

# Capítulo 8

## BIODIVERSIDAD Y MANEJO DE PLAGAS EN AGROECOSISTEMAS

### INTRODUCCIÓN

Los científicos de todo el mundo están empezando a reconocer el papel y la importancia de la biodiversidad en el funcionamiento de los sistemas agrícolas. Las investigaciones sugieren que, considerando que en ecosistemas naturales la regulación interna de su funcionamiento es substancialmente un producto de la biodiversidad a través de flujos de energía y nutrientes y de sinergias biológicas, esta forma de control se pierde progresivamente con la intensificación agrícola y la simplificación, de manera que para funcionar los monocultivos deben ser subvencionados con insumos químicos. La preparación de la cama de semillas y la siembra mecanizada reemplazan a los métodos naturales de dispersión de semillas; los plaguicidas químicos reemplazan los controles naturales de las poblaciones de insectos y patógenos; y la manipulación genética reemplaza los procesos naturales de evolución y selección de plantas. Igualmente se altera la descomposición, ya que las plantas se cosechan y la fertilidad del suelo se mantiene, no a través del reciclaje de nutrientes mediado biológicamente sino con fertilizantes.

Una de las razones más importantes para mantener o incrementar la biodiversidad natural es el hecho de que ésta proporciona una gran variedad de servicios ecológicos (Altieri, 1991). En ecosistemas naturales, la cubierta vegetativa de un bosque o pradera previene la erosión del suelo, regula el ciclo del agua controlando inundaciones, reforzando la infiltración y reduciendo el escurrimiento del agua. En sistemas agrícolas, la biodiversidad cumple funciones que van más allá de la producción de alimentos, fibra, combustible e ingresos. Algunas de éstas incluyen el reciclaje de nutrientes, el control del microclima local, la regulación de procesos hidrológicos locales, la regulación de la abun-

dancia de organismos indeseables, y la detoxificación de residuos químicos nocivos. Estos procesos de renovación y servicios del ecosistema son principalmente biológicos; por consiguiente su persistencia depende del mantenimiento de la diversidad biológica. Cuando estos servicios naturales se pierden por la simplificación biológica, los costos económicos y medioambientales pueden ser significativos. En la agricultura, los costos económicos incluyen asignar costosos insumos externos a los cultivos, ya que los agroecosistemas que han sido privados de sus componentes funcionales básicos no tienen la capacidad para proporcionar la fertilidad propia del suelo y de regular las plagas. A menudo esos costos involucran una reducción en la calidad de los alimentos y de la vida rural en general, debido a una disminución en la calidad del suelo, el agua y los nutrientes cuando se ha producido contaminación por plaguicidas y/o nitratos (Altieri, 1995).

En ninguna otra parte son más evidentes las consecuencias de la reducción de la biodiversidad que en el manejo de plagas agrícolas. La inestabilidad de los agroecosistemas se pone de manifiesto a través del empeoramiento de los problemas de insectos plaga, ligados a la expansión de monocultivos a expensas de la vegetación natural, disminuyendo la diversidad del hábitat local (Altieri y Letourneau, 1982; Flint y Roberts, 1988). Las comunidades de plantas que se modifican para satisfacer las necesidades especiales de los humanos, quedan inevitablemente sujetas a daños por plagas y generalmente, mientras más intensamente se modifican tales comunidades más abundante y serio es el problema de plagas. En la literatura agrícola, están bien documentados los efectos de la reducción de la diversidad de plantas en las erupciones de plagas de herbívoros y patógenos (Andow, 1991; Altieri, 1994). Tales reducciones drásticas en la biodiversidad de plantas y los efectos epidémicos resultantes pueden afectar adversamente la función del ecosistema con consecuencias graves sobre la productividad y sustentabilidad agrícola.

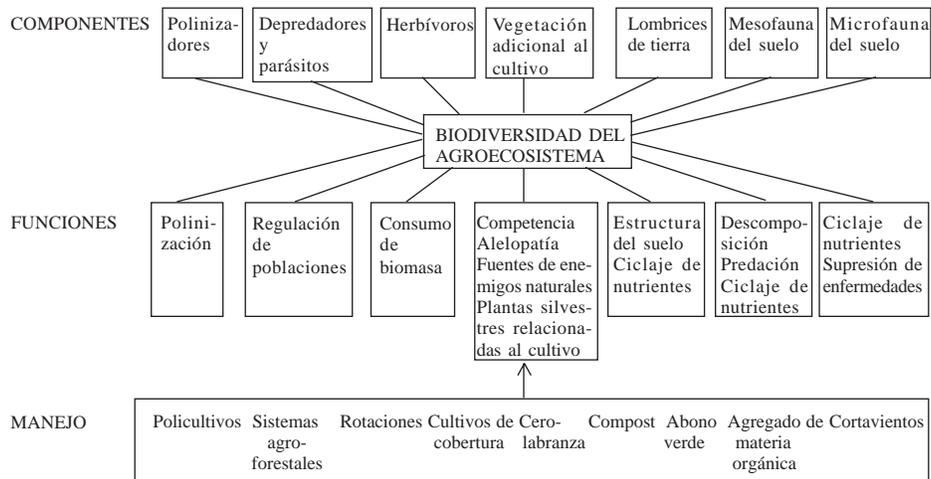
En agroecosistemas modernos, la evidencia experimental sugiere que la biodiversidad puede usarse para el manejo óptimo de plagas (Altieri y Letourneau, 1994; Andow, 1991). Varios estudios han demostrado que es posible estabilizar las comunidades de insectos en agroecosistemas, diseñando arquitecturas vegetacionales que sostienen poblaciones de enemigos naturales o que tienen un efecto disuasivo directo sobre los herbívoros (Perrin, 1980; Risch *et al.*, 1983). Este capítulo analiza las varias opciones de diseños del agroecosistema, que basados en la teoría agroecológica actual, conllevan el uso óptimo de la biodiversidad funcional para el control biológico de plagas en campos de cultivo.

LA NATURALEZA Y FUNCIÓN DE LA BIODIVERSIDAD

La biodiversidad se refiere a todas las especies de plantas, animales y microorganismos que existen e interactúan recíprocamente dentro de un ecosistema. En todos los agroecosistemas, los polinizadores, los enemigos naturales, las lombrices de tierra y los microorganismos del suelo, son componentes claves de la biodiversidad y juegan papeles ecológicos importantes, al mediar procesos como introgresión genética, control natural, ciclaje de nutrientes, descomposición, etc. (Figura 1). El tipo y la abundancia de biodiversidad se definirá de acuerdo con el agroecosistema, según su edad, diversidad, estructura y manejo. En general, el nivel de biodiversidad de insectos en los agroecosistemas (Southwood y Way, 1970) depende de cuatro características principales :

1. La diversidad de vegetación dentro y alrededor del agroecosistema.
2. La durabilidad del cultivo dentro del agroecosistema.
3. La intensidad del manejo.
4. El aislamiento del agroecosistema de la vegetación natural.

En general, un agroecosistema que es más diverso, más permanente, y que



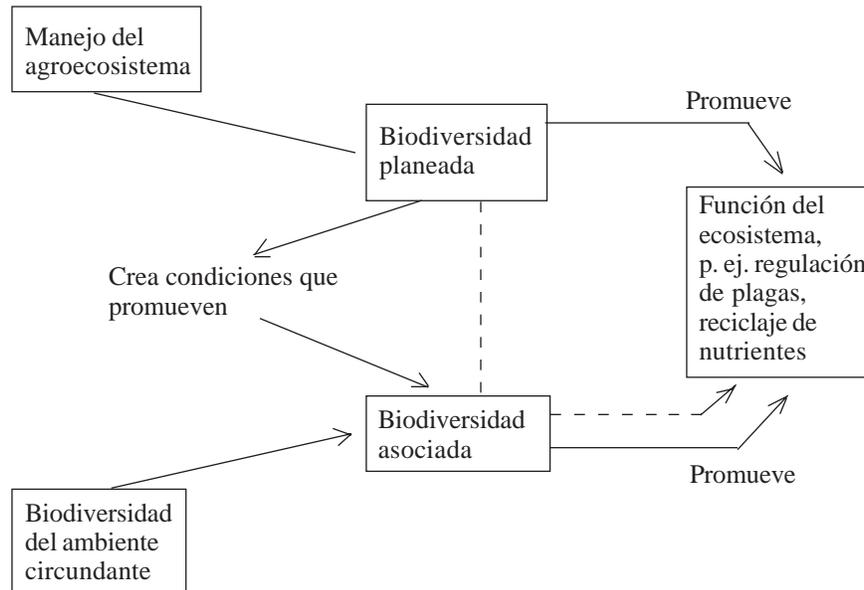
**Figura 1.** Componentes, funciones y estrategias de mejoramiento de la biodiversidad en agroecosistemas (según Altieri, 1991).

### *Biodiversidad y manejo de plagas*

se maneja con pocos insumos (ej. sistemas tradicionales de policultivos y agrosilvopastoriles) tiene la ventaja de poseer procesos ecológicos asociados a la amplia biodiversidad del sistema. Esto no sucede en sistemas simplificados de alto insumo (monocultivos modernos).

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. Este desafío solamente se podrá enfrentar analizando las relaciones entre la diversificación de la vegetación y la dinámica poblacional de herbívoros y sus enemigos naturales asociados a la luz de la entomofauna presente en agroecosistemas particulares.

De acuerdo a Vandermeer y Perfecto (1995) se pueden reconocer dos tipos de componentes de la biodiversidad. El primer componente, biodiversidad planificada, es la biodiversidad asociada con los cultivos y animales incluidos en el agroecosistema por el agricultor, la cual variará de acuerdo al manejo y los arreglos de cultivos. El segundo componente, la biodiversidad asociada, incluye la flora y fauna del 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 **Figura 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 y Perfecto, 1995).



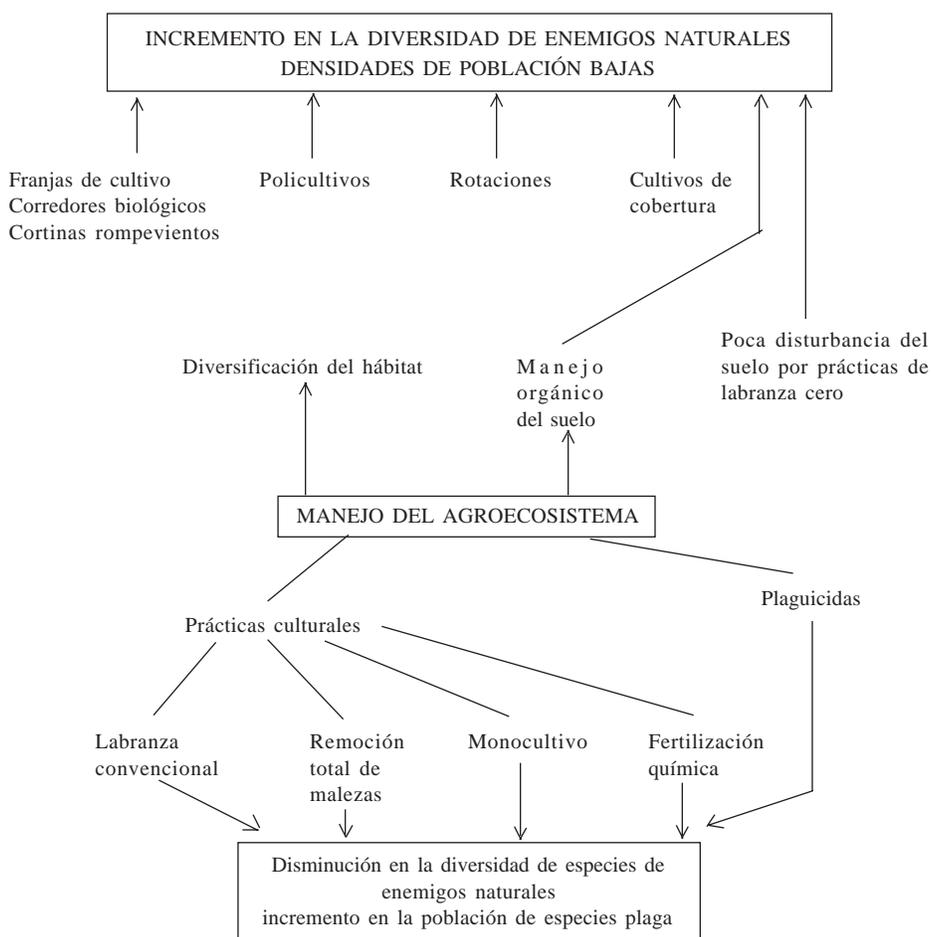
**Figura 2.** La relación entre los varios tipos de biodiversidad y el funcionamiento de agroecosistemas.

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 de determinar cuáles son las mejores prácticas de manejo para incrementar la biodiversidad deseada. Como se observa en la **Figura 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 sustentabilidad del agroecosistema al proveer servicios ecológicos como el control biológico, el reciclaje de nutrientes, la conservación de suelo y agua, etc.

#### PATRONES DE BIODIVERSIDAD DE INSECTOS EN AGROECOSISTEMAS

La diversidad de artrópodos ha sido correlacionada con la diversidad vege-

*Biodiversidad y manejo de plagas*



**Figura 3.** Efectos del manejo del agroecosistema y prácticas culturales asociadas con diversidad de enemigos naturales y abundancia de insectos plaga

tal en agroecosistemas. En general, una mayor diversidad de plantas conllevan a una mayor diversidad de herbívoros, y esto a su vez determina una mayor diversidad de depredadores y parásitos. Una biodiversidad total mayor puede entonces asegurar la optimización de los procesos y el funcionamiento de los agroecosistemas (Altieri 1984),

Se ofrecen varias hipótesis (Altieri y Letourneau, 1982) para apoyar la idea

de que los sistemas diversificados estimulan una mayor biodiversidad de artrópodos:

1. *La hipótesis de la heterogeneidad de hábitat.* Los sistemas de cultivos complejos albergan más especies que los hábitat agrícolas simplificados. Los sistemas con asociaciones heterogéneas de plantas poseen más biomasa, recursos alimenticios y persistencia temporal; por lo tanto poseen más especies de insectos asociadas que los sistemas de monocultivo. Aparentemente, la diversidad de especies y la diversidad estructural de plantas son importantes para determinar la diversidad de insectos.
2. *Hipótesis de la depredación.* La abundancia incrementada de depredadores y parasitoides en asociaciones diversas de plantas reduce la densidad de presas/hospederos (Root, 1973), por lo que la competencia entre herbívoros se reduce, lo que a su vez permite la adición de nuevas especies de herbívoros que soportan a más especies de enemigos naturales.
3. *Hipótesis de la productividad.* En general los policultivos son más productivos que los monocultivos (Francis, 1986 y Vandermeer, 1989). Esta productividad incrementada resulta en una mayor biodiversidad de insectos, dada la abundancia de recursos alimenticios.
4. *Hipótesis de la estabilidad.* Esta hipótesis asume que la productividad en policultivos es más estable y predecible que en monocultivos. Esta mayor productividad, aunada a la heterogeneidad de agroecosistemas complejos, permite a los insectos dividir el ambiente temporal y espacialmente, de modo que coexisten más especies de insectos.

Se necesita investigar más para poder clarificar si la diversidad de insectos es paralela a la diversidad de plantas y la productividad de agroecosistemas complejos, o si solamente refleja la heterogeneidad espacial que nace de mezclar plantas de diferentes estructuras.

Existen varios factores ambientales que influyen en 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 interespecífica y presencia de otros organismos (hipreparásitos, depredadores, humanos). 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 y Telford, 1964).

### *Biodiversidad y manejo de plagas*

A pesar de que los enemigos naturales varían ampliamente en su respuesta a la distribución, densidad y dispersión de cultivos, la evidencia señala que los 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 (p. ej. asociaciones y rotaciones de cultivos, diversidad de malezas, diversidad genética, etc.). Basándose en la información disponible, la biodiversidad de enemigos naturales y su efectividad se puede incrementar en los agroecosistemas de las siguientes maneras (Rabb y otros 1976, Altieri y Whitcomb, 1979):

- a) mediante introducciones múltiples de enemigos naturales a través de enfoques aumentativos de control biológico;
- b) reduciendo la mortalidad de los enemigos naturales al eliminar plaguicidas;
- c) proporcionando recursos alimenticios como polen, néctar, presas/hospederos;
- d) incrementando la diversidad vegetal dentro y alrededor del cultivo;
- e) manipulando los atributos arquitectónicos, genéticos y químicos de las plantas;
- f) usando semio-químicos (químicos del comportamiento tales como kairomonas) que estimulan la capacidad de búsqueda y la retención en el campo de los enemigos naturales.

### BIODIVERSIDAD VEGETAL Y ESTABILIDAD DE POBLACIONES DE INSECTOS EN AGROECOSISTEMAS

Desde 1970 la literatura provee cientos de ejemplos de experimentos donde se documenta que la diversificación de cultivos conlleva a la reducción de poblaciones de herbívoros plaga (Andow 1991, Altieri, 1994). La mayoría de los experimentos donde se mezcla el cultivo principal con otras plantas no hospederas, poseen menores poblaciones de herbívoros especializados que los monocultivos (Root, 1973, Cormartie, 1981, Risch y otros, 1983). En monocultivos los herbívoros exhiben una mayor colonización, mayor reproducción, mayor tiempo de permanencia en el cultivo, menor interrupción en encontrar el cultivo y menor mortalidad debida a enemigos naturales.

Hay varios factores que 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 las zanahorias (Altieri, 1994).

También hay cultivos que dentro de una combinación pueden actuar como cultivo trampa. Franjas de alfalfa en algodón atraen al chinche *Lygus*; aunque hay una pérdida de alfalfa, esto representa menor costo que lo que costaría el control de *Lygus* en algodón si no hubiera alfalfa. Igualmente, cultivos de repollo y brocoli sufren menos daño por áfidos y crisomélidos cuando se intercalan con crucíferas silvestres que actúan como atrayentes de estas plagas.

Hay dos hipótesis que explican la menor abundancia de herbívoros en policultivos: la de la concentración de recursos y la de los enemigos naturales. Ambas sugieren mecanismos claves de regulación en policultivos (Root, 1973). Las 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. 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 hospedadas, prevención de inmigración u otros factores (Andow, 1991).

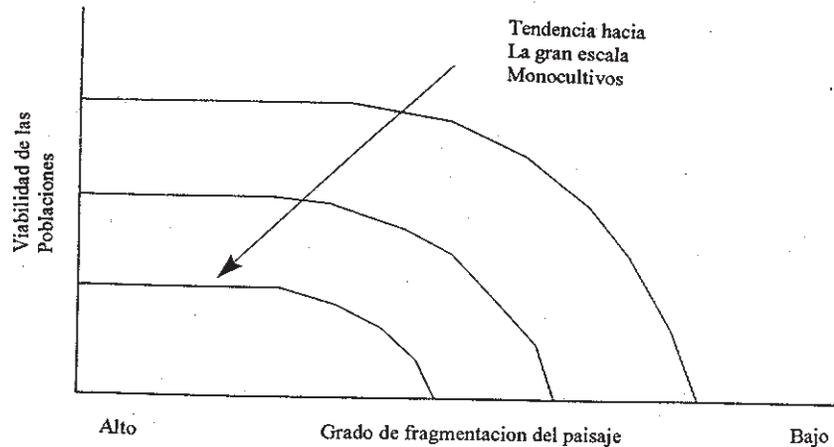
Un experimento reciente, bien replicado donde se controló la diversidad vegetal en sistemas de praderas, se encontró que la productividad del ecosistema aumentó y que los nutrientes se utilizaron eficientemente debido a un menor lavado de éstos, en la medida en que se incrementaba el número de especies de plantas en la pradera (Tilman y otros, 1996). Este mismo patrón se presenta en agroecosistemas donde la regulación de insectos plaga se acrecienta con el aumento de especies de plantas. La evidencia demuestra que en la medida que se incrementa la diversidad vegetal, la reducción de plagas alcanza un nivel óptimo resultando en rendimientos más estables. Aparentemente, mientras más diverso es el agroecosistema y mientras menos alterada haya sido la diversidad,

los nexos tróficos aumentan y se desarrollan promoviendo la estabilidad de las poblaciones de insectos. 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 y 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. Por lo tanto, se trata de una diversidad selectiva y no de una colección de especies al azar, lo que resulta clave para alcanzar la regulación biótica (Dempster y Coaker, 1974).

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 pueden identificar bien las situaciones ecológicas o los rasgos en el sistema de vida, que hacen a ciertas plagas más o menos sensitivas (ej. el movimiento de la plaga es afectada por el patrón de cultivo) 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 parásitos, y porque en general se usan prácticas que afectan negativamente al control biológico. Los policultivos sin embargo poseen condiciones intrínsecas (diversidad de alimentos y refugios y generalmente no son asperjados con plaguicidas) que favorecen a los enemigos naturales y se les manipula menos. 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). Así, 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 descendiendo a tasas alarmantes. El impacto hipotético de la fragmentación del paisaje sobre la sobrevivencia de enemigos naturales se delinea en la **Figura 4**. Las implicaciones de la pérdida de hábitat para el control biológico de plagas pueden ser serias dada la evidencia que demuestra un incremento de plagas en los paisajes agrícolas homogéneos (Altieri y Letourneau, 1982).



**Figura 4.** Efectos de la fragmentación del paisaje en la viabilidad de las poblaciones de enemigos naturales en los agroecosistemas al variar los diferentes niveles de artificialización de los sistemas agrícolas

Datos recientes demuestran que hay incremento de enemigos naturales y control biológico más efectivo en áreas donde permanece la vegetación natural en los bordes de los campos (Altieri, 1994). Estos hábitat son importantes como sitios de refugio y proveen recursos alimenticios para enemigos naturales en épocas de escasez de plagas en el campo (Landis, 1994).

Las cortinas de rompeviento, bordes, linderos y otras estructuras del paisaje han recibido mucha atención en Europa en relación a sus efectos sobre la distribución y abundancia de artrópodos en campos adyacentes (Fry, 1995). Hay una amplia aceptación sobre la importancia de la vegetación en las márgenes, como reservorios de enemigos naturales de plagas (van Emden, 1965). Muchos estudios han demostrado movimientos de artrópodos benéficos desde los márgenes al campo, y se ha observado un mayor control biológico en las hileras de cultivos cerca de las márgenes que en el centro de los campos (Altieri, 1994).

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 y Whitcomb, 1979). Un ejemplo clásico es el de la avispa parasitoide de huevos *Anagrus epos*, cuya eficacia en regular las poblaciones del cicadelido de la vid, *Erythroneura elegantula*, se

incrementa de manera importante en viñedos rodeados por mora silvestre (*Rubus* sp.). Esta planta alberga poblaciones de un cicadélido alternativo (*Dikrella cruentata*), que en el invierno se reproduce en sus hojas (Doutt y Nakata, 1973). Estudios recientes muestran que los huertos de ciruelo adyacentes a viñedos proveen de refugio invernal a *Anagrus* y por lo tanto, estos viñedos cercanos se benefician por el parasitismo temprano que ejerce la avispa que encuentra alimento y refugio en los ciruelos circundantes.

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 mayor colonización que los huertos asperjados con insecticidas (Altieri y Schmidt, 1986). Varias especies de depredadores y parásitos colectados en los márgenes del bosque fueron capturados en la interface huerto-bosque y más tarde colectados 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 “bancos” de coleópteros, franjas en floración 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 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 afectarían la distribución y abundancia de una comunidad compleja de insectos plaga y enemigos naturales asociados.

Determinar que la dispersión de insectos funciona como respuesta a la diversidad vegetal a nivel de paisaje y si acaso las franjas o bordes de vegetación sirven como corredores para el movimiento de enemigos naturales en

campos adyacentes, tendrá implicancias mayores en el diseño de estrategias MIP (Manejo Integrado de Plagas) a nivel de paisaje. Se espera que estos corredores puedan servir como canales para la dispersión de depredadores y parásitos 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 propagulos 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 (**Figura 5**). Lo más importante es que el diseño de corredores puede ser una estrategia importante para la re-introducción de biodiversidad en monocultivos de gran escala, facilitando así la reestructuración de agroecosistemas para su conversión a un manejo agroecológico.

## CONCLUSIONES

Los sistemas de cultivos diversificados, tales como los basados en policultivos y en la agroforestería –por ejemplo, los huertos frutales con cultivos de cobertura–, han sido el blanco de mucha investigación. Este interés se basa en la nueva y emergente evidencia de que estos sistemas son más sustentables y más conservadores de recursos (Vandermeer, 1995). Estos atributos están conectados a los altos niveles de biodiversidad funcional asociada a agroecosistemas complejos. De hecho, la mayor parte de la información científica, que documenta la regulación de plagas en sistemas diversificados, sugiere que esto sucede dada la gran variedad y abundancia de depredadores y parasitoides en estos sistemas (Altieri, 1994). Se han sugerido varias hipótesis donde se postulan los mecanismos que explican la relación entre un mayor número de especies de plantas y la estabilización de agroecosistemas, incluyendo la regulación de plagas (Tilman et al, 1996). Sin embargo, un aspecto claro es que la composición de especies es más importante que el número de especies «*per se*». 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

### *Biodiversidad y manejo de plagas*

biológico de plagas y conservación de suelo y agua. La explotación de estas sinergias en situaciones reales requieren 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 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 a las comunidades de insectos en sistemas de cultivo, diseñando arquitecturas vegetacionales que alberguen poblaciones de enemigos naturales, o que tengan efectos disuasivos directos sobre las 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 de manejo y diseños de diversificación dependerán de las condiciones socioeconómicas y biofísicas de cada región.