último parece ser un objetivo de difícil logro, estudios recientes han demostrado que las sistemas de producción agrícola modifican no sólo la abundancia y la composición de las comunidades de malezas (Mennialled *et al.* 2001, Davis *et al.* 2005), sino que alteran su distribución espacial (Pollnac *et al.* 2008), y su capacidad competitiva (Pollnac *et al.* 2009b, Smith *et al.* 2010).

Es necesario reconocer que debido a la complejidad inherente de los sistemas agrícolas, no es fácil sintetizar en reglas globales las bases agroecológicas del MIM. Pese a ello, es posible analizar los mecanismos y procesos ecológicos asociados a distintas prácticas de manejo (Tabla 2). Por ejemplo, prácticas de manejo como la labranza del suelo o el uso de herbicidas tienen como objetivo reducir la densidad de las poblaciones de malezas a niveles manejables. Otras prácticas, como el uso de variedades de cultivo altamente competitivas apuntan a minimizar el crecimiento y fecundidad de las malezas. Finalmente, la rotación de los cultivos pretende minimizar la selección de especies de malezas altamente competitiva.

Factores que Limitan la Adopción de Sistemas de Manejo Integrado de Malezas

El manejo integrado de plagas no solo ha permitido minimizar el impacto de diferentes grupos de insectos y patógenos, sino que ha contribuido en forma efectiva

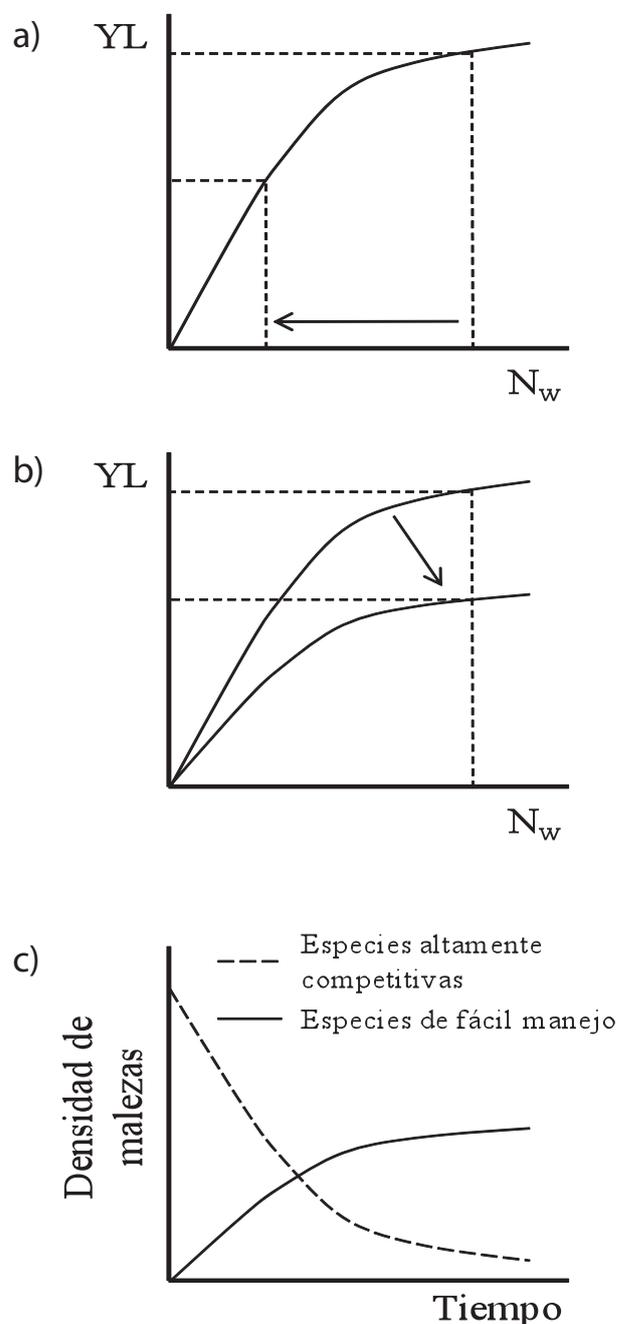


Figura 1. Tres objetivos del manejo integrado de malezas: a) Reducir la densidad de malezas (N_w) para minimizar la reducción en la productividad (YL), b) Aumentar la competitividad de los cultivos, y c) Modificar la composición específica de las comunidades de malezas a fin de lograr que la misma estén dominada por especies de fácil manejo o baja capacidad competitiva.

a reducir el uso de plaguicidas de origen sintético. Pese a ello, los principios del MIM no ha sido ampliamente aceptados por los productores agrícolas (Buhler *et al.* 2000). Diversos factores han contribuido a que el paradigma de erradicación de las malezas mediante el uso de herbicidas continúe siendo la estrategia dominante en los agroecosistemas industrializados (Vitta *et al.* 2002, Bastiaans *et al.* 2008). Sin duda, el hecho que la mayoría de las prácticas de control de malezas hayan

Tabla 2: Principios ecológicos asociados a distintas prácticas de manejo de malezas (Adaptado de Altieri y Liebman 1988).

Práctica de manejo	Principio ecológico
Prevención, solarización de suelo, reducción de la producción de semillas de malezas, predación de semillas	Disminución del banco de semillas de malezas
Preparación de la cama de siembra, labores de cultivo, uso de plántulas de cultivo	Favorecer la captación de asimétrica de recursos (agua, nutrientes, luz) por parte de los cultivos
Arranque manual de las malezas, corte con machete u otra herramienta, labores de cultivo	Reducción de la abundancia y tamaño relativo de las malezas
Uso de variedades de cultivo competitivas	Maximización del crecimiento relativo del cultivo
Incremento de la densidad de siembra	Minimización de la competencia intra-específica
Rotación de cultivos, rotación de las prácticas de manejo	Minimizar la adaptación de las malezas

surgido de recomendaciones provistas por las compañías productoras de agroquímicos no ha contribuido a generar la información agroecológica necesaria para el desarrollo de un programa de MIM.

La falta de conocimiento de las bases agroecológicas del MIM ha sido citada como una de las responsables de la baja adopción de programas de MIM (Labrada y Parker 1996). A su vez, la alta estocasticidad de las variables ambientales y biológicas que determinan la abundancia e impacto de las malezas disminuye el valor predictivo de la información ecológica. Finalmente, el prolongado período de tiempo comúnmente asociado a la investigación ecológica de las malezas contradice con las necesidades apremiantes de los productores agrícolas.

Revertir estos problemas requiere primero, un cambio de paradigma en los tópicos de investigación asociada al manejo de malezas (Zimdahl 1995). Es necesario reemplazar la investigación centrada en prácticas individuales del manejo de malezas (por ejemplo, el desarrollo de nuevos herbicidas) por un análisis agroecológico sistemático de los mecanismos determinantes de la abundancia, dispersión, e impacto de malezas. Segundo, se debe ampliar las bases disciplinarias de la investigación a fin incorporar las necesidades y conocimientos de los agricultores. Finalmente es necesario generar programas educativos que faciliten la adopción del MIM. Dichos programas deben identificar tanto los problemas percibidos y reales que limitan la adopción del MIM (Menalled *et al.* 2009) como los procesos de difusión de la información y toma de decisiones por parte de la audiencia (Wilson *et al.* 2009).

Conclusiones

El éxito del MIM requiere la ampliación de las bases de conocimiento agroecológico básico y aplicado. Si bien en la última década ha aumentado en forma significativa la cantidad y calidad de la investigación agroecológica, aún quedan grandes hiatos por llenar. Modificar el paradigma del manejo de malezas centrado en la erradicación por uno que considere el balance neto de los beneficios y perjuicios asociados a la presencia de malezas requiere una nueva aproximación al estudio de los agroecosistemas. Dicha investigación será infructífera si no considera

las características biológicas, ambientales, y sociales de los agroecosistemas en estudio. A su vez, dicha investigación debe desarrollarse con participación activa de los productores agrícolas. La información resultante debe ser utilizada para generar un programa educativo que explore nuevas vías de diseminación del conocimiento.

Referencias

- Altieri MA, Liebman M. 1988. Weed management in agroecosystems: ecological approaches. Boca Raton: CRC Press.
- Bastiaans L, Paolini R, Baumann DT. 2008. Focus on ecological weed management: what is hindering adoption? *Weed Research* 48: 481-491.
- Buhler DD, Liebman M, Obrycki JJ. 2000. Theoretical and practical challenges to an IPM approach to weed management. *Weed Science* 48: 274-280.
- Cousens R. 1985. A simple model relating yield loss to weed density. *Annals of Applied Biology* 2: 239-252.
- Davis A, Renner K, Gross K. 2005. Weed seed bank and community shifts in a long-term cropping systems experiment. *Weed Science* 53: 296-306.
- Jordan N, Vatovec C. 2004. Agroecological benefits from weeds. En *Weed biology and management* (Inderjit, ed.). Netherlands: Kluwer Academic Publishers, pp. 137-158.
- Klingman GC, Ashton FM, Noordhoff LJ. 1975. *Weed science: principles and practices*. New Cork: Wiley.
- Labrada R, Parker C. 1996. El control de malezas en el contexto del manejo integrado de plagas. En *Manejo de malezas para países en desarrollo* (Labrada, Caseley, Parker, eds.). Estudio FAO Producción y Protección Vegetal, Roma, Italia.
- Labrada R, Caseley JC, Parker C. 1996. *Manejo de malezas para países en desarrollo*. Estudio FAO Producción y Protección Vegetal. Roma, Italia.
- Lewis WJ, van Lenteren JC, Phatak SC, Tumilson III JH. 1997. A total system approach to pest management. *Proceedings of the National Academy of Science* 94: 2243-12248.
- Liebman M, Davis AS. 2000. Integration of soil, crop and weed management in low-external-input farming systems. *Weed Research*: 40: 27-47.

- Liebman M, Gallandt ER. 1997. Many little hammers: ecological approaches for management of crop weed interactions. En *Ecology in agriculture and soil management* (Jackson LE, ed.) Academic. California, USA, pp 291-343.
- Liebman M, Mohler Ch, Staver Ch. 2001. *Ecological management of agricultural weeds*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Menalled FD, Grimberg BI, Jones C. 2009. Evaluation of agricultural professionals' perceptions and knowledge on sustainable agriculture: a useful step in the development of an online extension program. *Journal of Agricultural Education* 50: 86-97.
- Menalled FD, Gross K, Hammond M. 2001. Weed aboveground and seedbank community responses to agricultural management systems. *Ecological Applications* 11: 1586-1601.
- Mortensen DA, Bastiaans L, Sattin M. 2000. The role of ecology in the development of weed management systems: an outlook. *Weed Research* 40: 49-62.
- Neve P, Vila-Aiub M, Roux F. 2009. Evolutionary-thinking in agricultural weed management. *New Phytologist* 184: 783-793.
- Nicholls C. 2006. Bases agroecológicas para diseñar e implementar una estrategia de manejo de hábitat para control biológico de plagas. *Agroecología* 1:37-48.
- Oerke EC, Weber A, Dehne HW, Schönbeck F. 1994. Conclusions and perspectives In *Crop production and crop protection, estimated losses in major food and cash crops* (Oerke EC, Dehne HW, Schönbeck F, Weber A, eds.). Amsterdam: Elsevier Science, pp. 742-770.
- Parker C, Fryer J. 1975. Weed control problems causing major reduction in world food supplies. *FAO Plant Protection Bulletin* 23: 83-95.
- Pianka ER. 1976. Competition and niche theory. In *Theoretical ecology: principles and applications* (May RM, ed.). Philadelphia: Saunders, pp. 114- 141.
- Pickett STA, White PS. 1985. *The ecology of natural disturbance and patch dynamics*. New York: Academic Press..
- Pollnac FW, Maxwell B, Menalled FD. 2009a. Using species-area curves to examine weed communities in organic and conventional spring wheat systems. *Weed Science* 3: 241-247.
- Pollnac FW, Maxwell BD, Menalled FD. 2009b. Weed community characteristics and crop performance: a neighbourhood approach. *Weed Research* 49: 242-250.
- Pollnac FW, Rew LJ, Maxwell B, Menalled FD. 2008. Spatial patterns, species richness, and cover in weed communities of organic and conventional no-tillage spring wheat systems. *Weed Research* 48: 398-407.
- Robertson GP, Swinton SM. 2005. Reconciling agricultural productivity and environmental integrity: a grand challenge for agriculture. *Frontiers in Ecology and the Environment* 3: 38-46.
- Robinson RA, Sutherland WJ. 2002. Post-war changes in arable farming and biodiversity in Great Britain. *Journal of Applied Ecology* 39: 157-176.
- Sagar GR. 1968. *Weed biology – A future*. Netherlands Journal of Agricultural Sciences 16: 155-164.
- Sanyal D, Bhowmik PC, Anderson RL, Shrestha A. 2008. Revisiting the perspective and progress of integrated weed management. *Weed Science* 56: 161-167.
- Smith RG, Maxwell B, Menalled F, Rew L. 2006. Lessons from agriculture may improve the management of invasive plants in wildland systems. *Frontiers in Ecology and the Environment* 4: 428-34.
- Smith RG, Mortensen DA, Ryan MR. 2010. A new hypothesis for the functional role of diversity in mediating resource pools and weed-crop competition in agroecosystem. *Weed Research* 50: 185-185.
- Swift MJ, Izac A, van Noordwijk M. 2004. Biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes – are we asking the right questions? *Agriculture, Ecosystems & Environment* 104: 113-134.
- Upadhyaya MK, Blackshaw RE. 2007. Non-chemical weed management: synopsis, integration and the Future. In *Non-Chemical Weed Management* (Upadhyaya MK, Blackshaw RE, eds.). Oxfordshire, UK: CAB International, pp. 201-209.
- Vitta JI, Tuesca DH, Puricelli EC, Nisensohn LA, Faccini DE. 2002. El empleo de la información ecológica en el manejo de malezas. *Ecología Austral* 12: 83-87.
- Wilson RS, Hooker N, Tucker M, Lejeune J, Doohan D. 2009. Targeting the farmer decision making process: A pathway to increased adoption of integrated weed management. *Crop protection* 28: 756-764.
- Zimdahl RL. 1995. Weed science in sustainable agriculture. *American Journal of Alternative Agriculture* 10:138-142.

DISMINUYENDO LA RELEVANCIA DE LOS PLAGUICIDAS. ALTERNATIVAS A SU USO.

Nilda Pérez¹, Ciro Infante², Cristina Rosquete³, Alfredo Ramos³, Carlos González¹.

¹Departamento de Sanidad Vegetal, Universidad Agraria de La Habana, Autopista Nacional km 22, San José, La Habana, Cuba, Apartado Postal 18-19; ²Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal, Ciudad de La Habana; ³Empresa de Cultivos Varios Güira de Melena, La Habana. E-mail: pereznilda48@gmail.com.

Resumen

En diferentes lugares del mundo existen sistemas agroalimentarios altamente dependientes de insumos químicos, mientras en otras partes se desarrollan experiencias que están demostrando que los problemas de plagas se pueden enfrentar desde una perspectiva ecológica y sostenible. Se presentan experiencias locales que ofrecen evidencias indiscutibles de que la disminución de la relevancia y dependencia de los plaguicidas, dentro de esa perspectiva, es una realidad posible. Desde este punto de vista se muestran los resultados de una evaluación de impacto y sostenibilidad de las prácticas de manejo de plagas, a la vez que se documentan experiencias de alternativas al control químico. Entre los resultados obtenidos se destacan que en el municipio de San Antonio de los Baños, entre el 2000 y el 2005, se produjo una reducción total en el uso de plaguicidas del 63 %, la cantidad de plaguicidas por trabajador agrícola directo se redujo en 30.7 %, y por cada tonelada de alimento producido se utilizó un 70 % menos de plaguicidas. En el municipio Güira de Melena, dado los riesgos que representa el uso del endosulfan para la salud humana y el ambiente, desde hace 13 años, se decidió no utilizarlo; esa decisión no tuvo efectos negativos sobre la producción de alimentos. En este lapso se dejaron de aplicar 6537.44 kg ingrediente activo de este insecticida. Entre las principales alternativas implementadas en encuentran la producción y uso de entomófagos, entomopatógenos y antagonistas y la conservación de enemigos naturales mediante la diversificación de los sistemas.

Palabras clave: Plaguicidas, endosulfan, alternativas ecológicas, manejo de plagas, control biológico.

Summary

Diminishing the relevance of pesticides. Alternatives to its use.

In different places of the world the agricultural systems have a high dependence of chemical inputs, but in other parts the experiences developed have demonstrated that the problems of pests can be faced up from an ecological and sustainable perspective. Local experiences presented in this paper show unquestionable evidences that the decrease of the relevance and dependence of the pesticides is a possible reality. The results of an impact evaluation and sustainability of the practices of pest management are shown inside that perspective, at the same time that alternatives are documented to the chemical control of pests. Among the obtained results they stand out that in the municipality of San Antonio de los Baños (2000-2005), a reduction took place in the use of pesticides of 63%, the quantity of pesticides applied per direct agricultural worker decreased in 30.7%, and for each ton of produced food was used 70 % less of pesticides. In Güira de Melena, given the risks that it represents the use of the endosulfan for the human health and the environmental, this insecticide has not been used during 13 years, that decision didn't have negative effects on the production of foods. In these 13 years 6537 kg of active ingredient of this insecticide has not been applied. Among the main alternatives implemented are the production and the use of entomophagous, entomopathogens and antagonistic organisms, and the conservation of natural enemies by means of the diversification of the agricultural systems.

Key words: Pesticides, endosulfan, ecological alternatives, pest management, biological control.

Introducción

El control químico se mantiene, desde hace aproximadamente siete décadas, como el método principal de control de plagas. En todo este tiempo se han acumulado suficientes evidencias de los riesgos que presenta el uso de plaguicidas para la salud y el ambiente, riesgos que además comprometen la sostenibilidad de los sistemas agrícolas. A pesar de las preocupaciones públicas por el daño que éstos ocasionan, en los últimos años se ha producido un aumento en su uso, un caso muy ilustrativo de esta tendencia es el de Costa Rica (Ramírez *et al.* 2009). A pesar de este aumento las pérdidas producidas por el ataque de organismos nocivos a los cultivos no han disminuido, a escala global éstas pueden alcanzar valores superiores al 50 % (Oerke 2005).

La tendencia al aumento en el uso de plaguicidas es más acentuada en los países en desarrollo, tanto en el sector agrario como en el de salud pública. La alta incidencia de intoxicaciones y muertes que se producen cada año; el daño a la salud por sus efectos crónicos (muchos de los cuales no se conocen en toda su extensión) y la contaminación ambiental están entre los principales problemas que estos ocasionan.

El conocimiento de los riesgos que se enfrentan cuando se utilizan plaguicidas y de las técnicas y métodos alternativos a su uso contribuirá sin dudas a la concientización y disminución de los impactos negativos de éstos sobre la salud humana y el ambiente.

En diferentes lugares del mundo los sistemas agroalimentarios tienen una alta dependencia de insumos químicos, pero en otras partes se desarrollan experiencias que están demostrando que los problemas de plagas se pueden enfrentar desde una perspectiva ecológica y sostenible. En este artículo se presentan experiencias locales que ofrecen evidencias indiscutibles de que la disminución de la relevancia y dependencia de los plaguicidas, dentro de esa perspectiva, es una realidad posible.

Reduciendo la relevancia de los plaguicidas

La disminución de la dependencia de los plaguicidas para el control de plagas forma parte de la política agraria de la Unión Europea; en particular, en seis países existen experiencias notables (Neumeister 2007). En la estrategia ambiental cubana también se ha declarado ese propósito (CITMA 2007).

La política cubana respecto al manejo de plagas quedó oficialmente declarada en la ley de Medio Ambiente. 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» (Cuba 1997).

«Esto significa que lo que actualmente se hace no es una simple sustitución de insumos químicos por biológicos y otras 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» (Pérez 2004).

Si bien es cierto que hasta ahora en Cuba no se ha establecido una meta numérica, por ejemplo disminución en el uso de plaguicidas en un determinado porcentaje en un plazo dado- a diferencia de algunos de los países de la Unión Europea que si tienen una meta declarada para cumplir en un plazo fijo-, se destaca que en la Estrategia Ambiental Nacional 2007-2010, quedó establecido como meta para el 2010 que «el 80 % del control de plagas y enfermedades en los cultivos del país se efectúa con productos naturales o biopreparados» y «el 100 % de las áreas de producción agrícola del país, se mantienen bajo esquemas de manejo integrado de plagas y enfermedades» (CITMA 2007).

La reducción de las importaciones de plaguicidas comenzó en fecha muy anterior a la promulgación de la ley de Medio Ambiente y a la declaración de la Estrategia Ambiental 2007-2010. A partir de 1975 se produce una notable disminución en las importaciones -55 %- como resultado de la creación y puesta en práctica del Sistema Estatal de Protección de Plantas, que tiene como base de su funcionamiento las Estaciones de Protección de Plantas (EPP) (Fig. 1). «Con su creación 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» (Murguido y Elizondo 2007).

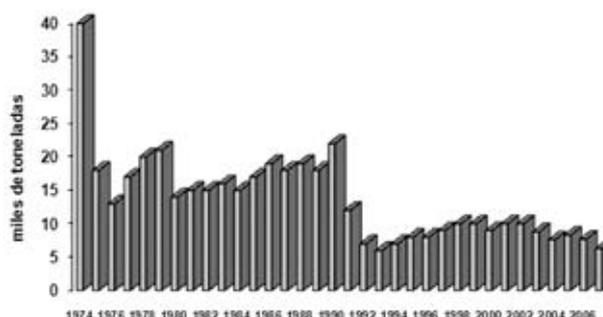


Figura 1. Importaciones de plaguicidas a partir de la creación de las EPP.

En comparación con 1974, la media de las importaciones de plaguicidas del 2000 al 2007 (8462,5 toneladas de producto comercial) representa una disminución en el consumo a nivel nacional del 79 %. Esta reducción a nivel nacional ¿cómo ha impactado en lo local? Hay que tener en cuenta que la agricultura

Tabla 1. Uso de plaguicidas (kg ia) en SAB (Infante 2008).

Productos	2001	2002	2003	2004	2005
Insecticidas	13 029	5 839	4 834	5 039	3 090
Fungicidas	16 758	9 410	9 627	8 841	8 715
Herbicidas	2 762	2 220	1 830	1 760	504
Otros	1 318	1 114	1 107	925	158
Total	33 868	18 583	17 400	16 573	12 468

Tabla 2. Cantidad de plaguicidas (kg ia) aplicados por ha, por habitante del municipio, por habitante de la zona rural, por trabajador agrícola directo y por tonelada de alimento producido en SAB (Infante 2008).

Años	Cantidad aplicada				
	Por ha	Por habitante municipio	Por habitante zona rural	Por trabajador agrícola directo	Por tonelada de alimento
2000-2001	7.43	1.43	14.63	18.83	1.07
2001-2002	5.69	1.00	10.8	13.97	0.57
2002-2003	5.56	0.87	9.94	13.89	0.48
2003-2004	4.79	0.74	9.83	12.80	0.41
2004-2005	4.28	0.65	8.67	13.04	0.32
Reducción (%)	57.60	55.0	59.26	30.7 %	70 %

es siempre un fenómeno local, por eso es importante conocer como se implementa esa política de reducción en cada lugar, pues puede darse el caso, en determinadas zonas, de que exista una tendencia en el consumo que no se corresponda con la nacional, esos territorios deben ser identificados como ecosistemas estratégicos, donde hay que dar prioridad a la implementación de las políticas establecidas.

En un estudio realizado en los municipios habaneros de San Antonio de los Baños y Güira de Melena, en el marco del Proyecto «Reducción de Plaguicidas en América Latina» coordinado por la Red de Acción en Plaguicidas y sus Alternativas para América Latina (RAPAL), se evaluó el impacto de las prácticas de manejo de plagas a la vez que se documentaron experiencias de alternativas al control químico. Se seleccionó un grupo de indicadores para la evaluación de impacto y sostenibilidad de las prácticas de manejo de plagas, tomando como base la metodología propuesta por Levitan (1999). Se partió del criterio establecido por Benbrook y Groth (1997) de que los indicadores de impacto seleccionados son funcionalmente equivalentes a los que se necesitan para monitorear la sostenibilidad de los sistemas de manejo de plagas.

Entre los indicadores identificados, comunes a los casos en estudio, están la cantidad de plaguicidas aplicados expresados en kg de ingrediente activo (kg ia): total, por unidad de superficie sembrada, por habitante del municipio, por habitante de áreas rurales, por trabajador agrícola directo, y por tonelada de alimento producido. La cantidad de plaguicida, expresada como un indicador por superficie agrícola cultivada, por habitante, por habitante de las zonas rurales y por trabajador agrícola directo, ofrece una idea del riesgo para la salud humana, los animales y el ambiente en la localidad donde se aplican estos.

En San Antonio de los Baños (SAB) se cultiva tabaco (*Nicotiana tabacum*), raíces y tubérculos, granos y hortalizas. Las 13 unidades en estudio ocupan el 27 % de la superficie agrícola del municipio y utilizan el 90 % de los plaguicidas que entran a este. En la evaluación realizada se pudo confirmar que las necesidades en el cultivo del tabaco son las que siguen determinando, en gran parte, el consumo de plaguicidas en la zona.

En un período de cinco años se aplicaron 77 ingredientes activos diferentes. Los de mayor riesgo (7,7%) por su toxicidad aguda fueron: el fumigante bromuro de metilo, paration metilo (clase IA), fenamifos, metamidofos y metomilo (clase IB), y el endosulfan, que se ha ubicado indistintamente, en diferentes momentos, en las clases IA, IB y II (Pérez *et al.* 2009).

La tendencia en el periodo evaluado fue la disminución en el consumo. Disminuyó en 63 % el consumo total de plaguicidas (tabla 1); las cantidades aplicadas por hectárea, por habitante del municipio, por habitante de la zona rural y por trabajador agrícola directo disminuyeron en 57,6 %, 55,0 %, 59,26 % y 30,7 % respectivamente; y en 70% cantidad aplicada por tonelada de alimento producido (tabla 2).

A pesar de que la tendencia general es la disminución en el consumo, la cantidad aplicada por habitante de la zona rural es alta, dado que el número de pobladores rurales es bajo, en el 2005 la población rural era 12 800 habitantes, lo que representaba el 27 % del municipio.

La disminución en el uso de plaguicidas no tuvo efectos negativos la producción de alimentos, esta aumentó en un 21,5 %, sin que existiera incremento notable de la superficie cultivada en el periodo analizado (tabla 3).

La tasa de consumo per cápita por año en Centroamérica estaba considerada, entre 1994 y 2000, como una de las más altas de la región, esta era de alrededor de 1.5 kg ia (OPS 2002). Actualmente continua conside-

Tabla 3. Producción de alimentos (toneladas) en SAB (Infante 2008).

Productos	2000-2001	2001-2002	2002-2003	2003-2004	2004-2005
Raíces y tubérculos	6 570	6 818	7 202	6 350	7 060
Hortalizas	12 375	13 375	11 729	14 358	13 120
Granos	3 400	3 701	5 299	5 356	6 360
Plátano y banano	4 274	3 018	5 364	7 417	4 956
Frutales	4 964	5 742	6 848	6 894	6 906

rándose alta, en Costa Rica la cantidad de plaguicidas importados en el 2006 fue de 19,33 kg ia/ha, 2,67 kg ia/habitante total, 6,51 kg ia/habitante rural, 47,13 kg ia/por trabajador agrícola (Ramírez *et al.* 2009).

En el caso de San Antonio entre los elementos que contribuyeron a la reducción están:

- La introducción de las variedades de tabaco negro Habana-92 y Habana-2000 resistentes al moho azul (*Peronospora hyoscyami* f.sp. *tabacina*); y el manejo de las fechas de siembra en épocas tempranas (octubre-noviembre), de las variedades de tabaco Corojo 99 y Criollo-98, susceptibles a esta enfermedad (Infante 2008). Del total de plaguicidas (106095,45 kg ia) que se utilizaron en cinco años en el cultivo del tabaco el 75 % (79756,59 kg ia) correspondió a fungicidas.
- En el municipio funciona un Centro Reproductor de Entomófagos y Entomopatógenos (CREE), que produce con técnicas artesanales: *Beauveria bassiana* (Bals.-Criv.) Vuills, *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki*, *Lecanicillium lecanii* (Zimm.) Zare & Gams. y *Trichoderma* spp. En papa (*Solanum tuberosum* L.) se sustituyó el uso de paratión, metamidofos y endosulfan, para el control de áfidos, mosca blanca y lepidópteros por los entomopatógenos *L. lecanii* y *B. thuringiensis*; y en boniato (*Ipomoea batata*) en el control de tetuán (*Cylas formicarius elegantulus*) se utilizó *B. bassiana* en sustitución de metamidofos (Infante 2008).
- Se trabajó en la señalización y pronóstico de enfermedades en papa: tizón tardío, *Phytophthora infestans* [Mont] de Bary; en plátano (*Musa* spp. L.): sigatoka negra, *Mycosphaerella fijiensis* Morelet; y en tabaco: moho azul, *P. hyoscyami* f. sp. *tabacina*.
- En las unidades tabacaleras se implementó un programa de mejoramiento de suelos, sobre la base de rotaciones con el abono verde *Canavalia ensiformis*, y el uso de humus de lombriz y estiércol vacuno.
- La capacitación a los agricultores y el entrenamiento a los fitosanitarios.

Fin de la dependencia del endosulfan en Güira de Melena.

En Cuba la provincia de La Habana es la que mayor uso hace de los plaguicidas en general, y dentro de es-

tos el endosulfán. En el municipio Güira de Melena que recibe el 9,82% de los plaguicidas asignados a la provincia, dado los riesgos que representa el uso del endosulfan para la salud humana y el ambiente, desde 1997 se decidió no utilizarlo. Güira de Melena es uno de los principales polos agrícolas del país, su producción representa el 3,07% nacional y el 15,83% provincial, por lo que la decisión tomada durante los últimos 13 años es muy relevante y significativa; se prescindió del uso de este insecticida sin que esta decisión tuviera efectos negativos sobre la producción de alimentos. En ese tiempo se han dejado de aplicar 6537,44 kg ia, y en los últimos cinco la media anual dejada de aplicar fue de 502,9 kg ia.

Entre las principales alternativas implementadas en el municipio se encuentran el uso de agentes de control biológico: los entomopatógenos *B. bassiana* y *B. thuringiensis*, el parasitoide de huevos *Trichogramma* spp., el nematodo entomopatógeno *Heterorabditis bacteriophora* y el insecticida beta-cyflutrina+thiachloprid (tabla 4). Como se aprecia en la tabla 4 la efectividad técnica del tratamiento biológico es muy similar en valor a la del tratamiento con endosulfan. Las alternativas al uso del endosulfán permitieron un manejo de plagas con el consecuente cuidado del ecosistema; contribuyeron al fortalecimiento del entorno, en un marco agroecológico y permitieron la regulación de las poblaciones de organismos nocivos.

En diferentes países del mundo se ha demostrado que las estrategias para la reducción de plaguicidas son técnica y económicamente factibles. PAN Europa publicó en el 2007 un informe en el que se presentaron seis casos exitosos de experiencias nacionales (Holanda, Bélgica, Dinamarca, Suiza, Italia y Reino Unido) en programas de reducción de plaguicidas (Neumeister 2007). «En conjunto estas seis iniciativas proveen evidencias irrefutables de que la reducción en el uso de plaguicidas es no solamente posible, sino un hecho real» (Cannell 2007).

El contexto para las alternativas

En Cuba, las alternativas al control químico se implementan bajo dos enfoques, el Manejo Integrado de Plagas (MIP) y Manejo Ecológico de Plagas (MEP). El MIP se implementa «para los cultivos intensivos donde aun se emplean regularmente plaguicidas sintéticos, como es el caso de la papa, el tomate y otras hortalizas que se siembran a campo abierto y en casa

Tabla 4. Alternativas al uso del endosulfan implementadas en Güira de Melena

Cultivos	Plagas	Alternativa Aplicada	Efectividad técnica (%)	
			Alternativas	Endosulfan
Tomate	crisomélidos	<i>B. bassiana</i>	81.4	94.2
	larvas de lepidópteros	<i>B. thuringiensis</i> (cepa LBT 24)	89.3	96.1
	mosca blanca	Beta-cyflutrina+Thiachloprid 11,25 SE	99.6	91.3
Pimiento	crisomélidos	<i>B. bassiana</i>	81.9	93.8
	larvas de lepidópteros	<i>B. thuringiensis</i> (cepa LBT 24)	92.3	95.6
	mosca blanca	Beta-cyflutrina+Thiachloprid 11,25 SE	99.5	91.9
Ajo	larvas de lepidópteros	<i>B. thuringiensis</i> (cepa LBT 24)	81.8	90.5
	Trips	Beta-cyflutrina+Thiachloprid 11,25 SE	93.1	96.6
Cebolla	larvas de lepidópteros	<i>B. thuringiensis</i> (cepa LBT 24)	80.1	88.4
	Trips	Beta-cyflutrina+Thiachloprid 11,25 SE	88.8	91.8
Otras hortalizas	crisomélidos	<i>B. bassiana</i>	82.2	95.4
	larvas de lepidópteros	<i>B. thuringiensis</i> (cepa LBT 24)	89.7	93.6
	mosca blanca	Beta-cyflutrina+Thiachloprid 11,25 SE	99.8	90.8
	Trips	Beta-cyflutrina+Thiachloprid 11,25 SE	94.1	94.6
Calabaza	larvas de lepidópteros	<i>B. thuringiensis</i> (cepa LBT 24)	86.9	-
		<i>Trichogramma</i> spp.	93.1	92.7
		<i>Heterorhabditis bacteriophora</i>	86.9	-

de cultivo» y el MAP «Para los cultivos que se siembran en fincas de pequeños agricultores, el programa de agricultura urbana y demás producciones de carácter agroecológico» (Vázquez 2007). El control biológico es la alternativa principal dentro de estos enfoques, la prioridad ha sido el control biológico por aumento (Pérez 2004); y más recientemente por conservación; el control biológico clásico por introducción de especies exóticas, también se ha implementado pero en menor medida (Milán *et al.* 2005, Peña *et al.* 2006).

Control biológico por aumento

Se producen por técnicas artesanales insectos y ácaros entomófagos (depredadores y parasitoides) (tablas 5 y 6); hongos, bacterias, y nematodos entomopatógenos (tabla 7).

En el 2007 se aplicaron medios biológicos en el 33% de la superficie total cultivada (Fernández-Larrea 2007), que ascendía a 2988,5 miles de ha según datos de la ONE (2008).

Tabla 5. Especies de insectos entomófagos que se crían en Centros Reproductores de Entomófagos de las diferentes provincias (Massó 2007).

Entomófagos	Cantidad de Centros Reproductores de Entomófagos														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Parasitoides															
<i>Lixophaga diatraeae</i>	1	4	1	4	2	3	4	3	2	3	3	4	2	1	1
<i>Trichogramma</i> spp.	5	8	1	5	5	7	7	5	9	6	5	5	7	2	
<i>Tetrastichus howardi</i>	1	5				3	4	7	2	4			2	1	
<i>Euplectrus</i> sp.						2									
<i>Telenomus</i> sp.						2			2						
<i>Eucelatoria</i> sp.							4	7	2						
Depredadores															
<i>Chrysopa</i> spp.	1	4											2		
<i>Coleomegilla cubensis</i>						2									
<i>Cryptolaemus montrouzieri</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1
Otros coccinélidos							1								

Los números en la fila 2 corresponden a las siguientes provincias, y el 15 al municipio especial:

- | | | |
|------------------------|--------------------|-------------------------|
| 1. Pinar del Río | 6. Villa Clara | 11. Holguín |
| 2. La Habana | 7. Sancti Spiritus | 12. Granma |
| 3. Ciudad de La Habana | 8. Ciego de Ávila | 13. Santiago de Cuba |
| 4. Matanzas | 9. Camagüey | 14. Guantánamo |
| 5. Cienfuegos | 10. Las Tunas | 15. Isla de la Juventud |

Tabla 6. Parasitoides y depredadores utilizados en Cuba, plagas que regulan y cultivos donde se liberan (Pérez 2004, Massó 2007).

Parasitoides				
Cultivos	Plagas		Inoculativo	Inundativo
Caña de azúcar	<i>Diatraeae saccharalis</i> F	<i>Lixophaga diatraeae</i> (Town.)		x
Caña de azúcar	<i>D. saccharalis</i>	<i>Trichogramma fuentesi</i> Torre		x
Caña de azúcar	<i>Elasmopalpus lignosellus</i> (Zeller)	<i>L. diatraeae</i>		x
Caña de azúcar	<i>Mocis latipes</i>	<i>T. fuentesi</i>		x
Caña de azúcar	<i>Leucania unipuncta</i>	<i>Eucelatoria</i> sp.	x	
Caña de azúcar	<i>L. unipuncta</i>	<i>Cotesia flavipes</i>	x	
Caña de azúcar	<i>M. latipes</i>	<i>Eucelatoria</i> sp.	x	
Caña de azúcar	<i>Spodoptera frugiperda</i> J. E. Smith	<i>Eucelatoria</i> sp.	x	
Caña de azúcar	<i>S. frugiperda</i>	<i>Telenomus</i> spp.	x	
Caña de azúcar	<i>S. frugiperda</i>	<i>Euplectrus plathyhypenae</i> (How.)	x	
Caña de azúcar	<i>Leucania</i> spp.	<i>Eucelatoria</i> sp.	x	
Caña de azúcar	<i>D. saccharalis</i>	<i>Tetrastichus howardi</i> (Olliff)		
Pastos	<i>M. latipes</i>	<i>Trichogramma pretiosum</i> Riley		x
Yuca	<i>Erinnys ello</i>	<i>Trichogramma pinto</i> Voegelé		x
Tomate	<i>E. ello</i>	<i>Trichogramma</i> spp.		x
Tabaco	<i>Heliothis virescens</i> F.	<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> L.	<i>Trichogramma</i> spp.		x
Col	<i>Plutella xylostella</i> L.	<i>Trichogramma</i> spp.		x
Hortalizas	<i>Spodoptera</i> spp.	<i>Trichogramma</i> spp.		x
Maíz, sorgo, arroz	<i>Spodoptera</i> spp.	<i>Telenomus</i> spp.	x	
Maíz	<i>Spodoptera</i> spp.	<i>E. plathyhypenae</i>	x	
Tomate, pimiento, cebolla	<i>Prodenia</i> spp. y <i>Spodoptera</i> spp.	<i>Telenomus</i> spp.	x	
Col	<i>P. xylostella</i>	<i>Tetrastichus</i> sp.	x	
Depredadores				
Cucurbitáceas y otros cultivos	Áfidos	<i>Coleomegilla cubensis</i> (Casey)	x	
Diversos	Inmaduros de ácaros, áfidos y lepidópteros	<i>Chrysopa</i> spp.	x	
	Cochinillas harinosas, áfidos, huevos de lepidópteros	<i>Cryptolaemus montrouzieri</i>	x	

La conservación de enemigos naturales

Los beneficios de la disminución en el uso de plaguicidas a escala nacional ya son visibles. En los 2000 ya se observa una recuperación notable de las poblaciones de enemigos naturales; y se van produciendo cambios en la percepción que los productores y campesinos tienen del control biológico, de modo que se le presta más atención a la conservación de los biorreguladores, al reconocerse que el mayor aporte del control biológico a la agricultura sostenible no está en la reproducción masiva y liberación de agentes de control biológico, sino en la conservación de estos. Se destaca la aplicación de nuevas metodologías para el manejo de reservorios por parte de los agricultores, por ejemplo, el desarrollo y aplicación de un método de cría rústica de coccinélidos

y dos de sus presas preferidas: pseudocóccidos y áfidos (Milán *et al.* 2007).

Se investiga y trabaja en el diseño e implementación de estrategias del manejo del hábitat: creación y conservación de ambientes seminaturales (agroforestería y silvopastoreo, arboledas y minibosques; sitios o realengos); cercas vivas perimetrales; barreras vivas; asociaciones de cultivos; tolerancia de la flora adventicia; coberturas vegetales del suelo; manejo de variedades de cultivo; rotaciones de cultivo; mosaicos de cultivos y fomento de plantas florecidas. El diseño y manejo de agroecosistemas basados en el aumento de la biodiversidad y complejidad garantizan interacciones positivas que mantienen bajo cierto control a las poblaciones plagas (Gliessman 2002, Altieri y Nicholls 2000, 2005, Nicholls 2006, Vázquez *et al.* 2008).

Tabla 7. Hongos, bacterias y nematodos entomopatógenos producidos en Cuba.

Hongos		
Entomopatógenos	Plagas	Cultivos/animales
<i>Beauveria bassiana</i> Cepa MB-1	<i>Cosmopolites sordidus</i>	Banano
	<i>Pachnaeus litus</i>	Cítricos
	<i>Lissorhoptrus brevirostris</i>	Arroz
	<i>Cylas formicarius</i>	Boniato
	<i>Atta insularis</i>	Caña de azúcar y otros
	<i>Thrips palmi</i>	Papa
<i>B. bassiana</i>	<i>Diatraea saccharalis</i>	Caña de azúcar
<i>Lecanicillium lecanii</i> Cepas: LVL-12 y LVL-5	<i>Bemisia tabaco, Myzus persicae</i>	Hortalizas
	Áfidos y mosca blanca	Papaya
	<i>T. palmi</i> , áfidos y mosca blanca	Papa
	<i>B. tabaco, B. argentifolia</i>	Tomate, pimiento, frijol
	<i>Brevicoryne brassicae</i>	Col
<i>Metarhizium anisopliae</i> Cepa: LMa-11)	<i>L. brevirostris, Tagosodes oryicola</i> <i>Oebalus insularis, Spodoptera spp.</i>	Arroz
	<i>Spodoptera spp.</i>	Maíz
	<i>Mocis spp., Prosapia bicincta</i>	Pastos
	<i>C. sordidus</i>	Banano
	<i>P. litus</i>	Cítricos
	<i>T. palmi</i>	Papa, pimiento, frijol y cucurbitáceas
Bacillus thuringiensis		
Btk (LBT-1)	<i>Plutella xylostella, Trichoplusia ni</i>	Col y berro
	<i>Mocis latipes, Spodoptera spp.</i>	Pastos
Btk (LBT-24)	<i>Spodoptera spp., M. sexta, H. zea, T. brassicae, K. lycopersicella</i>	Tomate y pimiento
	<i>Spodoptera frugiperda</i>	Maíz y arroz
	<i>Heliothis zea, Spodoptera spp. minadores, Erinnyis ello, Trichoplusia ni</i>	Hortalizas, raíces y tubérculos
	<i>Diaphania hyalinata</i>	Cucurbitáceas
	<i>Spodoptera spp.</i>	Papa
	<i>Hedylecta indicata</i>	Frijol
	<i>Spodoptera spp., S. sunia</i>	Ajo y cebolla
Btk (LBT-21)	<i>Heliothis virescens, Manduca sexta</i> <i>Spodoptera spp.</i>	Tabaco
	Bt (LBT-13)	<i>Phyllocnistis citrella</i> <i>Phyllocoptruta oleivora</i> <i>Polyphagotarsonemus latus</i>
<i>Tetranychus tumidus</i>		Banano
<i>Liriomyza trifolii, P. latus.</i>		Papa
Bt (LBT-13 y LBT-25)		<i>Megninia gynglimura</i> <i>Ornithonyssus sylviarum</i>
	Nematodos	
<i>Heterorhabditis sp.</i> Cepa HC1	<i>P. xylostella</i> y áfidos	Col de repollo
	<i>C. formicarius</i>	Boniato
	<i>Spodoptera frugiperda</i>	Maíz
	<i>Spodoptera spp., M. sexta, H. ze, T. brassicae, K. lycopersicella</i>	Tomate y pimiento
	<i>Spodoptera spp.</i>	Papa
	<i>D. hyalinata</i>	Cucurbitáceas
	<i>Spodoptera spp., S. sunia</i>	Ajo y cebolla
	Escolítidos y otros perforadores	Forestales

Una consecuencia directa de la disminución de la relevancia de los plaguicidas es la percepción de que los agroecosistemas cubanos actuales, tienen un mayor nivel de salud y de resiliencia. Para la agricultura cubana expuesta a un riesgo grande de desastres de diferente naturaleza es importante alcanzar ese estado de salud y resiliencia, que va mucho más allá de la disminución de la relevancia y dependencia de los plaguicidas y del MEP.

Conclusiones

El caso de Cuba reafirma la conclusión del informe de PAN Europa en el 2007, de que la disminución en el uso de plaguicidas no solo es posible, si no que es una realidad. Tecnológicamente es factible, en el país están desarrolladas y disponibles un número suficiente de tecnologías y prácticas agroecológicas que justifican la eliminación progresiva de los plaguicidas. La infraestructura y organización que se requiere para esta eliminación esta creada, y además existe amplia experiencia acumulada en alternativas agroecológicas entre técnicos y agricultores.

Debe dársele prioridad a los más peligrosos, a los incluidos en la Lista de Listas publicada por PAN Reino Unido (PAN-UK 2009); en dicha lista están los plaguicidas clasificados como IA y IB por la Organización Mundial de la Salud los que fueron objeto de un llamamiento a los gobiernos que hizo la FAO, en el 2007, para su eliminación progresiva (WHO 2005, FAO 2007).

Se precisa por parte del Estado y de los agricultores un compromiso más fuerte para continuar reduciendo el uso de plaguicidas y su dependencia, pues el nivel de adopción de prácticas ecológicas como alternativa al uso de plaguicidas es elevado en el sector cooperativo de la Asociación Nacional de Agricultores Pequeños (ANAP) y en los sistemas agrícolas urbanos y periurbanos (ahora suburbanos), pero no es así en los sistemas de cultivo intensivos como la papa, tabaco, arroz y cítricos.

Referencias

- Altieri MA, Nicholls CI. 2000. Agroecología: Teoría y práctica para una agricultura sustentable. Serie Textos Básicos para la Formación Ambiental N° 4. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. México DF, México.
- Altieri MA, Nicholls CI, Fritz MA. 2005. Manage Insects on your farm. A guide to ecological strategies. Beltsville, MD: Sustainable Agricultural Network.
- Benbrook CM, Groth E. 1997. Indicators of the sustainability and impacts of pest management systems. Seattle, Washington: AAAS Annual Meeting.
- Cannell E. 2007. Pesticide Use Reduction. European farmers plough ahead. Pesticides News 78: 3-5.
- CITMA. 2007. Estrategia Ambiental Nacional 2007-2010. Anexo único de la Resolución No. 40/2007. La Habana: Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.
- 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.
- Fernández-Larrea O. 2007. Pasado, presente y futuro del control Biológico en Cuba. Fitosanidad 11: 29-39.
- Gliessman SR. 2002. Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible. Turrialba: CATIE.
- Infante CC. 2008. Evaluación de indicadores de impacto y de sostenibilidad de las prácticas de manejo de plagas en el municipio de San Antonio de los Baños, La Habana. Tesis en opción al título de Maestro en Ciencias en Agroecología y Agricultura Sostenible. La Habana: Universidad Agraria de La Habana.
- FAO. 2007. Nueva iniciativa para reducir el riesgo de los plaguicidas. Comité de Agricultura, 20 Periodo de Sesiones. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Levitan L. 1999. An Overview of Pesticide Impact Assessment Systems (a.k.a. "Pesticide Risk Indicators") based on Indexing or Ranking Pesticides by Environmental Impact " Disponible en: <http://www.pmac.net/loispart.htm>.
- PAN-UK. 2009. La Lista de Listas. Documento Informativo. Londres: Red de Acción en Plaguicidas del Reino Unido.
- Massó E. 2007. Producción y uso de entomófagos en Cuba. Fitosanidad 11: 29-39.
- Milán O, Rijo E, Massó E. 2005. Introducción, cuarentena y desarrollo de *Cryptolaemus montrouzieri* (Mulsant) en Cuba. Fitosanidad 9: 69-76.
- Milán O, Cueto N, Larrinaga J, Matienzo Y. 2007. Reproducción rústica de los coccinélidos (Coleoptera: Coccinellidae) para su utilización contra fitófagos en agroecosistemas sostenibles. INISAV. Boletín Fitosanitario 12.
- Murguido C, Elizondo AI. 2007. El manejo integrado de plagas de insectos en Cuba. Fitosanidad 11: 23-28.
- Neumeister L. 2007. Pesticide Use Reduction Strategies in Europe. Six case studies. London: PAN Europe.
- Nicholls CI. 2006. Bases agroecológicas para diseñar e implementar una estrategia de manejo de hábitat para control biológico de plagas. Agroecología 1: 37-48.
- Oerke EC. 2005. Crop losses to pests. Journal of Agricultural Science: 1- 13.
- ONE. 2008. Uso y tenencia de la tierra en Cuba. Dirección de agropecuario. Ciudad de La Habana: Oficina Nacional de Estadísticas.
- OPS. 2002. Situación Epidemiológica de las Intoxicaciones Agudas por Plaguicidas en Centroamérica, 1992-2000. Boletín Epidemiológico OPS 23:5-8.

- Peña E, García M, Blanco E, Barreras JF. 2006. Introducción de la avispa de Costa de Marfil *Cephalonomia stephanoderis* Betrem (Hymenoptera: Bethyridae), parasitoides de la broca del fruto del café *Hypothenemus hampei* Ferrari (Coleoptera: Scolytidae) en Cuba. *Fitosanidad* 10: 33-36.
- Pérez N. 2004. Manejo Ecológico de Plagas. La Habana: Universidad Agraria de La Habana.
- Pérez N, Jiménez LC, González C. 2009. Alternativas biológicas al uso del endosulfán en Cuba. En *El endosulfán y sus alternativas en América Latina. Segundo Reporte* (Bejarano F, ed.). Chile: RAPAL-IPEN-RAPAM, 35-48 pp.
- Ramírez F, Chaverri F, Cruz E, Wesseling C, Castillo L, Bravo V. 2009. Importación de plaguicidas en Costa Rica. Período 1977-2006. Informes Técnicos IRET 6. Heredia: Universidad Nacional.
- Vázquez LL. 2007. Desarrollo del manejo agroecológico de plagas en los sistemas agrarios de Cuba. *Fitosanidad* 11: 29-39.
- Vázquez LL, Matienzo Y, Veitía MM, Alfonso J. 2008. Conservación y manejo de enemigos naturales de insectos fitófagos en los sistemas agrícolas de Cuba. Ciudad de La Habana: INISAV.
- WHO. 2010. The WHO recommended classification of pesticides by hazard and guidelines to classification: 2009. Geneva: World Health Organization.

AGROECOLOGÍA

Información para los autores y política editorial

La revista de *Agroecología* editada por la Facultad de Biología de la Universidad de Murcia, a través del Servicio de Publicaciones de esta Universidad, en colaboración con la Sociedad Española de Agricultura Ecológica (SEAE), publica en inglés, español y portugués, resultados de investigación en todos los campos de la Agroecología.

Agroecología acepta:

- artículos originales sobre temas agroecológicos.
- comunicaciones breves de hasta dos páginas manuscritas
- reseñas bibliográficas

1. Extensión de los artículos

Los artículos no deben exceder 25 páginas impresas en DIN A4, a doble espacio y tamaño de letra 12. Como procesador de texto se utilizará preferentemente Microsoft Word.

2. Presentación de los manuscritos

La primera página de cada manuscrito debe contener:

Título del artículo, nombre de los autores y dirección e-mail, teléfono y fax del autor responsable de la correspondencia.

Resumen, que no excederá de 250 palabras, y de 3 a 7 palabras claves. Resumen y palabras claves en inglés y español o portugués.

Las siguientes secciones incluirán el contenido usual: Introducción, Material y Métodos, Resultados, Discusión, Agradecimientos, Referencias (ver a continuación), Tablas (ver a continuación), Ilustraciones (ver a continuación), Leyendas (ver a continuación).

3. Tablas

Cada tabla (Tabla 1) debe ser presentada por separado, numerada y estará referida en el texto.

4. Figuras

Los dibujos (Fig. 1) pueden ser enviados como originales o como fotografías en blanco y negro bien contrastadas y de alta calidad.

5. Fotografías y microfotografías

Deben ir numeradas secuencialmente con las figuras. Se debe incorporar una escala en el lugar que se estime apropiado. El autor debe utilizar sus propios

símbolos, números y letras tanto para las figuras como para las fotografías. El nombre del autor/es del artículo y el número de la figura debe escribirse en el dorso de la misma.

6. Leyendas

Las leyendas de las tablas y figuras, convenientemente numeradas, deben escribirse todas juntas en páginas separadas del resto del artículo.

7. Referencias

Corresponderán únicamente a los trabajos, libros, etc., citados en el texto y se escribirán según el siguiente modelo:

a) Para artículos en revista

Packer C. 1983. Sexual dimorphism: the horns of African antelopes. *Science* 221: 1191-1193.

Boyer HW, Roulland-Dussoix D. 1969. A complementation analysis of the restriction and modification of DNA *Escherichia coli*. *Journal of Molecular Biology* 41: 459-465.

Klos J, Kuta E, Przywara L. 2001. Karyology of *Plagiomnium*. I. *Plagiomnium affine* (Schrad.) T. Kop. *Journal of Bryology* 23: 9-16

Usar los nombres de las revistas completos, no en abreviación.

b) Para libros, tesis y otras publicaciones no periódicas

Whelan RJ. 1979. *The ecology of fire*. Cambridge: Cambridge University Press.

c) Para artículos y capítulos de contribuciones en libros

Huenneke LF. 1991. Ecological implications of genetic variation in plant population. In *Genetics and conservation of rare plants* (Falk DA, Holsinger KE, eds.). Oxford: Oxford University Press, pp. 31-44.

d) Los trabajos en prensa

Sólo se citarán si han sido formalmente aceptados para su publicación, su reseña se hará como sigue:

Werner O, Ros RM, Guerra J. in press. Direct amplification and NaOH extraction: two rapid and simple methods for preparing bryophyte DNA for polymerase chain reaction (PCR). *Journal of Bryology*.

La lista bibliográfica de un trabajo se establecerá or-

denando las referencias alfabéticamente por autores (y cronológicamente para un mismo autor, añadiendo las letras a, b, c, etc., a los trabajos del mismo año). En el texto, las referencias bibliográficas se harán de la manera usual: "según Packer (1983)"; "el ahorro energético (Margalef 1983)"; "en trabajos recientes (Ritley 1981, Rufoss & Canno 1999)"; etc. Se citarán los autores por su apellido cuando éstos sean uno o dos (Kumagai & Hasezawa 2000), pero no cuando sean más de dos, empleándose entonces, la abreviación de *et alii* (Sunderesan *et al.* 1999).

8. Unidades

Agroecología sigue el Sistema Internacional de Unidades (SI).

9. Abreviaturas

Las abreviaturas de uso no común deben ser explicadas.

10. Pruebas de imprenta

Cada autor recibirá una prueba de imprenta de su trabajo. El autor debe ajustarse a los plazos de devolución de las pruebas corregidas y evitar la introducción de modificaciones importantes al texto original. La corrección de pruebas deberá hacerse según pautas y

símbolos internacionalmente admitidos, de los que se adjuntará una muestra con las galeradas. En las galeradas corregidas se indicará (al margen) el lugar aproximado del texto en el que colocar las distintas figuras y tablas.

11. Advertencia final

Los autores deben evitar rigurosamente el uso de negritas, mayúsculas, subrayados, etc., en la totalidad del manuscrito. Subrayar sólo los nombres científicos de géneros, especies, subespecies, etc.

12. Envío de los trabajos originales

Toda la correspondencia relativa a la publicación de artículos en **Agroecología** puede enviarse:

a) Por correo electrónico (e-mail) a la dirección: jmegea@um.es

b) Por envío postal (original y disquette o CD-ROM, con el texto, cuadros y figuras) a:

José M. Egea

Dpto. de Biología Vegetal (Botánica)

Facultad de Biología

Universidad de Murcia

Campus de Espinardo

30100 Murcia. España

AGROECOLOGÍA

Instructions for authors and editorial policy

Instructions for authors and editorial policy

Agroecology Journal is being edited by the Faculty of Biology of the University of Murcia (Spain), Publishing Service, in collaboration with the Spanish Society for Organic Farming (Sociedad Española de Agricultura Ecológica, SEAE). The contents are accepted research results from all fields of Agroecology, in English, Spanish or Portuguese.

Agroecology paper acceptance:

- original research papers on Agroecology
- short notes up to 2 printed pages
- book reviews

1. Size or length of papers documents

Papers should not exceed 25 printed pages in DIN A4, double space and word writing size 12. Text processing preferable will be Microsoft Word.

2. Organization of the manuscript

The first page of each manuscript should indicate:

The title, the author's names and the name, address, e-mail, phone and fax number of the corresponding author and 3 to 7 key words. The Abstracts must not exceed 250 words. Abstracts and key words in English and Spanish or Portuguese

The following sections covering the usual contents: Introduction, Materials and Methods, Results, Discussion, Acknowledgements, References (see below), Tables with figures (see below), Illustrations or graphics (see below), Legends (see below).

3. Tables

Each table (Table 1) should be typed on a separated sheet, numbered and should be referred to in the text.

4. Figures

Line drawings (Fig. 1) can either be submitted as original drawings ready to print or as clean and sharp glossy black and white photographs.

5. Photographs and microphotographs

Photographs should be numbered in sequence with the figures. A scale bar should be drawn where appropriate. Authors should use their own symbols, numbers and lettering to figures, including photographs. The

author's name and the number of the figure should be written on the back of each figure.

6. Legends

Legends of tables and figures conveniently numbered should be typed on a separate sheet and not written on the figures.

7. References

Should be restricted to books, papers, etc., cited in the paper, and should be presented according to the style shown below:

a) Articles from journals

Packer C. 1983. Sexual dimorphism: the horns of African antelopes. *Science* 221: 1191-1193.

Boyer HW, Roulland-Dussoix D. 1969. A complementation analysis of the restriction and modification of DNA *Escherichia coli*. *Journal of Molecular Biology* 41: 459-465.

Klos J, Kuta E, Przywara L. 2001. Karyology of *Plagiomnium*. I. *Plagiomnium affine* (Schrad.) T. Kop. *Journal of Bryology* 23: 9-16

Write out the journal names in full.

b) Books, Theses and other sporadic publications

Whelan RJ. 1979. *The ecology of fire*. Cambridge: Cambridge University Press.

c) Articles and chapters from books

Huenneke LF. 1991. Ecological implications of genetic variation in plant population. In *Genetics and conservation of rare plants* (Falk DA, Holsinger KE, eds.). Oxford: Oxford University Press, pp. 31-44.

d) Papers in press

Should only be quoted if they have been accepted for publication, their quotation should be as follows:

Werner O, Ros RM, Guerra J. in press. Direct amplification and NaOH extraction: two rapid and simple methods for preparing bryophyte DNA for polymerase chain reaction (PCR). *Journal of Bryology*.

References must be given in alphabetical order of authors (and chronologically for the same author, adding the letters a, b, c, etc. for papers of the same year). In

the text, references should be cited in the conventional manner: "according to Packer (1983)"; "the energy saving (Margalef 1983)"; "in recent papers (Ritley 1998, Rufoss & Canno 1999)", etc. Authors will be mentioned by their surnames (without initials) when they do not exceed two (Kumagai & Hasezawa 2000) and by "*et al.*" when more than two (Sunderesan *et al.* 1999).

8. Units

Agroecology uses SI units (Système International d'Unités).

9. Abbreviations

Uncommon abbreviations should be explained.

10. Proofs

Authors will receive one set of proofs of their paper. Authors should obey the dead lines of the corrected proofs and should avoid introducing extensive modifications of the original text. Correction of proofs should be done according to international symbols

and standards, an example of which will be enclosed with the galley-proof. The approximate place to insert figures and tables should be indicated on the corrected proofs.

11. Final remark

Avoid bold, italic, capital letters, etc. in the manuscript, only underline scientific names of genus, species, subspecies, etc.

12. Submission of papers

All the communication regarding articles and publication of the **Agroecología** Journal can be sent to:

c) Per e-mail to: jmegea@um.es

d) Per conventional Post (original and disquette or CD-ROM, with the text, tables and figures) to:

José M. Egea

Dpto. Biología Vegetal (Botánica)

Facultad de Biología

Universidad de Murcia

Campus de Espinardo, s/n

30100 Murcia. Spain

BOLETÍN DE SUSCRIPCIÓN, COMPRA O INTERCAMBIO (SUBSCRIPTION ORDER)

Enviar a (Send to):

Servicio de Publicaciones
Universidad de Murcia
C/. Actor Isidoro Máiquez. 9.
30007 MURCIA (España)
Tlfno.: 968 36 30 11 y 12 (Internacional: +34 968 36 30 12)
Fax: 968 36 34 14 (Internacional: 34 968 36 34 14)

1.- Suscripción:

Desde año:.....Número:..... inclusive.

2.- Números atrasados:

Desde año:.....Número:..... inclusive.

Forma de pago

- Talón o cheque bancario a nombre de Universidad de Murcia (Servicio de Publicaciones)
- Transferencia a la c/c nº 00496660702416026835 código de ingreso 5103C Banco de Santander.
C/.Trapería, 5. 30001 Murcia (España)

Sólo para extranjeros

Si pagan mediante cheque bancario deberá ser en euros. Si trabajan con bancos extranjeros tendrán que añadir 9 €.

Precios de suscripción:

- Suscripción normal: 30 € + gastos de envío (foreign countries: 30 U.S. \$ + postage and packing cost.)
- Número atrasado (delayed number): 30 € + gastos de envío (30 U.S. \$ + postage and packing cost.)

Datos personales

Nombre y apellidos o razón social:.....

NIF. o CIF:.....

Calle/plaza:.....

Código postal:..... Ciudad:..... Provincia:.....

País:..... Tfno.:..... Fax:.....

Para intercambios

Enviar solicitud a: Universidad de Murcia. Biblioteca General. Intercambios. 30071 MURCIA.
Teléfono: 968 36 36 92 • Fax: 968 36 78 09 • e-mail: mdem@um.es

Publicación que se ofrece en intercambio (Título, dirección):

.....
.....
.....

