

BASES AGROECOLÓGICAS PARA DISEÑAR E IMPLEMENTAR UNA ESTRATEGIA DE MANEJO DE HÁBITAT PARA CONTROL BIOLÓGICO DE PLAGAS

Clara Nicholls

Department of Environmental Science, Policy and Management, University of California, Berkeley, 137 Mulford Hall-3114, Berkeley, CA 94720-3114. E-mail: nicholls@berkeley.edu

Resumen

Desde el inicio de la modernización agrícola, los agricultores e investigadores se han enfrentado al dilema que emerge de la homogenización de los agroecosistemas: el incremento de plagas y enfermedades que pueden alcanzar niveles devastadores en monocultivos uniformes y de larga escala.: una mayor vulnerabilidad. Este artículo explora estrategias prácticas para romper el monocultivo reduciendo así su vulnerabilidad ecológica al nivel del campo y del paisaje rural. Una de las más obvias ventajas de la diversificación es la mejora de las oportunidades ambientales para la entomofauna benéfica y así incrementar el control biológico. El artículo explica maneras en que la biodiversidad puede contribuir al diseño de agroecosistemas resilientes a plagas al crear una infraestructura ecológica apropiada dentro y fuera del campo cultivado. Se revisan estudios que informan sobre los efectos de policultivos, cultivos de cobertura, corredores, etc, sobre plagas y sus enemigos naturales, poniendo atención a los mecanismos que explican la regulación biótica en agroecosistemas diversificados. Esta reflexión es importante si se desea utilizar la manipulación del hábitat como la base del manejo ecológico de plagas.

Palabras clave: Monocultivo, insectos plaga, enemigos naturales, control biológico, biodiversidad.

Summary

An agroecological basis to design and implement a habitat management strategy to enhance biological control in agroecosystems

Since the onset of agricultural modernization, farmers and researchers have been faced with a main ecological dilemma arising from the homogenization of agricultural systems: an increased vulnerability of crops to insect pests and diseases, which can be devastating when infesting uniform crop, large scale monocultures. This paper explores practical steps to break the monoculture and thus reduce their ecological vulnerability, by restoring agricultural biodiversity at the field and landscape level. The most obvious advantage of diversification is enhanced environmental opportunities, thus enhancing biological pest control. The paper focuses on ways in which biodiversity can contribute to the design of pest-stable agroecosystems by creating an appropriate ecological infrastructure within and around cropping systems. Selected studies reporting the effects of intercropping, cover cropping, weed management, agroforestry and manipulation of crop-field border vegetation on insect pests and associated natural enemies, paying special attention to understanding the mechanisms underlying pest reduction in diversified agroecosystems. This reflection is fundamental if habitat management through vegetation diversification is to be used effectively as the basis of Ecologically Based Pest Management (EBPM) tactics in sustainable agriculture.

KeyWords: Monoculture, insect populations, natural enemies, pest management, biodiversity.

Introducción

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 parásitos y depredadores disponibles para suprimir el crecimiento potencial de las poblaciones de especies plagas (Altieri & Nicholls 2004). La diversificación de agroecosistemas resulta general-

mente 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, 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 & Nicholls 2004). Algunos factores relacionados con la regulación de plagas en agroecosistemas diversificados incluyen: el incremento de la población de parasitoides y depredadores dada una mayor disponibilidad de alimento alternativo y hábitat, la disminución en la colonización y reproducción de las plagas, la inhibición de la alimentación mediante repelentes químicos de plantas no atractivas a las plagas, la prevención del movimiento y aumento de emigración de plagas, y la óptima sincronización entre enemigos naturales y plagas.

En agroecosistemas diversificados, la evidencia demuestra que en la medida que se incrementa la diversidad vegetal, la reducción de plagas alcanza un nivel óptimo dependiendo del número de especies vegetales y la combinación de ciertas plantas claves. Aparentemente, mientras más diverso es el agroecosistema y mientras menos disturbada es la diversidad, los nexos tróficos aumentan desarrollándose sinergismos que promueven la estabilidad poblacional insectil. Sin embargo, es claro que

esta estabilidad depende no sólo de la diversidad trófica sino más bien de la respuesta dependiente de la densidad que tengan los niveles tróficos más altos (Southwood & Way 1970). En otras palabras, la estabilidad depende de la precisión de la respuesta de cada nivel trófico al incremento poblacional en un nivel inferior. 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 & 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. 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 selectiva dentro y alrededor de los agroecosistemas.

La naturaleza y función de la biodiversidad en agroecosistemas

La biodiversidad se refiere a todas las especies de plantas, animales y microorganismos que existen e in-

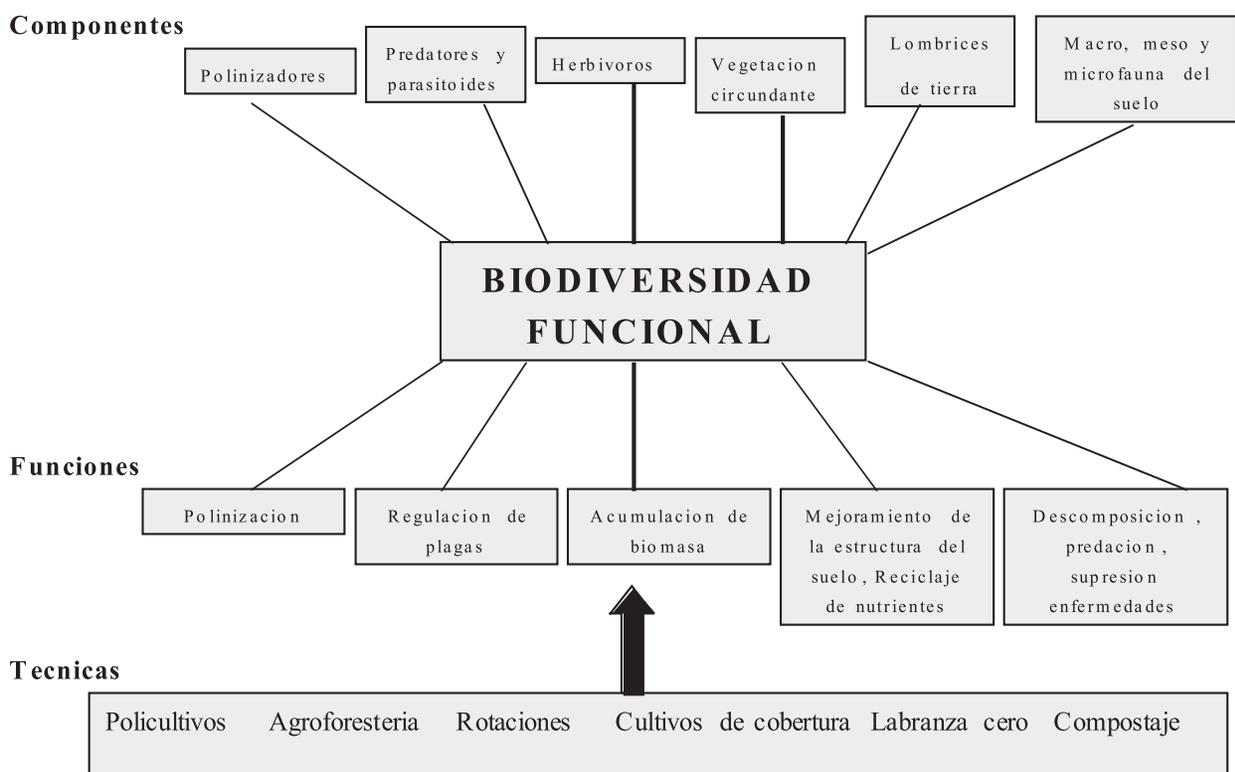


Figura 1. Componentes, funciones y estrategias de mejoramiento de la biodiversidad en agroecosistemas.

teractúan recíprocamente dentro de un ecosistema. En todos los agroecosistemas, existen polinizadores, enemigos naturales, lombrices de tierra y microorganismos del suelo, todos componentes claves de la biodiversidad que juegan papeles ecológicos importantes, al mediar procesos como introgresión genética, control natural, ciclaje de nutrientes, descomposición, etc. (Fig. 1). El tipo y la abundancia de biodiversidad dependen de la estructura y manejo del agroecosistema en cuestión.

En general, un agroecosistema que es más diverso, más permanente, rodeado de vegetación natural y que se maneja con pocos insumos (ej. sistemas tradicionales de policultivos y agrosilvopastoriles) exhibe procesos ecológicos muy ligados a la amplia biodiversidad del sistema. Esto no sucede en sistemas simplificados (monocultivos modernos) que deben ser subsidiados con altos insumos al carecer de biodiversidad funcional.

Todos los agroecosistemas son dinámicos y están sujetos a diferentes tipos de manejo, de manera que los arreglos de cultivos en el tiempo y en el espacio están cambiando continuamente de acuerdo con factores biológicos, socioeconómicos y ambientales. Tales variaciones en el paisaje determinan el grado de heterogeneidad característica de cada región agrícola, la que a su vez condiciona el tipo de biodiversidad presente y la cual puede o no beneficiar la protección de cultivos en agroecosistemas particulares. Uno de los mayores desafíos para los agroecólogos es identificar ensamblajes de biodiversidad, ya sea a nivel del campo o paisaje, que rendirán resultados favorables tales como regulación de plagas. El desafío de diseñar tales arquitecturas solamente se podrá enfrentar estudiando las relaciones entre la diversificación de la vegetación y la dinámica poblacional de herbívoros y sus enemigos naturales asociados en agroecosistemas particulares.

El nivel de biodiversidad insectil en los agroecosistemas depende de cuatro características principales (Southwood & Way 1970):

- La diversidad de vegetación dentro y alrededor del agroecosistema.
- La durabilidad del cultivo dentro del agroecosistema.
- La intensidad del manejo.
- El aislamiento del agroecosistema de la vegetación natural.

Los componentes de la biodiversidad en agroecosistemas se pueden clasificar de acuerdo a la función que juegan en el agroecosistema. Según esto la biodiversidad se puede agrupar como:

- Biodiversidad productiva: cultivos, árboles y animales que son elegidos por los agricultores y que establecen el nivel básico de diversidad útil en el sistema.
- Biota funcional: organismos que contribuyen a la productividad a través de la polinización, control biológico, descomposición, etc.
- Biota destructiva: malezas, insectos plaga y patógenos que reducen la productividad cuando alcanzan niveles poblacionales altos.

Estas categorías pueden agruparse en otra forma propuesta por Vandermeer & Perfecto (1995) que reconocen dos tipos de componentes de la biodiversidad. El primer componente, biodiversidad planificada o productiva, incluye los cultivos y animales incluidos en el agroecosistema por el agricultor y la cual variará de acuerdo al manejo y los arreglos de cultivos. El segundo componente, la biodiversidad asociada, incluye la flora y fauna del

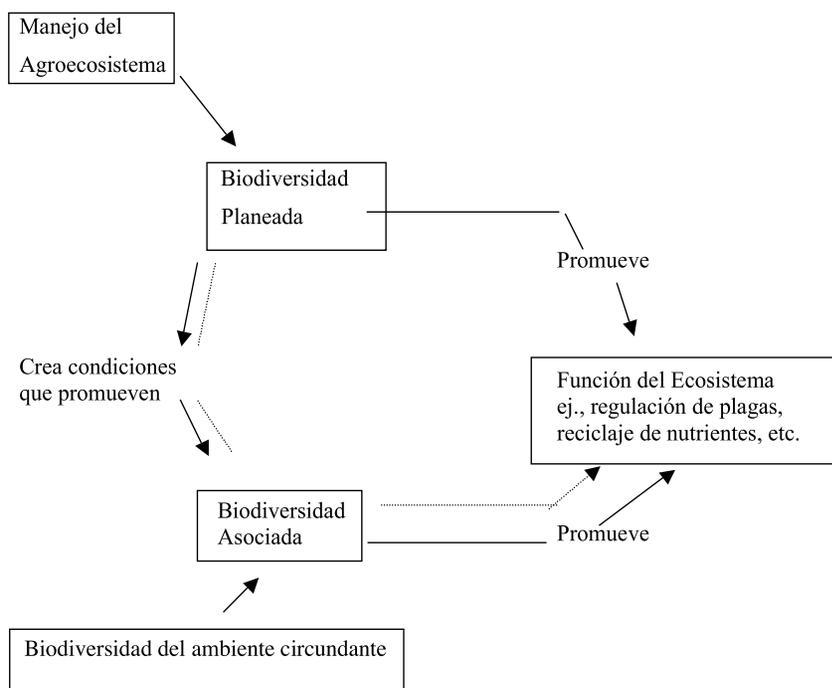


Figura 2. La relación entre los diferentes tipos de biodiversidad y el funcionamiento de agroecosistemas (Vandermeer & Perfecto 1995).

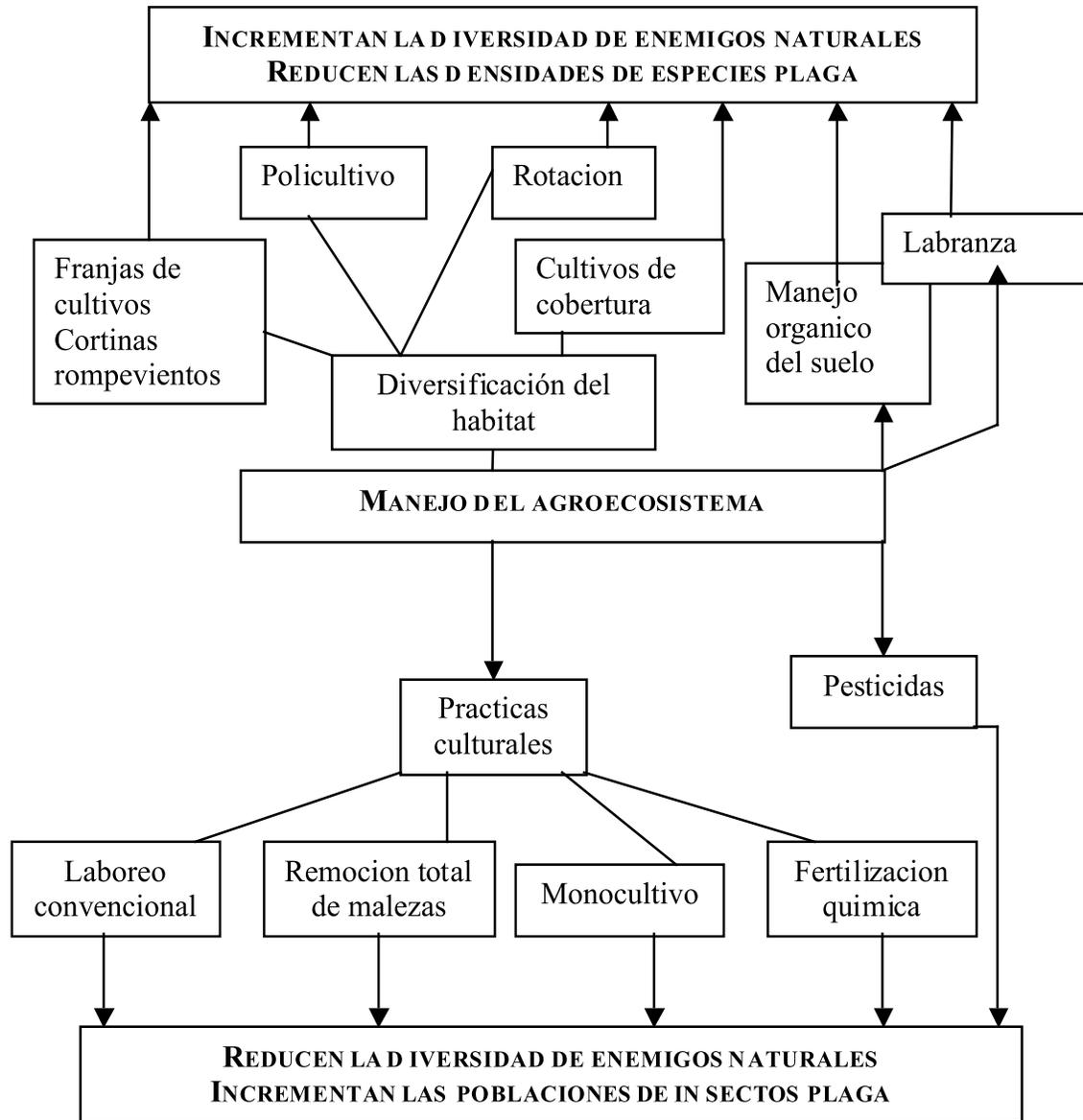


Figura 3. Efectos de las prácticas agrícolas y el manejo del agroecosistema en las poblaciones de insectos plaga y enemigos naturales.

suelo, los herbívoros, descomponedores y depredadores, que colonizan al agroecosistema desde los ambientes circundantes y que permanecerán en el agroecosistema dependiendo del tipo de manejo adoptado. La relación entre los dos componentes de biodiversidad se ilustra en la Fig. 2. La biodiversidad planificada tiene una función directa como lo señala la flecha que conecta a la caja de biodiversidad planificada y la caja de la función del agroecosistema. La biodiversidad asociada también tiene una función, pero está mediada por la biodiversidad planificada que también exhibe una función indirecta. Por ejemplo en un sistema agroforestal, los árboles crean sombra, lo que hace posible que sólo crezcan cultivos tolerantes a la sombra. Por lo tanto la función directa de los árboles es crear sombra. Pero asociadas a los árboles existen pequeñas avispas que buscan el néctar en las flores de los árboles. Estas avispas son parasitoides naturales de

plagas que normalmente atacan a los cultivos. Las avispas son parte de la biodiversidad asociada. Así los árboles crean sombra (función directa) y atraen avispas (función indirecta) (Vandermeer & Perfecto 1995).

Es clave identificar el tipo de biodiversidad que es deseable de mantener o incrementar de manera que se puedan llevar a cabo las funciones (o servicios) ecológicos, y de determinar cuáles son las mejores prácticas de manejo para incrementar la biodiversidad deseada. Como se observa en la Fig. 3, existen muchas prácticas agrícolas que tienen el potencial de incrementar la biodiversidad funcional, y otras de inhibirla o reducirla. Lo importante es utilizar las prácticas que incrementen la biodiversidad y que ésta a su vez tenga la capacidad de subsidiar la sostenibilidad del agroecosistema al proveer servicios ecológicos como el control biológico, el reciclaje de nutrientes, la conservación de suelo y agua, etc.

Tabla 1. Ejemplos de sistemas de cultivo múltiples que previenen la explosión de plagas mediante el incremento de enemigos naturales.

Sistema Múltiple de Cultivos	Plaga Regulada	Factores Involucrados
Cultivos de Brassica y frijol	<i>Brevicoryne brassicae</i> y <i>Delia brassicae</i>	Alta predación e interrupción del comportamiento de oviposición
Bruselas intercaladas con habas y/o mostazas	<i>Phyllotreta cruciferae</i> y áfidos de la col <i>Brevicoryne brassicae</i>	Reducción de la apariencia de la planta, actúa como cultivo trampa, incrementando el control biológico
Coles intercaladas con trébol rojo	<i>Erioschia brassicae</i> , <i>Pieris rapae</i>	Interferencia con colonización e incremento de carábidos en el suelo
Yuca intercalada con caupí	Moscas blancas, <i>Aleurotrachelus socialis</i> y <i>Trialeurodes variabilis</i>	Cambios en el vigor de la planta e incremento en la abundancia de enemigos naturales
Maíz intercalado con habas y calabaza	Pulgones, <i>Tetranychus urticae</i> y <i>Macroductylus</i> sp.	Incremento en la abundancia de predadores
Maíz intercalado con batata	<i>Diabrotica</i> spp. y cicadelidos <i>Agallia lingula</i>	Incremento en el parasitismo
Algodón intercalado con caupí forrajero	Picudo <i>Anthonomus grandis</i>	Incremento en la población del parásito <i>Eurytoma</i> sp.
Policultivo de algodón con sorgo o maíz	Gusano de maíz <i>Heliothis zea</i>	Incremento en la abundancia de predadores
Franjas de cultivo de algodón y alfalfa	Chinches <i>Lygus hesperus</i> y <i>L. elisus</i>	Prevención de la emigración y sincronización entre las plagas y los enemigos naturales
Duraznos intercalados con fresas	Enrollador de la hoja de la fresa <i>Ancyliis comptana</i> y polilla <i>Grapholita molesta</i>	Incremento de población de parásitos (<i>Macrocentrus ancylivora</i> , <i>Microbracon gelechise</i> y <i>lixophaga variabilis</i>)
Maní intercalado con maíz	Berreneador del maíz <i>Ostrinia furnacalis</i>	Abundancia de arañas (<i>Lycosa</i> sp.)
Sésamo intercalado con algodón	<i>Heliothis</i> spp.	Incremento en la abundancia de insectos benéficos y cultivos trampa

Fuente: Altieri & Nicholls 2004.

Existen varios factores ambientales que influyen la diversidad, abundancia y actividad de parasitoides y depredadores en los agroecosistemas: condiciones microclimáticas, disponibilidad de alimentos (agua, polen, presas, etc.), recursos del hábitat (sitios de reproducción, refugio, etc.), competencia inter-específica y presencia de otros organismos (hiperparásitos, depredadores, etc.). Los efectos de cada uno de estos factores variará de acuerdo al arreglo espacio-temporal de cultivos y a la intensidad de manejo; ya que estos atributos afectan la heterogeneidad ambiental de los agroecosistemas (Van den Bosch & Telford 1964).

A pesar de que los enemigos naturales varían ampliamente en su respuesta a la distribución, densidad

y dispersión de cultivos, la evidencia señala que ciertos atributos estructurales del agroecosistema (diversidad vegetal, niveles de insumos, etc.) influyen marcadamente en la dinámica y diversidad de depredadores y parasitoides. La mayoría de estos atributos se relacionan con la biodiversidad y están sujetos al manejo (ej. asociaciones y rotaciones de cultivos, presencia de malezas en floración, diversidad genética, etc.) (Rabb *et al.* 1976, Altieri 1994).

Diversificación dentro del campo cultivado

En general, está bien documentado que en agroecosistemas policulturales hay un incremento en la abundancia

de depredadores y parasitoides, ocasionado por la expansión de la disponibilidad de presas alternativas, fuentes de néctar y microhábitats apropiados (Altieri 1994). En la Tabla 1 se presentan varios ejemplos de plagas reguladas en una serie de policultivos.

Hay dos hipótesis que explican la menor abundancia de herbívoros en policultivos: la de la concentración de recursos y la de los enemigos naturales (Smith & McSorely 2000). Ambas hipótesis explican que pueden haber diferentes mecanismos actuando en agroecosistemas distintos y tienden a sugerir los tipos de ensamblajes vegetacionales que poseen efectos reguladores y los que no, y bajo que circunstancias agroecológicas y que tipo de manejo (Root 1973). De acuerdo a estas hipótesis, una menor densidad de herbívoros puede ser el resultado de una mayor depredación y parasitismo, o alternativamente el resultado de una menor colonización y reproducción de plagas ya sea por repelencia química, camuflaje o inhibición de alimentación por parte de plantas no-hospederas, prevención de inmigración u otros factores (Andow 1991).

Hay varios factores que les permiten a los policultivos limitar el ataque de plagas. El cultivo puede estar protegido de las plagas por la presencia física de otro cultivo más alto que estaría actuando como barrera o camuflaje. La asociación de repollo con tomate reduce las poblaciones de polilla del repollo, mientras que las mezclas de maíz, frijol y calabaza tienen el mismo efecto sobre crisomélidos. El olor de algunas plantas también puede afectar la capacidad de búsqueda de ciertas plagas. Los bordes de pasto repelen a cicadélidos del frijol y los estímulos químicos de la cebolla no permiten a ciertas especies de moscas encontrar a zanahorias en un policultivo (Altieri 1994). Igualmente, cultivos de repollo y brócoli sufren menos daño por áfidos y crisomélidos cuando se intercalan con crucíferas silvestres que actúan como atrayentes de estas plagas (Landis *et al.* 2000).

El efecto clave de la diversidad vegetal en el incremento del control biológico de plagas se ha comprobado más fácilmente en huertos frutales y viñedos que son sistemas más permanentes que los monocultivos anuales. Varios trabajos realizados en la ex URSS, indican que el uso de plantas productoras de néctar en huertos de frutales, proveen recursos alimenticios importantes para incrementar la efectividad de insectos entomófagos. Experimentos demostraron que la siembra de *Phacelia* spp en los huertos, incrementaba el parasitismo de *Quadraspidiotus perniciosus* (Homoptera: Diaspididae) por su parásito *Aphytis proclia* (Hymenoptera: Aphidiidae). Tres siembras sucesivas de flores *Phacelia* en estos campos, incrementó el parasitismo alrededor de un 70%. Estas mismas plantas han demostrado, además un incremento en la abundancia de *Aphelinus mali* (Hymenoptera: Aphelinidae) para el control de áfidos en manzana, y una marcada actividad del parásito *Trichogramma* spp, en el mismo cultivo (Van den Bosch & Telford 1964).

En el norte de California nuestros estudios en viñedos demuestran que los cultivos de cobertura mantienen un gran número de *Orius*, coccinélidos, arañas especialmente de la familia Thomisidae y otras especies de predadores.

Comparaciones de la abundancia de depredadores en los sistemas con y sin cultivos de cobertura muestran que la presencia de trigo sarraceno y girasol produce un incremento en la densidad de depredadores. La pregunta es si tales incrementos en la abundancia de predadores (especialmente dado que *Anagrus* actúa de manera similar en los dos sistemas) explican las bajas poblaciones del cicadélido de la uva y de trips observados en los viñedos diversificados. Este estudio revela que la alta densidad de depredadores está correlacionada con las poblaciones menores de cicadélidos de la uva y esta relación es más clara en el caso de la interacción *Orius*-trips. Los experimentos del corte de la cobertura sugieren una conexión ecológica directa, puesto que el corte del cultivo de cobertura forzó el movimiento de *Anagrus* y de depredadores que se encontraban en las flores, resultando así en una disminución de la población del cicadélido de la uva en las viñas adyacentes a los sistemas donde el cultivo de cobertura fue cortado (Nicholls *et al.* 2000).

Aparentemente las características funcionales de las especies que componen el sistema son tan importantes como el número total de especies. Los papeles funcionales representados por las especies de plantas son claves en determinar procesos y servicios en agroecosistemas. Esto tiene implicaciones prácticas para el manejo del hábitat. Si es más fácil emular un proceso ecológico específico que duplicar la complejidad de la naturaleza, entonces se debiera realizar esfuerzos para incorporar un componente específico de la biodiversidad vegetal que juegue un rol especial (ej. que fija nitrógeno o que sus flores atraen parasitoides). Dependiendo de las condiciones del agricultor, todo lo que se necesita podría ser una rotación o la adición de un cultivo asociado. En el caso de agricultores de pocos recursos que no pueden tomar muchos riesgos, la adopción de policultivos de alta diversidad probablemente sea la mejor opción.

Desde un punto de vista práctico, es más fácil diseñar estrategias de manejo de insectos en policultivos utilizando la hipótesis de los enemigos naturales que la de la concentración de recursos. Esto se debe a que aún no se han identificado bien las situaciones ecológicas o los rasgos en el sistema de vida, que hacen a ciertas plagas más o menos sensitivas a como se organizan los cultivos en el campo (Kareiva 1986). Los monocultivos son ambientes difíciles para inducir una operación eficiente de enemigos naturales debido a que éstos carecen de recursos adecuados para el desempeño óptimo de depredadores y parasitoides, y porque en general se usan prácticas que afectan negativamente al control biológico. Los policultivos sin embargo poseen condiciones intrínsecas (ej. diversidad de alimentos y refugios, y generalmente no son asperjados con plaguicidas) que favorecen a los enemigos naturales. En estos sistemas la elección de una planta alta o baja, una en floración, una de maduración prematura o una leguminosa puede magnificar o disminuir los efectos de la mezclas de cultivos sobre las plagas (Vandermeer 1989). De esta forma, reemplazando o adicionando una diversidad correcta de plantas, es posible ejercer cambios en la diversidad del

hábitat que a su vez mejore la abundancia y efectividad de enemigos naturales.

Estructura del paisaje agrícola y biodiversidad de insectos

Una tendencia desafortunada que acompaña a la expansión de los monocultivos, es que ésta ocurre a expensas de la vegetación natural circundante que sirve para mantener la biodiversidad a nivel del paisaje. Una consecuencia de esta tendencia es que la cantidad total de hábitat disponible para insectos benéficos está decreciendo a tasas alarmantes. En la medida que se homogeniza el paisaje y aumenta la disturbancia en el ambiente, este se torna cada vez más desfavorable para los enemigos naturales. Las implicaciones de la pérdida de hábitat para el control biológico de plagas pueden ser serias dadas las evidencias que demuestra un incremento de plagas en los paisajes agrícolas homogéneos (Altieri & 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).

La manipulación de la vegetación natural adyacente a los campos de cultivo, puede ser también usada para promover el control biológico, ya que la supervivencia y actividad de muchos enemigos naturales depende de recursos ofrecidos por la vegetación contigua al campo. Los cercos vivos y otros aspectos del paisaje han recibido gran atención en Europa, debido a sus efectos en la distribución y abundancia de artrópodos en las áreas adyacentes a los cultivos (Fry 1995). 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 1965). Estos hábitats pueden ser importantes como sitios alternos para la hibernación de algunos enemigos naturales, o como áreas con recursos alimenticios tales como polen o néctar para parasitoides y depredadores. Muchos estudios han documentado el movimiento de enemigos naturales desde los márgenes hacia el centro de los cultivos demostrando un mayor nivel de control biológico en hileras de cultivos adyacentes a vegetación natural (Pickett & Bugg 1998, Thies & Tschardtke 1999). Estudios de los parasitoides Tachinidae e Ichneumonidae atacando *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) fueron conducidos cerca de Moscú y los datos muestran que la eficiencia del parasitismo fue substancialmente mayor en hileras de repollos cercanas a márgenes con plantas en floración de la familia umbelífera (Huffaker & Messenger 1976).

La presencia y distribución de hábitats no cultivados alrededor de campos frecuentemente puede ser crítico para la supervivencia de los enemigos naturales. *Eriborus terebrans* (Hymenoptera: Ichneumonidae) es una avispa que parasita las larvas del barrenador europeo del maíz (*Ostrinia nubil-*

lis: Lepidoptera, Pyralidae). La hembra de *Eriborus* requiere temperaturas moderadas (<32 °C) y una fuente de azúcar (néctar de plantas en flor o miel producida por los áfidos). Ninguna de estas condiciones se cumple en un campo de maíz manejado de forma convencional. Por tanto, las avispas buscan sitios más protegidos como en cercas de madera y zonas boscosas donde encuentran temperaturas más bajas, una mayor humedad relativa y abundantes fuentes de alimento para los adultos. Las larvas del barrenador europeo del maíz ubicadas en bordes de cultivos cercanos a esta clase de hábitats son parasitadas de dos a tres veces más que en las hileras internas de los campos (hasta 40 %) (Landis *et al.* 2000).

En California, se ha observado que el parásito de huevos *Anagrus epos* (Hymenoptera: Mymaridae) es efectivo en el control del cicadélido de la uva *Erythroneura elegantula* (Homoptera: Cicadellidae) en viñedos adyacentes a moras silvestres, puesto que estas albergan otro cicadélido *Dikrella cruentata* (Homoptera: Cicadellidae) que no es considerada plaga, pero que sus huevos sirven, en invierno, como único alimento para el parásito *Anagrus*. Estudios recientes muestran, además, que ciruelos (*Prunus* sp.) plantados alrededor de los viñedos tienden a incrementar la población de *Anagrus epos* y promover parasitismo de cicadélidos temprano en la estación (Flint & Roberts 1988). Nuestra investigación en viñedos orgánicos en el norte de California sugiere que la dispersión y las subsecuentes densidades de los herbívoros y sus enemigos naturales asociados, están influenciadas por las características del paisaje tales como el bosque ripario y el corredor adyacente al viñedo. La presencia de los hábitats riparios incrementa la colonización de depredadores y su abundancia en los viñedos adyacentes, sin embargo esta influencia es limitada por la distancia a la cual los enemigos naturales se dispersan dentro del viñedo. El corredor, sin embargo, amplifica esta influencia permitiendo incrementar la dispersión y circulación de depredadores al centro del campo incrementando el control biológico especialmente en las hileras de viñas cerca a los hábitats que proveen este alimento alternativo (Nicholls *et al.* 2001). También en California en el Valle de San Joaquín, el parasitismo del gusano de la alfalfa, *Colias eurytheme* (Lepidoptera: Pieridae) con *Apanteles medicaginis* (Hymenoptera: Braconidae) fue mucho mayor en secciones del campo donde las malezas se encontraban en floración junto a los canales de irrigación, en contraste con áreas de cultivo donde la maleza fue eliminada (DeBach 1964).

En un estudio que comparó paisajes simples con otros de mosaico, Ryszkowski *et al.* (1993) concluyeron que los enemigos naturales dependen más que las plagas de los hábitats de refugio y cuanto mayor fue la abundancia de estos refugios en los paisajes de mosaico, mayor fue su diversidad, abundancia y habilidad para responder a los números de la presa. Landis *et al.* (2000) examinaron el parasitismo del gusano ejército, *Pseudaletia unipuncta* (Lepidoptera: Noctuidae), en paisajes estructuralmente complejos en comparación con paisajes agrícolas simples. En general, el parasitismo en los sitios complejos fue más de tres veces

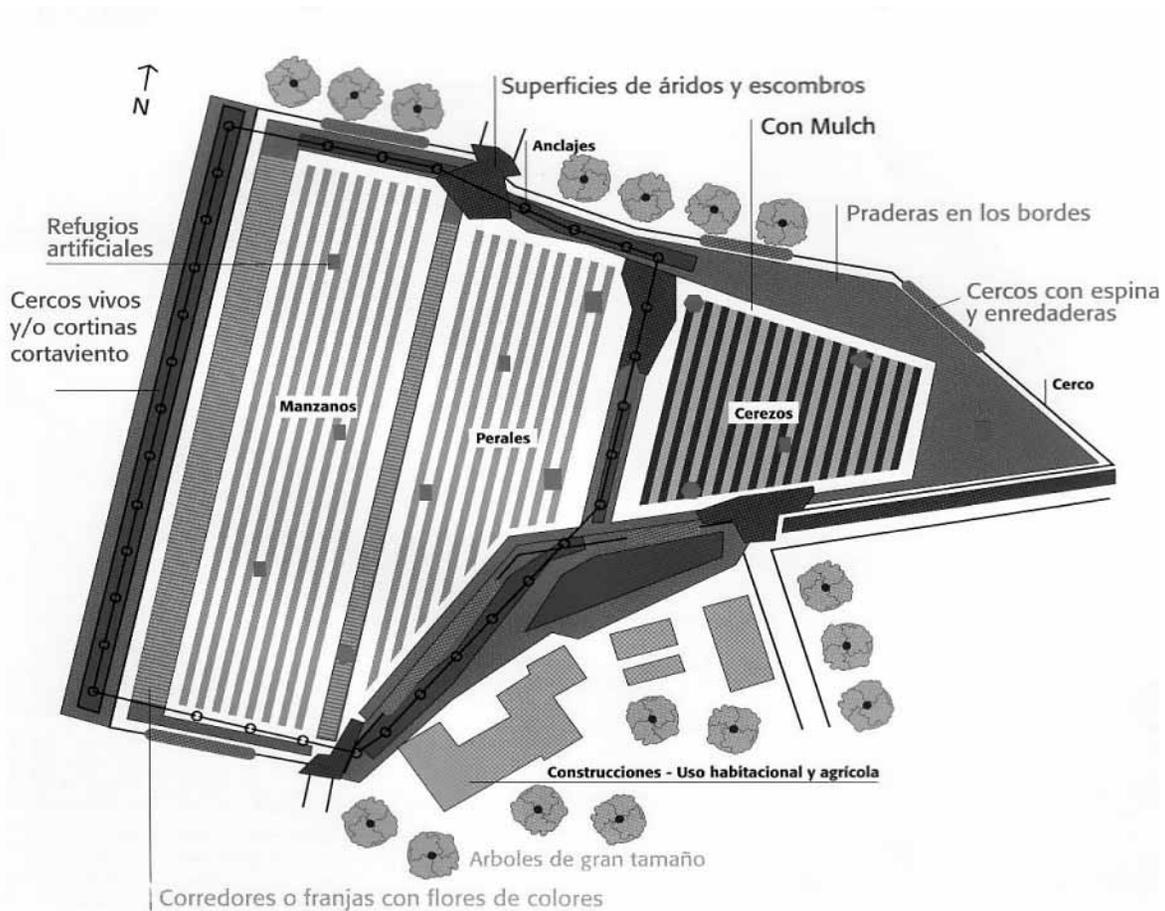


Figura 4. Mapa hipotético de diseño de un sistema asado en huertos frutales diversificados.

superior que en los sitios simples (13.1 % versus 3.4 %). Las diferencias fueron atribuidas en gran parte a *Meterous communis* (Hymenoptera: Braconidae) avispa que fue mucho más abundante en los hábitats complejos. Los autores propusieron la hipótesis de que la abundancia y proximidad de hábitats preferidos para hospederos alternos de *M. communis* parecía ser responsable de las diferencias observadas.

En muchos casos, las malezas y otro tipo de vegetación alrededor de los campos albergan presas/hospederos para los enemigos naturales, proporcionando así recursos estacionales y cubriendo las brechas en los ciclos de vida de los insectos entomófagos y de las plagas (Altieri & Whitcomb 1979). Diversas investigaciones en el norte de California han demostrado que existe un movimiento considerable de insectos entomófagos desde los bosques riparios hacia los huertos de manzanos adyacentes, siendo los huertos orgánicos los que muestran una mayor colonización que los huertos asperjados con insecticidas (Altieri & Schmidt 1986). Varias especies de depredadores y parasitoides colectados en los márgenes del bosque fueron capturadas en la interfase huerto-bosque y más tarde colectadas dentro de los bosques, sugiriendo que la organización de la fauna benéfica de los huertos está condicionada por el tipo de vegetación natural circundante.

En zonas templadas los investigadores han intentado incrementar los depredadores utilizando franjas de

pastos o flores y bordes vegetacionales. En Inglaterra, cuando se utilizan estas estrategias de diversificación vegetal (especialmente franjas de pastos) y se elimina el uso de plaguicidas en cereales, los depredadores carábidos colonizan los campos y proliferan, controlando las poblaciones de áfidos que tienden a ser más numerosos en los centros de los campos (Wratten 1988). El costo de establecer un "banco" de coleópteros de 400 metros en 20 has es de aproximadamente \$200 dólares, incluyendo aradura, semilla de pasto y pérdida de área para el cultivo principal. Una sola aplicación de insecticidas contra áfidos cuesta \$ 750 dólares, más el costo de la pérdida de rendimientos por el ataque de pulgones.

A pesar de estas observaciones, existen pocos esfuerzos en el mundo para diversificar agroecosistemas modernos a nivel del paisaje con márgenes naturales, compuestos por especies en floración que actúan como plantas insectarias. Experiencias de este tipo llenarían una brecha en la información de cómo los cambios en el diseño físico y a nivel de biodiversidad en agroecosistemas afectaría la distribución y abundancia de una comunidad compleja de insectos plaga y enemigos naturales asociados. Por ejemplo la Fig. 4, muestra un mapa hipotético de diseño de un sistema basado en huertos frutales en la cual se incluyen cercos vivos, praderas adyacentes y cultivos de cobertura con el objeto de incrementar recursos alimenticios y de

hábitat para enemigos naturales que al estar presentes en el sistema desde temprano en la estación previenen explosiones de plagas en manzanos, perales y cerezos. En este diseño se espera que los corredores puedan servir como canales para la dispersión de depredadores y parasitoides en agroecosistemas. Dada la alta relación perímetro-área de los corredores, la interacción con campos adyacentes es substancial, proveyendo protección a los cultivos dentro de un área de influencia, determinada por la distancia que se mueven los depredadores desde los corredores hacia cierto rango del campo. Al documentar estos efectos será posible entonces determinar el largo, ancho, distancia y frecuencia a la que los corredores deberán colocarse en los campos para mantener un nivel óptimo de entomofauna benéfica, evitando así la necesidad del uso de plaguicidas. Un sistema de corredores y márgenes en agroecosistemas puede también tener efectos importantes a nivel ecológico tales como interrupción de la dispersión de propágulos de patógenos y semillas de malezas, barreras al movimiento de insectos dispersados por el viento, decremento del acarreo de sedimentos y pérdida de nutrientes, producción de biomasa incorporable al suelo, y modificación de la velocidad del viento y microclima local. Lo más importante es que el diseño de corredores puede convertirse en una estrategia importante para la re-introducción de biodiversidad en monocultivos de gran escala, facilitando así la re-estructuración de agroecosistemas para su conversión a un manejo agroecológico a nivel de cuenca o paisaje.

En el pasado, la conservación típicamente se intentaba con una especie a la vez, concentrándose en suplir las necesidades del enemigo natural, que se pensaba era el más importante, en un sistema particular. Aunque éste continuará siendo un enfoque enormemente útil, ahora la teoría agroecológica provee la información necesaria para el diseño y manejo de paisajes para conservar e incrementar la efectividad de comunidades enteras de enemigos naturales.

¿Qué se necesita conocer para establecer una estrategia efectiva de manejo de hábitat?

No existe una receta universal para un manejo efectivo del hábitat. Es necesario un conocimiento profundo de la plaga y los enemigos naturales así como también las acciones que se deben tomar para proveer el hábitat y los recursos alimenticios para los enemigos naturales. Algunas acciones que pueden incrementar la diversidad, abundancia y eficiencia de enemigos naturales se proveen en la Tabla 2.

El primer paso en el diseño de fincas amigables a los enemigos naturales es recolectar información sobre los tipos de enemigos naturales que se desean conservar, una vez se tenga esto, es importante considerar los siguientes puntos (ver también Tabla 3):

- **¿Dónde invernan los enemigos naturales?** En Inglaterra, un grupo de investigadores descubrieron que los depredadores más importantes de áfidos en trigo hibernaban

en pastizales cercanos a los campos de cultivo. Los depredadores migraban a los campos en la primavera, pero llegaban demasiado tarde para controlar los áfidos en el centro de los campos. Por lo tanto al plantar una franja de pastos en el centro del campo, los depredadores incrementaron su número, entraron al campo y los daños de áfidos fueron controlados.

- **¿Qué recursos alimenticios alternativos necesitan los enemigos naturales?** ¿Están cerca y disponibles durante todo el tiempo? Después de emerger de la hibernación, las mariquitas (Coleoptera: Coccinellidae) por ejemplo, se alimentan de polen durante varias semanas antes de moverse a los campos de alfalfa o trigo para alimentarse de áfidos. Muchos parasitoides requieren también polen rico en proteínas para desarrollar nueva progenie. Recursos de azúcar (carbohidratos) son necesarios para muchos parasitoides, los cuales son obtenidos frecuentemente del néctar de plantas en floración o de la mielecilla producida por los áfidos. Teniendo una gran diversidad de plantas dentro y alrededor de los campos de cultivo ha mostrado ser una buena estrategia para mejorar el control biológico. Flores de Umbelíferas, Compuestas y Leguminosas, que exhiben polen expuesto, han demostrado ser universalmente útiles como fuente de alimento para enemigos naturales.

- **¿Necesitan los enemigos naturales presas u hospederos alternativos?** Muchos depredadores y parasitoides requieren de huéspedes alternativos durante su ciclo de vida, como es el caso de *Lydella thompsoni* (Diptera: Tachinidae), la cual parasita el barrenador europeo del maíz *Ostrinia nubilalis*. El parasitóide emerge antes de que las larvas de *O. nubilalis* estén presentes en la primavera y completa su primera generación en otro barrenador del tallo. Prácticas que eliminan los residuos de vegetación donde posiblemente se encuentran estos barrenadores han contribuido a reducir las poblaciones de este parasitóide. Presas alternativas pueden también ser importantes para incrementar el número de depredadores en el campo antes de que la plaga aparezca en el campo. Los coccinélidos y los Anthocoridos pueden consumir huevos del barrenador europeo del maíz, pero presas alternativas deben estar presentes en el campo antes de la aparición del barrenador europeo con el propósito de mantener altas poblaciones de estos depredadores.

- **¿Qué tipo de refugio necesitan los enemigos naturales durante la estación de crecimiento del cultivo?** La actividad de los depredadores del suelo como arañas y carábidos puede ser limitado por las altas temperaturas del suelo durante el día. La incorporación de cultivos de cobertura o cultivos intercalados puede ayudar a reducir las temperaturas del suelo y extender así el periodo de actividad de estos depredadores. Incrementar los residuos de vegetación o diseñar bordes de pastos alrededor de los campos de cultivo puede ser benéfico para los depredadores del suelo. De igual manera, algunos parasitoides requieren temperaturas moderadas y humedad relativa alta,

Tabla 2. Algunas acciones que pueden promover tanto un incremento sustancial de la población de enemigos naturales como una mayor efectividad.

Aumento de la diversidad de plantas en monocultivos anuales	Favorece la abundancia y efectividad de los enemigos naturales al estar mas disponibles presas alternativas, fuentes de néctar y microhábitats apropiados	Diversas asociaciones de cultivos, han mostrado niveles bajos de plagas y un incremento en la abundancia de artrópodos depredadores y parasíticos
Eliminación del uso de insecticidas químicos	Se puede restituir la diversidad biológica y conducir a un control biológico efectivo de plagas específicas.	En nogales de California el control de dos especies de escamas se logro por la introducción de los parasitoides de la familia Encyrtidae y la eliminación total del uso del DDT.
Evitar prácticas disturbantes como el control de malezas con herbicidas y el arado.	Algunas malezas, proveen de insectos huéspedes alternativos para los enemigos naturales; así como fuentes de polen y néctar para los adultos de estos insectos.	Ciertas malezas (principalmente Umbelliferae, Leguminosae y Compositae), juegan un importante rol ecológico al acoger a un complejo de artrópodos benéficos que ayudan en el control de plagas.
Proveer recursos suplementarios	Para incrementar la efectividad de la predación y parasitismo sobre plagas importantes	Como la construcción de nidos artificiales, para las avispas del genero Polistes que predan sobre larvas de lepidópteros en algodón y tabaco. La aspersión de alimentos suplementarios (mezclas de levadura, azúcar y agua) multiplico 6 veces la oviposición del crisópido Chrysoperla carnea e incremento la abundancia de Syrphidae, Coccinellidae y Malachidae. - Siembra de plantas productoras de néctar como Phacelia spp. Incremento el parasitismo y abundancia de Aphytis , Aphelinus y Trichogramma sp. en huertos frutales.
Tener poblaciones alternativas de presas fluctuantes a niveles subeconómicos	Para mejorar la supervivencia y reproducción de insectos benéficos	La abundancia relativa de áfidos en repollo, determino la efectividad de los depredadores de larvas de un lepidóptero. La introducción de poblaciones de huéspedes garantizo una gran efectividad en el control del lepidóptero Pieris y permitió a Trichogramma sp. y a Cotesia sp. incrementarse y mantenerse a un nivel efectivo.
Manipulación de la vegetación natural adyacente a los campos de cultivo	Promueve el control biológico y son áreas con recursos alimenticios como polen y néctar para los enemigos naturales o bien son sitios alternos de invernación de algunos enemigos naturales. La vegetación natural alrededor de los campos, han mostrado ser reservorios de enemigos naturales.	Diversos estudios han evidenciado el movimiento de enemigos naturales desde los márgenes hacia adentro de los cultivos, notándose una mayor control de la plaga en las plantas adyacentes a los márgenes de vegetación natural. El parasitismo de Tachinidae e Ichneumonidae sobre Plutella xylostella fue mayor en las hileras de repollo cercanas a márgenes con plantas en floración de umbelíferas.
Uso de cercos vivos	Promueve alimento alternativo	En California se ha observado que el parásito de huevos Anagrus , es efectivo en el control de la "chicharrita de la uva" Erythroneura elegantula en viñedos adyacentes a moras silvestres, ya que este alberga otra especie de "chicharrita" que no es considerada como plaga, pero que sus huevos sirven en el invierno como el único recurso alimenticio para el parásito Anagrus . También en California en el Valle de San Joaquín, el parasitismo del gusano de la alfalfa Colias eurytheme por Apanteles medicaginis fue mayor en donde había bordes de malezas en floración.

Tabla 3. Información clave necesaria para el diseño de un plan de manejo del hábitat.

<ol style="list-style-type: none"> 1. Ecología de la plaga y los insectos benéficos <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuáles son las plagas más importantes que requieren manejo? • ¿Cuáles son los depredadores y parasitoides más importantes de la plaga? • ¿Cuáles son los recursos alimenticios primarios, el hábitat y otros requerimientos específicos de las plagas y los enemigos naturales? ¿Desde dónde se inicia la infestación de la plaga, como la plaga es atraída al cultivo, y como se desarrolla en el cultivo? ¿de dónde vienen los enemigos naturales, como son atraídos al cultivo? ¿Cómo y cuándo se desarrollan en el cultivo? 2. Tiempo <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuándo aparecen por primera vez las poblaciones de la plaga y cuando estas poblaciones se convierten en económicamente dañinas? • ¿Cuándo están presentes los recursos (néctar, polen, huéspedes y presas alternativas) para los enemigos naturales? ¿Por cuánto tiempo están presentes los recursos? • ¿Qué plantas nativas anuales o perennes pueden proveer estas necesidades de hábitat?
--

por lo que muchos de ellos tienen que dejar los campos en las horas más calientes del día y buscar refugio en las áreas cercanas con sombra. Por ejemplo la actividad parasítica de la avispa que ataca el barrenador del maíz fue mayor en los campos rodeados por vegetación arbustiva que proveían sombra y reducían las temperaturas además de que contenían plantas en floración que proveían néctar y polen o sustancias azucaradas a las avispas.

Una vez se recoja toda la información necesaria, los agricultores pueden decidir como diseñar una estrategia de manejo del hábitat tomando en consideración los siguientes puntos:

1. Selección de las especies de plantas más apropiadas.
2. Arreglos espaciales y temporales de tales plantas, dentro y/o alrededor de los campos.
3. Escala espacial sobre la cual el mejoramiento del hábitat opera, cuales efectos se esperan a nivel de campo o a nivel del paisaje.
4. Los aspectos del comportamiento del depredador/parasitóide que están influenciados por la manipulación del hábitat.
5. Conflictos potenciales que pueden emerger cuando se adicionan nuevas plantas al agroecosistema (por ejemplo en California, plantas de *Rubus* alrededor de los viñedos incrementa el parasitismo del cicadélido de la uva pero puede también incrementar la abundancia de otro cicadélido (sharpshooter) que es el vector de Pierce's disease).
6. Desarrollar maneras mediante las cuales al adicionar plantas no causen problemas con otras prácticas agronómicas, y seleccionar plantas que preferiblemente tengan efectos múltiples tales como: mejorar la regulación de plagas pero al mismo tiempo mejoran la fertilidad del suelo, supriman malezas, etc.
7. Los agricultores deben considerar el costo de la preparación del suelo, la siembra y el mantenimiento (irrigación, deshierbe, etc.) para el establecimiento de una vegetación determinada. Idealmente la estrategia usada debería ser simple y barata para implementar así como también efectiva en el control

de las plagas. Los agricultores también deberían poder modificar el sistema de acuerdo a sus necesidades y los resultados observados.

Listado de prácticas que pueden incrementar la diversidad en las fincas:

- Incluir más especies de animales y cultivos
- Incorporar animales y mezclas de pastos
- Usar rotaciones con leguminosas
- Tratar de incorporar cultivos intercalados dentro de cultivos anuales
- Usar variedades que tengan resistencia horizontal (tolerancia media a un rango amplio de razas de un mismo patógeno)
- Usar cultivos de cobertura en huertos de frutales y viñedos
- Practicar agroforestería (combinar árboles, cultivos y animales en la misma área) mientras sea posible
- Dejar hileras de vegetación natural en los bordes de cultivo
- Plantar árboles y vegetación nativa como cortinas rompevientos
- Proveer corredores para incrementar circulación de enemigos naturales y vida silvestre
- Dejar áreas en la finca sin tocar como hábitat para incrementar la biodiversidad animal y vegetal

Conclusiones

Un manejo agroecológico del hábitat con la biodiversidad adecuada, conlleva al establecimiento de la infraestructura necesaria que provee los recursos (polen, néctar, presas alternativas, refugio, etc.) para una óptima diversidad y abundancia de enemigos naturales. Estos recursos deben integrarse al paisaje agrícola de una manera espacial y temporal que sea favorable para los enemigos naturales y por supuesto que sea fácil de implementar por los agricultores. El éxito depende de: a) la selección de las especies de plantas más apropiadas, b) la entomofauna asociada a la biodiversidad vegetal, c) la manera como los enemigos naturales respon-

den a la diversificación y d) la escala espacial a la cual operan los efectos reguladores de la manipulación del hábitat.

La experiencia práctica de miles de agricultores tradicionales en el mundo en desarrollo y de algunos agricultores orgánicos en países industrializados, demuestran que es posible estabilizar las comunidades de insectos en sistemas de cultivo diseñando arquitecturas vegetacionales que albergan poblaciones de enemigos naturales, o que tengan efectos deterrentes directos sobre plagas (Altieri 1991). Lo que hace difícil de masificar esta estrategia agroecológica, es que cada situación se debe analizar independientemente dado que en cada zona los complejos herbívoros-enemigos naturales varían de acuerdo a la vegetación presente dentro y fuera del cultivo, la entomofauna, la intensidad del manejo agrícola, etc. Sin embargo, lo que es universal es el principio de que la diversificación vegetal es clave para el control biológico eficiente. Las formas específicas de manejo y diseños de diversificación dependerán entonces de las condiciones socioeconómicas y biofísicas de cada región y su definición será el resultado de un proceso de investigación participativa.

Bibliografía

- Altieri MA, Whitcomb WH. 1979. The potential use of weeds in the manipulation of beneficial insects. *Hort-Science* 14: 12-18.
- Altieri MA, Letourneau DL. 1982. Vegetation management and biological control in agroecosystems. *Crop Protection* 1: 405-430.
- Altieri MA, Schmidt LL. 1986. The dynamics of colonizing arthropod communities at the interface of abandoned organic and commercial apple orchards and adjacent woodland habitats. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 16: 29-43.
- Altieri MA. 1991. How best can we use biodiversity in agroecosystems. *Outlook on Agriculture* 20: 15-23.
- Altieri MA. 1994. *Biodiversity and pest management in agroecosystems*. Haworth Press, New York.
- Altieri MA, Nicholls CI. 2004. *Biodiversity and pest management in agroecosystems*: Binghamton USA: Food Products Press.
- Andow DA. 1991. Vegetational diversity and arthropod population response. *Annual Review of Entomology* 36: 561-586.
- Barbosa P. 1998. *Conservation Biological Control*. Academic Press, New York.
- DeBach P. 1964. *Biological control of insect pests and weeds*. Chapman & Hall, London.
- 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: John Wiley, pp. 106-114.
- Flint ML, Roberts PA. 1988. Using crop diversity to manage pest problems: some California examples. *American Journal of Alternative Agriculture* 3: 164-167.
- Fry G. 1995. Landscape ecology of insect movement in arable ecosystems. In *Ecology and integrated farming systems* (Glen DM *et al.*, eds.). Bristol, UK: John Wiley & Sons.
- Huffaker CB, Messenger PS. 1976. *Theory and practice of biological control*. Acad. Press. New York.
- Kareiva P. 1986. Trivial movement and foraging by crop colonizers. In *Ecological Theory and Integrated Pest Management Practice* (Kogan M, ed.). New York: J. Wiley & Sons, pp. 59-82.
- 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.
- 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. Effects of a vegetational corridor on the abundance and dispersal of insect biodiversity within a northern Californian organic vineyard. *Landscape Ecology* 16: 133-146
- Pickett CH, Bugg R. 1998. *Enhancing Biological Control: habitat management to promote natural enemies of agricultural pests*. University of California Press. Berkeley.
- 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 PS, eds.). New York: Academic Press, pp. 233-253.
- Root RB. 1973. Organization of a plant-arthropod association in simple and diverse habitats: the fauna of collards (*Brassicae oleraceae*). *Ecological Monographs* 43: 95-124.
- Smith HA, McSorely R. 2000. Intercropping and pest management: a review of major concepts. *American Entomologist* 46: 154-161.
- 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, pp. 6-29.
- Thies C, Tschamtkke T. 1999. Landscape structure and biological control in agroecosystems. *Science* 285: 893-895.
- Van den Bosch R, Telford AD. 1964. Environmental modification and biological control. In *Biological Control of Insect Pests and Weeds* (DeBach P, ed.). London: Chapman & Hall, pp. 459-488.
- Vandermeer J. 1989. *The ecology of intercropping*. Cambridge Univ. Press. Cambridge, UK.
- Vandermeer J, Perfecto I. 1995. *Breakfast of biodiversity: the truth about rainforest destruction*. Food First Books, Oakland.
- Van Emden HF. 1965. The role of uncultivated land in the biology of crop pests and beneficial insects. *Scientific Horticulture* 17: 121-126.
- Wratten SD. 1988. The role of field margins as reservoirs of natural enemies. In *Environmental management in agriculture* (JR, ed.). London: Belhaven Press.