

El Rol Ecológico de la Biodiversidad en Agroecosistemas

Miguel A. Altieri
UC Berkeley – CLADES

Tomado de: *AGROECOLOGIA Y DESARROLLO*
Revista de CLADES
Numero Especial 4 Diciembre 1992
<http://www.clades.org/r4-1.htm>

La agricultura implica la simplificación de la biodiversidad y alcanza una forma extrema en los monocultivos. El resultado final es una producción artificial que requiere de una constante intervención humana. En la mayoría de los casos, esta intervención ocurre en la forma de insumos de agroquímicos, los cuales, además de aumentar los rendimientos, resultan en una cantidad de costos ambientales y sociales indeseables (Altieri, 1987).



Con el progreso de la modernización agrícola, los principios agroecológicos son continuamente desestimados. Como consecuencia, los agroecosistemas modernos son inestables y sus quiebres se manifiestan como rebotes recurrentes de plagas en muchos sistemas de cultivo y también en forma de salinización, erosión del suelo, contaminación de aguas, etc. El empeoramiento de la mayoría de los problemas de plagas ha sido relacionado experimentalmente con la expansión de los monocultivos a expensas de la diversidad vegetal, la cual a menudo provee servicios ecológicos claves para asegurar la protección de los cultivos (Altieri y Letourneau, 1982).

Aunque este artículo enfoca principalmente aspectos entomológicos, analiza también las bases ecológicas para la mantención de la biodiversidad en la agricultura, además del rol que ella puede jugar en el restablecimiento del balance ecológico de los agroecosistemas, de manera de alcanzar una producción sustentable. La biodiversidad promueve una variedad de procesos de renovación y servicios ecológicos en los agroecosistemas; cuando éstos se pierden, los costos pueden ser significativos (Altieri, 1991).

Este artículo se centra principalmente en explicar las vías en que la biodiversidad pueden contribuir al diseño de agroecosistemas estables en lo que respecta a plagas. Para ello, estudia los efectos de la manipulación de policultivos, cultivos con cubiertas, manejo de malezas y bordes de vegetación de los campos de cultivos. Se presta especial atención al entendimiento de los efectos de estos sistemas vegetales diversificados sobre la densidad de las poblaciones de plagas y a los mecanismos envueltos en la reducción de plagas en policultivos. Esto es fundamental si se pretende utilizar el manejo de la vegetación como una táctica efectiva de manejo integrado de plagas en agricultura sustentable.

Mientras las poblaciones de insectos en los agroecosistemas pueden ser estabilizadas al construir arquitecturas vegetales que sustenten enemigos naturales y/o indirectamente inhiban el ataque de las plagas, este artículo enfatiza el hecho que cada situación debe ser evaluada separadamente, y que estrategias de manejo de largo plazo de la vegetación deben ser desarrolladas considerando también los factores socio-económicos y culturales. De este modo, las mezclas de cultivos pueden servir para suplir las necesidades y preferencias de los agricultores locales y, al mismo tiempo, aumentar la calidad del medio ambiente.

Importancia de la biodiversidad en la agricultura

Biodiversidad se refiere a todas las especies de plantas, animales y microorganismos existentes que interactúan dentro de un ecosistema. Las amenazas globales a la biodiversidad no deberían ser ajenas a los estudiosos de la agricultura, ya que ésta, que cubre cerca del 25-30% de los suelos del mundo, es tal vez una de las principales actividades que afecta a la biodiversidad.

Un efecto resulta del hecho que la agricultura implica la simplificación de la estructura del medioambiente de vastas áreas reemplazando la diversidad natural con un pequeño número de plantas cultivadas y animales domésticos. Es un hecho que los paisajes agrícolas mundiales están cultivados con sólo unas 12 especies de cultivos de grano, 23 especies de cultivos hortícolas y cerca de 35 especies de árboles productores de frutas y nueces (Fowler y Mooney, 1990). Esto es, no más de 70 especies vegetales distribuidas sobre aproximadamente 1,440 millones de hectárea de tierra cultivada actualmente en el mundo. Esto es un agudo contraste con la diversidad de especies vegetales encontrada en una hectárea de un bosque tropical lluvioso, el cual contiene típicamente sobre 100 especies de árboles.

El proceso de simplificación de la biodiversidad alcanza una forma extrema en los monocultivos agrícolas. Es un hecho que la agricultura moderna es impresionantemente dependiente de un puñado de variedades de sus cultivos principales. Por ejemplo, en los EE.UU., el 60 a 70% de la superficie destinada a frijol es cultivada con 2-3 variedades; el 72% de la superficie con papas lo es con cuatro variedades y el 53% del área con algodón utiliza tres variedades de este cultivo. Los investigadores han advertido repetidamente sobre la extrema vulnerabilidad asociada con esta uniformidad genética (Fowler y Mooney, 1990).

El resultado neto de la simplificación de la biodiversidad para propósitos agrícolas es un ecosistema artificial que requiere de intervención humana constante. La preparación comercial de la cama de semillas y siembra mecanizada reemplaza a métodos naturales de dispersión de semillas; los pesticidas químicos reemplazan al control natural de poblaciones de malezas, insectos y agentes patógenos; y la manipulación genética reemplaza a los procesos naturales de evolución y selección de las plantas. Aún la descomposición es alterada por la cosecha; la fertilidad del suelo es mantenida, no a través del reciclaje de nutrientes, sino con fertilizantes.

Otra forma en que la agricultura afecta a la biodiversidad es a través de factores externos asociados con el uso intensivo de agroquímicos y tecnologías mecanizadas para aumentar la

producción de los cultivos. En los EE.UU., cerca de 17,8 millones de toneladas de fertilizantes son utilizados en sistemas de producción de granos, y cerca de 270 millones de kilos de pesticidas son aplicados anualmente sobre tierras agrícolas. Aunque estos insumos han impulsado los rendimientos de los cultivos, sus efectos ambientales no deseados están minando la sustentabilidad de la agricultura. Se estima que los costos ambientales y sociales asociados con el uso de pesticidas en los EE.UU alcanzan unos US\$850 millones anuales. Cerca del 27% de la tierra irrigada en los EE.UU. es dañada por la salinización causada por el riego excesivo e inadecuado; debido a la falta de rotaciones e insuficiente cubierta vegetal, los niveles de erosión del suelo promedian 185 t/ha/año en las tierras agrícolas de los EE.UU, muy por sobre los niveles aceptados (Altieri, 1987).

Las consecuencias de la reducción de la biodiversidad son particularmente evidentes en el campo del manejo de plagas agrícolas. La inestabilidad de los agroecosistemas se manifiesta a través del empeoramiento de la mayoría de los problemas de plagas y está ligada con la expansión de monocultivos a expensas de la vegetación natural, decreciendo con ello la biodiversidad del hábitat local (Altieri y Letourneau, 1982; Flint y Roberts, 1988). Las comunidades de plantas que son modificadas para satisfacer las necesidades particulares de los seres humanos se hacen vulnerables a daños intensos de plagas y generalmente, mientras más modificadas son dichas comunidades, más abundantes y serias resultan sus plagas. Las características de autoregulación inherentes en las comunidades naturales se pierden cuando la gente modifica dichas comunidades mediante la destrucción del frágil equilibrio de sus interacciones. Este quiebre puede ser reparado mediante el restablecimiento de los elementos homeostáticos de la comunidad a través de la adición o promoción de la biodiversidad (Altieri, 1991).

Una de las razones más importantes para mantener la biodiversidad natural es que ésta provee la base genética de todas las plantas agrícolas y los animales. La totalidad de nuestros cultivos domésticos se deriva de especies silvestres que han sido modificadas a través de la domesticación, mejoramiento selectivo e hibridación. La mayor parte de los centros mundiales de biodiversidad contienen poblaciones de variedades madre variables y adaptables, además de parientes silvestres y malezas relacionadas con plantas cultivadas. Muchos sistemas agrícolas manejados en forma tradicional en el Tercer Mundo constituyen repositorios *in situ* de diversidad vegetal nativa (Altieri y Hecth, 1991). Hoy día existe una gran preocupación por la erosión genética en áreas donde los pequeños agricultores son empujados por la modernización agrícola a adoptar variedades a expensas de las tradicionales.

Además de producir valiosas plantas y animales, la biodiversidad presta muchos servicios ecológicos. En ecosistemas naturales, la cubierta vegetal de un bosque o pradera previene la erosión del suelo, repone su contenido de agua y controla el anegamiento al aumentar la infiltración y reducir el escurrimiento superficial. En sistemas agrícolas, la biodiversidad presta servicios al ecosistema más allá de la producción de alimentos, fibra, combustible e ingresos. Algunos ejemplos incluyen el reciclaje de nutrientes, el control del microclima local, la regulación de procesos hidrológicos y de la abundancia de organismos indeseables, la detoxificación de compuestos químicos nocivos, etc. Estos procesos de renovación y servicios al ecosistema son en su mayor parte biológicos, por lo que su persistencia depende de la mantención de la diversidad biológica. Cuando estos servicios naturales son

perdidos debido a la simplificación biológica, los costos económicos y ambientales pueden ser muy significativos. Económicamente, los costos en agricultura incluyen la necesidad de suplir a los cultivos con insumos externos, debido a que los agroecosistemas, cuando son privados de los componentes básicos de regulación funcional no poseen la capacidad de sostener su propia fertilidad del suelo y de regular sus plagas. Cuando ocurren contaminaciones con pesticidas y/o nitratos, los costos envuelven a menudo una reducción de la calidad de vida, debido a la degradación del suelo y de la calidad de agua y de los alimentos.



Figura 1. Componentes, funciones y métodos de manipulación de la biodiversidad en agroecosistemas

La biodiversidad en los agroecosistemas puede ser tan variada como los diversos cultivos, malezas, artrópodos o microorganismos envueltos, de acuerdo a localidades geográficas, climáticas, edáficas, humanas y a factores socio-económicos (Figura 1). Las interacciones complementarias entre los diversos componentes bióticos pueden también ser de naturaleza múltiple. Algunas de estas interacciones pueden ser utilizadas para inducir efectos positivos y directos en el control biológico de plagas específicas de cultivos, en la regeneración y/o aumento de la fertilidad del suelo y su conservación. La explotación de estas interacciones o sinergismos en situaciones reales, involucra el diseño y manejo del agroecosistema y requiere del entendimiento de las numerosas relaciones entre suelos, microorganismos, plantas, insectos herbívoros y enemigos naturales.

En agroecosistemas modernos, la evidencia experimental sugiere que la biodiversidad puede ser utilizada para mejorar el manejo de plagas (Andow, 1991). Algunos estudios han demostrado que es posible estabilizar las poblaciones de insectos en los agroecosistemas mediante el diseño y la construcción de arquitecturas vegetales que mantengan poblaciones de enemigos naturales o que posean efectos disuasivos directos sobre los herbívoros plaga.

En países en desarrollo, la biodiversidad puede ser utilizada para ayudar a la gran masa de campesinos pobres en recursos, la mayoría confinados a suelos marginales, áreas de laderas y de secano, a alcanzar la autosuficiencia alimentaria durante todo el año, reducir su dependencia de insumos agroquímicos caros y escasos, además de desarrollar sistemas de producción que reconstruyan la capacidad productiva de sus pequeñas parcelas (Altieri, 1987). El objetivo es asistir a los agricultores a desarrollar sistemas agrícolas sustentables

que satisfagan la autosuficiencia alimentaria, tanto como establezcan la producción al evitar la erosión del suelo (Beets, 1990). Técnicamente, la aproximación al problema consiste en idear sistemas agrícolas de uso múltiple, enfatizando la protección del suelo y de los cultivos, asegurando el mejoramiento de la fertilidad del suelo cultivado y la protección del cultivo mediante la integración de árboles, animales y cultivos (Figura 2).

Muchos programas de desarrollo rural "desde abajo" sugieren que la mantención y/o desarrollo de la biodiversidad en los agroecosistemas tradicionales representa una estrategia que asegura dietas diversificadas y fuentes de ingreso, riesgo mínimo, producción estable e intensiva con recursos limitados y retornos máximos bajo niveles reducidos de tecnología. En estos sistemas, la complementariedad de los rubros agrícolas reduce la necesidad de insumos externos. El correcto ensamblado espacio-temporal de cultivos, animales, suelo y otros factores aumenta los sinergismos que promueven rendimientos dependientes de fuentes internas y el reciclaje de nutrientes y materia orgánica, y las relaciones tróficas entre plantas, insectos o agentes patógenos que estimulan el control biológico de plagas.

Debido a que los agricultores tradicionales tienen generalmente un conocimiento profundo de la biodiversidad, su conocimiento y las percepciones del medio ambiente deberían ser integrados en esquemas agrícolas innovadores que intenten combinar la conservación de recursos con el desarrollo rural (Altieri y Hecht, 1991). Para operacionalizar entre pequeños agricultores una estrategia de conservación de recursos que sea compatible con una estrategia de producción diversificada, el proceso debe estar ligado a esfuerzos de desarrollo rural, que den igual importancia a la conservación de recursos locales y a la autosuficiencia alimentaria y/o a la participación en los mercados locales. Cualquier intento de conservación del suelo, de los bosques, o del material genético de los cultivos debe luchar por preservar la diversidad de los agroecosistemas en los que estos recursos ocurren. La diversidad cultural es tan crucial como la diversidad biológica.

En esencia el comportamiento óptimo de los sistemas de producción agrícola depende del nivel de interacciones entre sus varios componentes. Las interacciones potenciadoras de sistemas son aquellas en las cuales los productos de un componente son utilizados en la producción de otro componente (e.g. malezas utilizadas como forraje, estiércol utilizado como fertilizante, o rastrojos con malezas dejadas para pastoreo animal). Pero la biodiversidad puede también subsidiar el funcionamiento del agroecosistema al proveer servicios ecológicos tales como el reciclaje de nutrientes, el control biológico de plagas y la conservación del agua y del suelo.



Biodiversidad en agroecosistemas

A través del mundo, los agroecosistemas difieren en edad, diversidad, estructura y manejo. De hecho, existen una gran variabilidad en los modelos ecológicos y agronómicos básicos que caracterizan los varios agroecosistemas dominantes. En general, el grado de biodiversidad en los agroecosistemas depende de cuatro características principales del agroecosistema:

1. la diversidad de la vegetación dentro y alrededor del agroecosistema,
1. la permanencia de los varios cultivos dentro del agroecosistema,
2. la intensidad del manejo,
3. el grado de aislamiento del agroecosistema de la vegetación natural.

En general, los agroecosistemas más diversos, más permanentes, aislados y manejados con tecnología de bajo insumo (i.e. sistemas agroforestales; policultivos tradicionales) toman una completa ventaja del trabajo efectuado generalmente por procesos ecológicos asociados con una mayor biodiversidad, que aquellos altamente simplificados, de alto insumo y alterados (i.e. monocultivos modernos de hortalizas y frutales).

Todos los agroecosistemas son dinámicos y están sujetos a niveles diferentes de manejo, de manera que las secuencias de cultivos en el tiempo y el espacio están cambiando continuamente, a la faz de factores biológicos, naturales, socioeconómicos, y ambientales. Tales variaciones del paisaje determinan el grado de heterogeneidad espacial y temporal característicos de regiones agrícolas, el que por su parte puede o no beneficiar a la protección contra las plagas de agroecosistemas particulares. Así, uno de los principales desafíos de los agroecólogos hoy día es identificar los tipos de heterogeneidad (ya sea a nivel de campo o regional) que rendirán resultados agrícolas deseables (i.e. regulación de plagas), dados el ambiente y entomofauna únicos de cada área. Este desafío sólo puede ser afrontado mediante el análisis de las relaciones entre diversificación vegetal y dinámica poblacional de especies herbívoras, a la luz de la diversidad y complejidad de los sistemas agrícolas. Aunque no está claro, sin embargo, si este modelo es válido a través de regiones y sistemas, nuestro entendimiento actual ha progresado significativamente en las dos últimas décadas debido a numerosos estudios que han dilucidado los mecanismos ecológicos que explican los modos en los que la diversidad vegetal en los agroecosistemas

influencia a la estabilidad y diversidad de la comunidad de herbívoros (Altieri y Letourneau, 1982, 1984).

Aunque los herbívoros pueden variar grandemente en sus respuestas a la distribución, abundancia y dispersión de los cultivos, la mayoría de los estudios agroecológicos muestran que los atributos estructurales (i.e. combinación espacial y temporal) y de manejo (i.e. diversidad de cultivos, niveles de insumos, etc.) influyen a la dinámica poblacional de los herbívoros. Algunos de estos atributos están relacionados con la biodiversidad y la mayoría son sensibles al manejo (i.e. secuencias de cultivos y asociaciones, diversidad de malezas, diversidad genética, etc.).



Diversificación de cultivos y control biológico

Los monocultivos son ambientes en los que es difícil inducir un control biológico eficiente, porque estos sistemas no poseen los recursos adecuados para la actuación efectiva de los enemigos naturales y por las prácticas culturales perturbantes a menudo utilizadas en tales sistemas. Los sistemas de cultivos más diversificados ya contienen ciertos recursos específicos para los enemigos naturales, provistos por la diversidad de plantas, y por lo general no están alterados con pesticidas. Ellos son también más fáciles de manipular. Así, al reemplazar los sistemas simples por sistemas diversos o agregar diversidad a los sistemas existentes, es posible ejercer cambios en la diversidad del hábitat que favorecen la abundancia de los enemigos naturales y su efectividad al:

1. proveer de huéspedes/presas alternativas en momentos de escasez de la plaga.
2. proveer de alimentación (polen y néctar) para los parasitoides y predadores adultos.
3. proveer de refugios para la invernación, nidificación, etc. de enemigos naturales.
4. mantener poblaciones aceptables de la plaga por períodos extendidos de manera de asegurar la sobrevivencia continuada de los insectos benéficos.

El efecto resultante específico de la estrategia a utilizar dependerá de las especies de herbívoros y sus enemigos naturales asociados, así como de las propiedades de la vegetación, la condición fisiológica del cultivo, o la naturaleza de los efectos entomológicos directos de una especie particular de planta. Además, el éxito de las medidas de estímulo puede ser influenciado por la escala en la cual éstas son implementadas (i.e. campo, cuenca o región), ya que el tamaño del campo, la composición vegetal dentro y alrededor de éste y el nivel de aislamiento del campo (i.e. distancia desde la fuente de colonizadores), afectarán a las tasas de inmigración y emigración y al tiempo efectivo de acción de un enemigo natural particular en un campo de cultivo.

Tal vez una de las mejores estrategias para incrementar la efectividad de los predadores y parasitoides es la manipulación de recursos alternativos de alimentación (i.e. huéspedes/presas y polen/néctar alternativos). Aquí no es solamente importante que la densidad del recurso alternativo sea alta para influir a las poblaciones de enemigos, sino también que la distribución espacial y temporal del recurso sean adecuadas. La manipulación adecuada del recurso alternativo debería resultar en que los enemigos colonicen el hábitat más temprano que la plaga y con frecuencia encuentren el recurso distribuido uniformemente en el campo, incrementado así la probabilidad del enemigo de permanecer en el hábitat y reproducirse (Andow 1991). Ciertas disposiciones de policultivos aumentan y otras disminuyen la heterogeneidad espacial de recursos alimentarios específicos; así, una especie particular de enemigo natural puede ser más o menos abundante en un policultivo específico. Estos efectos y respuestas pueden sólo ser determinados experimentalmente a través de un rango completo de agroecosistemas. La tarea es sin duda abrumadora, ya que las técnicas de estímulo deben ser necesariamente específicas para cada sitio (Perrin, 1977).

La literatura está llena de ejemplos de experimentos que documentan que la diversificación de sistemas de cultivo a menudo lleva a reducir las poblaciones de herbívoros. Los estudios sugieren que mientras más diverso sea el ecosistema y mayor duración tenga esta diversidad inalterada, mayor cantidad de relaciones internas se desarrollan para promover una mayor estabilidad en las poblaciones de insectos. Es claro, sin embargo, que la estabilidad de las poblaciones de insectos no depende solamente de su diversidad trófica, sino también de la naturaleza actual de dependencia de densidades de los niveles tróficos. En otras palabras, la estabilidad dependerá de la precisión de la respuesta de cualquier nivel trófico a un aumento de la población desde un nivel inferior.

Aunque la mayoría de los experimentos han documentado tendencias de poblaciones menores de plagas en hábitats simples versus complejos, pocos se han concentrado en dilucidar la naturaleza y dinámica poblacional de las relaciones tróficas entre plantas-herbívoros y los enemigos naturales en agroecosistemas diversificados. Algunas de las líneas de estudio que se han desarrollado son (Altieri y Letourneau 1982, Andow 1991):

1. **Estudios de interacciones cultivos-malezas-insectos:** La evidencia indica que las malezas influyen en la abundancia y diversidad de insectos herbívoros y sus enemigos naturales asociados en sistemas de cultivo. 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.

2. **Dinámica de insectos en policultivos anuales:** Evidencias abrumadoras sugieren que los policultivos contienen una menor carga de herbívoros que los monocultivos. Un factor que explica esta tendencia es que las poblaciones de enemigos pueden persistir relativamente más estables en los policultivos debido a la disponibilidad más continuada de recursos alimentarios y de microhábitats. La otra posibilidad es que los herbívoros especializados son más propensos a encontrar y permanecer en cultivos puros, los cuales proveen de recursos concentrados y condiciones físicas homogéneas.
3. **Herbívoros en sistemas de cultivos perennes:** La mayoría de estos estudios han explorado los efectos de la manipulación de la cubierta vegetal del suelo en huertos frutales sobre los insectos plaga y sus enemigos asociados. Los resultados indican que los huertos frutales con abundante flora basal presentan una incidencia menor de insectos plaga que aquellos huertos limpios, principalmente por la mayor abundancia y eficiencia de los predadores y parasitoides. En algunos casos, la cubierta vegetal del suelo afecta directamente a las especies de herbívoros que discriminan entre árboles con y sin cubierta vegetal en sus bases.
4. **Los efectos de la vegetación adyacente:** Estos estudios han documentado la dinámica poblacional de plagas de insectos colonizadores que invaden los cultivos desde la vegetación de los bordes de los campos, especialmente cuando ésta está relacionada botánicamente con el cultivo. Un número de estudios documentan la importancia de la vegetación silvestre contigua en proveer alimentación alternativa y hábitats a los enemigos naturales que se desplazan hacia los cultivos cercanos.

La literatura disponible sugiere que el diseño de estrategias de manejo de la vegetación debe incluir el conocimiento y consideración de (1) disposición de los cultivos en el tiempo y el espacio (2) la composición y abundancia de la vegetación no cultivada dentro y alrededor de los cultivos, (3) el tipo de suelo, (4) el ambiente circundante, (5) el tipo e intensidad de manejo. La respuesta de las poblaciones de insectos a las manipulaciones ambientales depende de sus grados de asociación con uno o más de los componentes vegetales del sistema (Perrin 1977). El alargamiento de la duración del cultivo, o la planificación de cultivos en secuencia temporal o espacial puede permitir que los agentes de control biológico residentes mantenga altas poblaciones sobre los huéspedes o presas alternativas y persistir en ambientes agrícolas a través del año.

Como los sistemas agrícolas en una región son manejados en un rango de inversión energética, niveles de diversidad de cultivos y estados de desarrollo, ocurrirán variaciones en la dinámica de los insectos, las cuales pueden ser difíciles de predecir. Sin embargo, basados en las teorías ecológica y agronómica actuales, se pueden esperar potenciales bajos de plagas en los agroecosistemas que exhiban las siguientes características (Risch et. Al. 1983):

1. Alta diversidad a través de mezclas de plantas en el tiempo y el espacio.
2. Discontinuidad del monocultivo en el tiempo mediante rotaciones, uso de variedades de maduración temprana, uso de períodos sin cultivo o períodos preferenciales sin hospederos, etc.

3. Campos pequeños y esparcidos en un mosaico estructural de cultivos adyacentes y tierra no cultivada que proporciona potencialmente refugio y alimentación alternativos para los enemigos naturales. Las plagas también pueden proliferar en estos ambientes, dependiendo de la composición de especies de plantas. Sin embargo, la presencia de niveles poblacionales bajos de plagas y/o huéspedes alternativos puede ser necesaria para mantener a los enemigos naturales del área.
4. Las granjas con un componente de cultivo dominante perenne. Los huertos frutales son considerados ecosistemas semi-permanentes y más estables que los sistemas de cultivos anuales. Los huertos frutales sufren menos alteraciones y se caracterizan por una mayor diversidad estructural, especialmente si se estimula una diversidad floral en el suelo basal.
5. Altas densidades de cultivo o presencia de niveles tolerables de malezas dentro o fuera del cultivo.
6. Alta diversidad genética como resultado del uso de mezclas varietales o de varias líneas del mismo cultivo.

Estas generalizaciones pueden servir en la planificación de las estrategias del manejo de la vegetación en los agroecosistemas; sin embargo, ellas deben considerar las variaciones locales de clima, geografía, cultivos, vegetación, complejos de plagas, etc., las cuales podrían aumentar o disminuir el potencial para el desarrollo de las plagas bajo algunas condiciones de manejo de la vegetación. La selección de la o las especies de planta puede ser también crítica. Se necesitan estudios sistemáticos sobre la "calidad" de la diversificación vegetal en relación a la abundancia y eficiencia de los enemigos naturales. Lo que aparece importar es la diversidad "funcional" y no la diversidad per se. Los estudios mecanísticos para determinar los elementos claves de las mezclas de plantas que alteran la invasión de plagas y favorecen la colonización y el crecimiento poblacional de los enemigos naturales permitirá la planificación más precisa de los esquemas de cultivo y aumentará las posibilidades de efectos benéficos más allá de los niveles actuales (Risch et. Al. 1983).

Diseñando agroecosistemas sustentables

La búsqueda de sistemas agrícolas autosustentables, de bajos insumos, diversificados y eficientes en el uso de energía es ahora una preocupación importante de muchos investigadores, agricultores y planificadores en el mundo entero. Una estrategia clave en la agricultura sustentable es restaurar la diversidad agrícola del paisaje rural (Altieri, 1987). La diversidad puede ser mejorada en el tiempo mediante rotaciones y secuencias de cultivos, y en el espacio en forma de cultivos de cubierta, intercultivos, sistemas agroforestales y mezclas de cultivos-ganado, etc. La diversificación vegetal no sólo resulta en la regulación de las plagas a través de la restauración del control natural, sino además estimula un reciclado óptimo, la conservación del suelo y energía y una mayor independencia de insumos externos.

La agricultura sustentable generalmente se refiere a un modo de producción agrícola que intenta proveer rendimientos sostenidos durante largo tiempo mediante el uso de tecnologías ecológicamente probadas. Esto requiere que la agricultura sea considerada como un ecosistema (de allí el término agroecosistema) y como tal, la agricultura no sólo se

orienta para obtener altos rendimientos de algún producto, sino más bien para optimizar el sistema entero. También requiere mirar más allá del aspecto económico de la producción y considerar el concepto vital de estabilidad y sustentación ecológicos. El comportamiento de los agroecosistemas puede ser descrito por cuatro propiedades: sustentabilidad, equidad, estabilidad y productividad (Conway, 1985).

Cuando estos indicadores de comportamiento son utilizados para evaluar la viabilidad de los agroecosistemas modernos, se hace aparente que si bien históricamente la introducción de nueva tecnología ha incrementado la productividad en el corto plazo, ésta también ha reducido la estabilidad, sustentabilidad y equidad de largo plazo de todo el sistema agrícola (Conway, 1985). Cuando se los compara con los sistemas agrícolas tradicionales en los países en desarrollo, los sistemas modernos en los países industrializados aparecen frágiles y desequilibrados. En países en desarrollo, los pequeños agricultores valoran más el reducir los riegos que el maximizar la producción y están generalmente interesados en optimizar la productividad de los recursos agrícolas escasos, no necesariamente en aumentar la productividad de la tierra o del trabajo. También, los pequeños agricultores seleccionan una tecnología particular de producción basados en decisiones hechas para todo el sistema agrícola y no sólo para un cultivo determinado. (Altieri y Hecht 1991).

Requerimientos de los agroecosistemas sustentables

Los elementos básicos de un agroecosistema sustentable son la conservación de los recursos renovables, la adaptación del cultivo al medio ambiente y la mantención de niveles moderados, pero sustentables de productividad. Para enfatizar la sustentabilidad ecológica de largo plazo en lugar de la productividad de corto plazo, el sistema de producción debe (Altieri, 1987):

1. Reducir el uso de energía y recursos y regular la inversión total de energía de manera de obtener una relación alta de producción/inversión.
2. Reducir las pérdidas de nutrientes mediante la contención efectiva de la lixiviación, escurrimiento y erosión y mejorar el reciclado de nutrientes mediante la utilización de leguminosas, abonos orgánicos, compost y otros mecanismos efectivos de reciclado.
3. Estimular la producción local de cultivos adaptados al conjunto natural y socioeconómico.
4. Sustentar una producción neta deseada mediante la preservación de los recursos naturales, esto es, mediante la minimización de la degradación del suelo.
5. Reducir los costos y aumentar la eficiencia y viabilidad económica de las granjas de pequeño y mediano tamaño, promoviendo así un sistema agrícola diverso y flexible.

Desde un punto de vista de manejo, los componentes básicos de un agroecosistema sustentable incluyen:

1. Cubierta vegetativa como una medida efectiva de conservación del suelo y el agua, mediante el uso de prácticas de cero-labranza, cultivos con "mulches", uso de cultivos de cubierta, etc.

2. Suplementación regular de materia orgánica mediante la incorporación regular de abono orgánico y compost y promoción de la actividad biótica del suelo.
3. Mecanismos de reciclado de nutrientes mediante el uso de rotaciones de cultivos, sistemas de mezclas cultivos/ganado, sistemas agroforestales y de intercultivos basados en leguminosas, etc.
4. Regulación de plagas asegurada mediante la actividad estimulada de los agentes de control biológico alcanzada mediante la manipulación de la biodiversidad y por la introducción y/o conservación de los enemigos naturales.

Restaurando la biodiversidad en sistemas agrícolas

Los conceptos básicos de un sistema agrícola autosustentable, de baja inversión, diversificado y eficiente deben ser sintetizados en sistemas alternativos prácticos adecuados para satisfacer las necesidades específicas de las comunidades campesinas en las diferentes regiones agroecológicas del mundo. Una estrategia clave de la agricultura sustentable es restaurar la diversidad agrícola en el tiempo y en el espacio mediante el uso de rotaciones de cultivos, cultivos de cubierta, intercultivos, mezclas de cultivos/ganado, etc. (Altieri, 1987). Se dispone de diferentes opciones para diversificar los sistemas de cultivo, dependiendo de si los sistemas de monocultivos a ser modificados están basados en cultivos anuales o perennes. La diversificación puede también tomar lugar fuera de la franja, por ejemplo, en los bordes de cultivos con cortavientos, cinturones de protección y cercos vivos, los cuales pueden mejorar el hábitat para la vida silvestre y para los insectos benéficos, proveer fuentes de madera, materia orgánica, recursos para abejas polinizadoras y además, modificar la velocidad del viento y el microclima (Altieri y Letourneau, 1982).

Un ejemplo: Diversificación de un agroecosistema de cebollas en Michigan

Para optimizar la mortalidad de los principales insectos plaga del cultivo de cebollas (gusano de la cebolla) en Michigan se diseñó un agroecosistema de cebollas funcionalmente diverso. Este diseño fue derivado de modelos cuantitativos describiendo las relaciones entre los componentes del sistema. Del entendimiento de estas interacciones cuantitativas se puede derivar diseños que incorporen agentes causales de enfermedades, malezas, insectos, etc., según si las relaciones utilizadas en la construcción de estos modelos de "cuerpo libre" son de estructura independiente o si incorporan aspectos estructurales como una variable (Figura 3).

El diseño alternativo del agroecosistema de cebollas mostrado en la Figura 3 enfatiza la diversidad planificada o funcional. La pradera y los bordes enmalezados proveen de hospederos alternativos y néctar para el parásito. *Aphaereta pallipes* del gusano de la cebolla (Grodén, 1982). La pradera con vacas también provee de un rico recurso para las lombrices de tierra, potenciando con ello la maximización de las densidades de la mosca tigre predatora de las moscas de la cebolla. Las largas y angostas franjas de cebollas minimizan la distancia desde cualquier punto en el campo de cebollas y los bordes enmalezados y pradera. Esto es importante pues las densidades de *A. pallipes* declinan exponencialmente desde los bordes enmalezados y praderas hacia el campo de cebollas (Grodén, 1982). Esto es también cierto para las moscas de la cebolla infectadas con el hongo patógeno *Entomophthora muscae*. Los bordes enmalezados no son cortados, de

manera de proveer sitios de posamiento para las moscas enfermas. Los bordes enmalezados angostos maximizan la probabilidad de encuentro de esporas de *E. muscae* y moscas sanas al reunir juntos los sitios de posamiento y descanso para moscas sanas durante el mediodía. El corte de algunos de estos bordes enmalezados puede aumentar este efecto. Las siembras de rábanos contiguas a las cebollas proveen de un hospedero alternativo y con ello de una fuente continua de alimentación para el escarabajo *Aleochara bilineata*. Debería efectuarse un número de siembras de manera de proveer un recurso alimentario de larga duración en la temporada para el gusano del repollo y debería incorporar en el diseño un número de fechas de siembra diferentes de cebollas (Grodén, 1982). Grodén también demostró que siembras tempranas de cebollas adyacentes a cebollas tardías sirven como un cultivo trampa altamente atractivo que se tradujo en una concentración de la población de gusanos de la cebolla en la siembra temprana. Como las siembras tardías quedan mayormente intocadas, las siembras tempranas pueden ser hechas cerca de la interfase con el rábano de manera que el conjunto de hospederos para *A. bilineata* está concentrado, haciendo con ello más eficiente la búsqueda de presas.

Para enfrentar el problema de moscas emergiendo después que las cebollas son cosechadas, el manejo de entresacado de cebollas es importante. Una opción de manejo envuelve la siembra otoñal de una cubierta de centeno o avena inmediatamente después de la cosecha, de manera de ocultar en una semana las cebollas en el campo, haciendo más difícil a las moscas el encontrarlas. Una modificación es no cosechar una sección pequeña de las hileras de cebolla y entonces, mientras se siembra el cultivo de cubierta, las porciones superiores de las plantas de cebolla pueden ser cortadas y dejadas en el suelo. Estas hojas cortadas son muy atractivas para las moscas de la cebolla (más atractivas que las cebollas entresacadas); sin embargo, los estados inmaduros de la mosca de la cebolla no pueden sobrevivir en ellas pues las hojas cortadas se secan antes que se complete el desarrollo del insecto. Así, las hojas cortadas sirven para evitar la ovipostura de las moscas de la cebolla en las cebollas entresacadas hasta que el cultivo de cubierta crece y reduce drásticamente la eficiencia de búsqueda de las moscas hembra. Además, la rotación de cultivos reduce significativamente el número de moscas colonizando un campo de cebolla en la primavera.

	Praderas para una vaca	
	Borde enmalezado	
	Cebollas tempranas	
	Sembrado de rabanitos 1	
	Sembrado de rabanitos 2	
	Sembrado de rabanitos 3	
	Cebollas tardías	
	Borde enmalezado	
	Cebollas tempranas	
	Sembrado de rabanitos 1	
	Sembrado de rabanitos 2	
	Sembrado de rabanitos 3	
	Cebollas tardías	
	Borde enmalezado	

Figura 3. Diseño de un cultivo diversificado de cebollas para optimizar la regulación de plagas.

CONCLUSIONES

Los estudios sobre diversificación demuestran que en los policultivos u otros arreglos vegetacionales ocurren interacciones complementarias que pueden tener efectos positivos o negativos, directos o indirectos en el control biológico de plagas específicas de cultivos. La explotación de estas interacciones en situaciones reales envuelve el diseño y manejo de los agroecosistemas y requiere de un entendimiento de los numerosos sinergismos entre las plantas, los herbívoros y sus enemigos naturales (Altieri y Letourneau, 1982). Claramente, el énfasis de este punto de vista es ayudar a restaurar los mecanismos de control natural mediante la adición de diversidad selectiva, más que en forzar el establecimiento del control biológico en ambientes (tales como los monocultivos) donde los elementos ecológicos esenciales faltan para una actuación óptima de los enemigos naturales.

El tema central en la agricultura sustentable no es alcanzar un rendimiento máximo sino una estabilidad de largo plazo. La sustentación de la productividad agrícola requerirá más que una simple modificación de las técnicas ad hoc tradicionales. El desarrollo de agroecosistemas autosuficientes, diversificados, económicamente viables y en pequeña escala proviene de diseños nuevos de sistemas de cultivo y/o ganadería manejados con tecnologías adaptadas al medio ambiente local que se encuentran dentro del alcance de los recursos del agricultor. La conservación de energía y recursos, la calidad ambiental, la salud

pública y el desarrollo socioeconómico equitativo deberían ser considerados al tomar decisiones sobre las especies de cultivo, las rotaciones, los espaciamientos de hileras, la fertilización, el control de plagas y la cosecha. Muchos agricultores no cambiarán hacia los sistemas alternativos a menos que exista una buena posibilidad de ganancia monetaria a través de una producción aumentada o costos de producción disminuidos. Actitudes diferentes dependerán primeramente de la percepción de los agricultores en el corto y mediano plazo, de los beneficios económicos de la agricultura sustentable.

La restauración del control natural en los agroecosistemas mediante el manejo de la vegetación no sólo regula a las plagas, sino también ayuda a conservar energía, mejora la fertilidad del suelo, minimiza los riesgos y reduce la dependencia en recursos externos. Esto es particularmente importante en países en desarrollo donde las inversiones sofisticadas no son disponibles o pueden no ser aconsejables política o ecológicamente. Más investigación en esta área debería proveer de una base ecológica para el diseño de agroecosistemas autosustentables diversos y estables en relación a las plagas. Estos sistemas se necesitan urgentemente en todo el mundo en una era de deterioro de la calidad ambiental, situación energética empeorada y costos de inversión cada vez más crecientes. Este punto de vista para la agricultura sólo será práctico si es económicamente sensible y puede ser llevado a cabo dentro de los límites de un sistema de manejo agrícola normal. Sin embargo, dada la tendencia hacia la gran escala, en unidades agrícolas de granjas especializadas, objetivamente no existe mucho espacio libre para la implementación justa de un programa de manejo regional de hábitats diversificados. La mantención a largo plazo de la diversidad requiere de una estrategia de manejo que considere los patrones espaciales y temporales de la biodiversidad regional, tanto como del diseño de agroecosistemas ecológicamente apropiados.



BIBLIOGRAFIA

- Altieri, M.A. 1987. *Agroecology: The scientific basis of alternative agriculture*. Westview Press, Boulder.
- Altieri, M.A. y D.K. Letourneau 1982. Vegetation management and biological control in agroecosystems. *Crop Protection* 1:405-430.
- Altieri, M.A. 1991. How best can we use biodiversity in agroecosystems. *Outlook on Agriculture* 20:15-23.
- Altieri, M.A. y S.B. Hecht 1991. *Agroecology and small farm development*. CRC. Press. Boca Raton. Florida.
- Andow, D.A. 1991. Vegetational diversity and antropod population response: Annual review of *Entomology* 36:561-586.
- Conway, G.R. 1985. Agroecosystemas analysis. *Agricultural Administration* 20:31-55.
- Flint, M.L. y P.A. Roberts 1988. Using crop diversity to manage pest problems: some California examples. *Am. J. Of Alternative Agriculture* 3:164-167.
- Fowler, C. y P. Mooney 1990. *Shattering: Food, politics and the loss of genetic diversity*. Univ. Of Arizona Press. Tucson.
- Groden, E. 1982. The interactions of root maggots and two parasitoids M.S. Thesis Michigan State University, East Lansing.
- Perrin, R.M. 1977. Pest management in multiple cropping systems. *Agroecosystems* 3:93-118.
- Risch, S.J., D.A. Andow y M.A. Altieri 1983. Agroecosystem diversity and pest control: data, tentative conclusions and new research directions. *Environ. Entomol.* 12:625-629.