

AGROECOLOGIA
Bases científicas para una
agricultura sustentable

eco
*teca*20

Otras versiones editadas en castellano:

1983 Ediciones CETAL Valparaiso, Chile

1997 Asociación Cubana de Agricultura Orgánica (ACA0)-CLADES, Habana

1997 Centro de Investigación, Educación y Desarrollo (CIED), Lima, Perú

© **1999, Miguel A. Altieri**

© Para esta edición, **Editorial Nordan–Comunidad**

Avda. Millán 4113, 12900 Montevideo

Tel: (598-2) 305 5609, fax: 308 1640

C.e.: nordan@chasque.apc.org

Diseño: ComunArte

ISBN (Nordan): 9974-42-052-0

D.L. 310.232/99 – Setiembre de 1999

Libro parcialmente financiado por Sustainable Agriculture Networking and Extension (SANE), un programa auspiciado por UNDP, New York

Miguel A. Altieri
con contribuciones de
Susanna Hecht, Matt Liebman, Fred Magdoff,
Richard Norgaard, y Thomas O. Sikor

AGROECOLOGIA

Bases científicas para una
agricultura sustentable



Indice

Prefacio

Reconocimientos y Agradecimientos

Primera parte

Bases Teóricas de la Agroecología

1 La Evolución del Pensamiento Agroecológico - Susanna B. Hecht

2 Metodología y Práctica de la Agroecología - Richard B. Norgaard and Thomas O. Sikor 15

3 El Agroecosistema: Determinantes, Recursos, Procesos, y Sustentabilidad 29

Segunda parte

El Diseño de Sistemas y Tecnologías Alternativas

4 Generación de Tecnologías Sustentables Apropriadas para la Agricultura Alternativa.....

5 Diseño de Agroecosistemas Sustentables

6 Agricultura Tradicional

7 Programas de Desarrollo Agrícola de Base Agroecológica

8 Agricultura Orgánica

Tercera parte

Sistemas Alternativos de Producción

9 Sistemas de Policultivos - Matt Liebman 151

10 Cultivos de Cobertura y Utilización de Mulch

11 Rotación de Cultivos y Labranza Mínima

12 Sistemas Agroforestales - John G. Farrell and Miguel A. Altieri

Cuarta parte

Manejo Ecológico de Insectos Plaga, Enfermedades y Malezas

13 Manejo Integrado de Plagas

14 Ecología y Manejo de Malezas

15 Manejo y Ecología de las Enfermedades de Cultivos

16 Calidad y Manejo del Suelo - Fred Magdoff

Quinta parte

Mirando al Futuro

17 Hacia una Agricultura Sustentable

Bibliografía.....

Acerca de los Autores

Prefacio

Desde la publicación en 1987, de la primera edición de este libro, ha habido a nivel mundial una explosión en interés por buscar caminos sustentables para la producción de alimentos. Cientos de proyectos de investigación e intentos tecnológicos de desarrollo se han llevado a cabo; sin embargo a pesar de lo mucho que se ha aprendido, el mayor énfasis es todavía altamente tecnológico, enfatizando la sustitución de los insumos a fin de reemplazar las tecnologías agroquímicas costosas y degradantes por tecnologías seguras para el medio ambiente y que dependen de bajos insumos externos. Todavía prevalece una visión estrecha que sugiere que causas específicas afectan la productividad y, que la manera de sobreponerse al factor limitante es por intermedio del uso de tecnologías que lo superen. Esta visión no ha permitido a los investigadores apreciar el contexto y complejidad de los procesos agroecológicos.

En la búsqueda por restablecer una racionalidad más ecológica en la producción agrícola, los científicos del agro han descuidado un punto clave en el desarrollo de una agricultura más autosuficiente y sustentable: el conocimiento profundo de la naturaleza del agroecosistema y los principios que regulan su funcionamiento. Basado en nuevos resultados de investigación y descubrimientos prácticos, se intenta en esta nueva edición de reenfatar la importancia de la agroecología como una disciplina que provee los principios ecológicos básicos para estudiar, diseñar y manejar agroecosistemas que sean productivos y conservadores del recurso natural, y que también sean culturalmente sensibles, socialmente justos y económicamente viables.

La agroecología va más allá de una mirada uni-dimensional de los agroecosistemas: de su genética, agronomía, edafología, etc. Esta abarca un entendimiento de los niveles ecológicos y sociales de la coevolución, la estructura y funcionamiento de los sistemas. La agroecología alienta a los investigadores a conocer de la sabiduría y habilidades de los campesinos y a identificar el potencial sin límite de re-ensamblar la biodiversidad a fin de crear sinergismos útiles que doten a los agroecosistemas con la capacidad de mantenerse o volver a un estado innato de estabilidad natural. El rendimiento sustentable de los agroecosistemas proviene del equilibrio óptimo de cultivos, suelos, nutrientes, luz solar, humedad y otros organismos coexistentes. El agroecosistema es sano y productivo cuando prevalece esta condición de equilibrio y buen crecimiento, y cuando las plantas de los cultivos son capaces de tolerar el stress y la adversidad. Las perturbaciones ocasionales se pueden superar mediante un agroecosistema vigoroso, el cual es lo suficientemente diverso y adaptable para recuperarse una vez que el stress ha pasado. Ocasionalmente, los agricultores puede que tengan que aplicar drásticas medidas empleando métodos alternativos para controlar problemas del suelo o plagas específicas (i.e. insecticidas botánicos, fertilizantes alternativos, etc.). La agroecología entrega las pautas para un manejo cuidadoso

de los agroecosistemas sin provocar daño innecesario o irreparable. Simultáneamente con el esfuerzo por combatir a las plagas, enfermedades o deficiencias del suelo, el agroecólogo lucha por devolver al agroecosistema su elasticidad y fuerza. Si la causa de las enfermedades, plagas, degradación del suelo, etc. se atribuye a un desequilibrio, entonces la meta del tratamiento agroecológico será de recobrar el equilibrio. En agroecología, la biodiversificación es la técnica principal para restaurar la autorregulación y a la sustentabilidad.

Sin embargo, la salud ecológica no es la única meta de la agroecología. En realidad, la sustentabilidad no es posible sin preservar la diversidad cultural que nutre a las agriculturas locales. Una producción estable solo se puede llevar a cabo dentro del contexto de una organización social que proteja la integridad de los recursos naturales y que asegure la interacción armónica de los seres humanos, el agroecosistema y el medio ambiente.

Esta segunda edición incorpora nuevas percepciones y conceptos con la esperanza de ayudar a guiar a estudiantes de agricultura, investigadores y agricultores hacia una comprensión más profunda de la ecología de los sistemas agrícolas, lo cual abrirá las puertas a nuevas opciones en el manejo, mas de acuerdo con los objetivos de una agricultura verdaderamente sustentable.

Miguel A. Altieri
Noviembre, 1995

Reconocimientos y agradecimientos

Estoy en deuda literalmente con cientos de personas: con Juan Gasto, Jerry Doll, E.V. Komarek, W.H. Whitcomb, y W.J. Lewis, quienes me dieron la oportunidad de explorar nuevas ideas y de esta forma realizar mi potencial; con muchos pequeños campesinos en Chile, Colombia, México, Indonesia y otras áreas, los que me han mostrado métodos de agricultura ecológica probados por siglos; y con muchos estudiantes y colegas de Berkeley y otras universidades de Estados Unidos y alrededor del mundo quienes me han estimulado y desafiado al límite para pensar en nuevos caminos del desarrollo e investigación agrícola.

Debo dar gracias, en forma especial, a mis anteriores alumnos y colegas Javier Trujillo, Cliff Gold, Deborah Letourneau, María Alice García, Eric Castanares, Jeff Dlott, Marta Astier, y otros, los que me impulsaron a aventurar en nuevas áreas de investigación. Mis amigos en el Consorcio Latino Americano sobre Agroecología y Desarrollo (CLADES), Andrés Yurjevic, Juan Sánchez, Jean Marc von der Weid, Raúl Venegas, Gonzalo Hinijosa, Sebastian Burgos, Gustavo Siau, Jaime Rodríguez y muchos otros me han inspirado constantemente para repensar el desarrollo agrícola de una manera más profunda y liberal. Friedel von Mallinckrodt del Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas en Nueva York, también ha creído en mi trabajo proporcionando nuevas oportunidades para divulgar experiencias agroecológicas en frica, Asia y Latino América a través del Programa de Extensión y Redes de la Agricultura Sustentable (SANE).

También he recibido importante estímulo y crítica constructiva de mis colegas de la División de Control Biológico, Universidad de California en Berkeley, con los cuales comparto la misma misión, aunque no necesariamente la misma opinión. La Fundación Jessie Smith Noyes y la Fundación Deep Ecology me brindaron apoyo en forma continua para proseguir con mi investigación agroecológica, aliciente fundamental de este libro. Mis colegas y amigos Richard Norgaard, John Farrell, Matt Liebman, Susana Hecht y Fred Magdoff, contribuyeron cada uno con un capítulo, enriqueciendo de esta forma los conceptos sobre agroecología explorados en este libro.

Es imposible agradecer suficientemente a Linda L. Schmidt, mi socia en investigación por más de una década, en esta edición revisada del año 1995, la cual no sólo me ha brindado su lealtad y el más eficiente apoyo técnico, sin que lo más importante, su aporte de cientos de horas de edición soberbia y habilidades en la producción del libro en Inglés: de alguna manera es su producción, yo sólo suministré el contenido.

También Maximo Alonso, Osvaldo Vigarena y Clara Nicholls trabajaron arduamente en la traducción y producción fiel del libro en Español.

Debo mi reconocimiento a muchos autores y editores, muchos para mencionarlos, por autorizar la reproducción de figuras, tablas y versiones condensadas de material escrito.

Miguel A. Altieri
Noviembre, 1995

Primera parte

Bases teóricas
de la agroecología

Capítulo 1

La evolución del pensamiento agroecológico

Susanna B. Hecht

El uso contemporáneo del término agroecología data de los años 70, pero la ciencia y la práctica de la agroecología son tan antiguos como los orígenes de la agricultura. A medida que los investigadores exploran las agriculturas indígenas, las que son reliquias modificadas de formas agronómicas más antiguas, se hace más notorio que muchos sistemas agrícolas desarrollados a nivel local, incorporan rutinariamente mecanismos para acomodar los cultivos a las variables del medio ambiente natural, y para protegerlos de la depredación y la competencia. Estos mecanismos utilizan insumos renovables existentes en las regiones, así como los rasgos ecológicos y estructurales propios de los campos, los barbechos y la vegetación circundante.

En estas condiciones la agricultura involucra la administración de otros recursos además del cultivo propio. Estos sistemas de producción fueron desarrollados para disminuir riesgos ambientales y económicos y mantienen la base productiva de la agricultura a través del tiempo. Si bien estos agroecosistemas pueden abarcar infraestructuras tales como trabajos en terrazas, zanjas e irrigación, el conocimiento agronómico descentralizado y desarrollado localmente es de importancia fundamental para el desarrollo continuado de estos sistemas de producción.

El por qué esta herencia agrícola ha tenido relativamente poca importancia en las ciencias agronómicas formales, refleja prejuicios que algunos investigadores contemporáneos están tratando de eliminar. Tres procesos históricos han contribuido en un alto grado a oscurecer y restar importancia al conocimiento agronómico que fue desarrollado por grupos étnicos locales y sociedades no occidentales: (1) la destrucción de los medios de codificación, regulación y transmisión de las prácticas agrícolas; (2) la dramática transformación de muchas sociedades indígenas no occidentales y los sistemas de producción en que se basaban como resultado de un colapso demográfico, de la esclavitud y del colonialismo y de procesos de mercado, y (3) el surgimiento de la ciencia positivista. Como resultado, han existido pocas oportunidades para que las intuiciones desarrolladas en una agricultura más holística se infiltraran en la comunidad científica formal. Más aún, esta dificultad está compuesta de prejuicios, no reconocidos, de los investigadores en agronomía, prejuicios relacionados con factores sociales tales como clase social, etnicidad, cultura y sexo.

Históricamente, el manejo de la agricultura incluía sistemas ricos en símbolos y rituales, que a menudo servían para regular las prácticas del uso de la tierra y para codificar el conocimiento agrario de pueblos analfabetos (Ellen 1982, Conklin 1972). La existencia de cultos y rituales agrícolas está documentada en muchas sociedades, incluso las de Europa Occidental. De hecho, estos cultos eran un foco de especial atención para la Inquisición Católica. Escritores sociales de la época medieval tales como Ginzburg (1983) han demostrado cómo las ceremonias rurales eran tildadas de

brujería y cómo dichas actividades se convirtieron en focos de intensa persecución. Y no es sorprendente que cuando los exploradores españoles y portugueses de la post-inquisición emprendieron sus viajes y la conquista europea se extendió por el globo bajo el lema de «Dios, Oro y Gloria», como parte de un proyecto más amplio, existieran actividades evangelizadoras, las que a menudo alteraron las bases simbólicas y rituales de la agricultura en sociedades no occidentales. Estas modificaciones se transformaron, y a menudo interfirieron con la transferencia generacional y lateral del conocimiento agronómico local. Este proceso, junto con las enfermedades, la esclavitud y la frecuente reestructuración de la base agrícola de las comunidades rurales con fines coloniales y de mercado, a menudo contribuyó a la destrucción o abandono de las tecnologías «duras» tales como los sistemas de riego, y especialmente al empobrecimiento de las tecnologías «blandas» (formas de cultivo, mezclas de cultivos, técnicas de control biológico y manejo de suelos) de la agricultura local, la que depende mucho más de la transmisión de tipo cultural.

La literatura histórica documenta cómo las enfermedades transmitidas por los exploradores afectaron a las poblaciones nativas. Especialmente en el nuevo mundo se dieron colapsos de poblaciones muy rápidamente y de una forma tan devastadora que es difícil de imaginar. En algunas áreas hasta un 90% de la población murió en menos de 100 años (Denevan 1976). Con ellos murieron culturas y sistemas de conocimiento. Los efectos desastrosos de las epidemias caracterizaron las primeras etapas del contacto, pero otras actividades, especialmente la esclavitud asociada con las plantaciones del nuevo mundo, también ejercieron impactos drásticos en la población y, por lo tanto, en el conocimiento agrícola, hasta bien entrado el siglo XIX.

Inicialmente, las poblaciones locales eran el blanco de las incursiones para obtener esclavos, pero estos grupos a menudo podían escapar de la servidumbre. Los problemas de enfermedad en los indios del nuevo mundo hicieron que no fueran una fuerza ideal de trabajo. Por otro lado, las poblaciones africanas estaban acostumbradas a las condiciones climáticas tropicales y tenían una resistencia relativa a las enfermedades «europeas», por lo tanto ellos podían satisfacer las pujantes necesidades de mano de obra para las plantaciones de azúcar y algodón. Durante dos siglos, más de veinte millones de esclavos fueron transportados desde África a varias plantaciones de esclavos en el nuevo mundo (Wolf 1982).

La esclavitud se impuso a la mejor fuerza laboral (jóvenes adultos, tanto hombres como mujeres) y tuvo como resultado la pérdida de esta importante fuerza de trabajo para la agricultura local y el abandono de los trabajos agrícolas a medida que los pueblos trataron de evitar el convertirse en esclavos, retirándose a lugares distantes de los traficantes de esclavos. La ruptura de sistemas de conocimientos, ocasionada por la exportación de mano de obra, la erosión de las bases culturales de la agricultura local y la mortalidad asociada a las guerras que eran estimuladas por las incursiones en busca de esclavos, fue aumentada más adelante por la integración de estos sistemas residuales a las redes mercantiles y coloniales.

El contacto europeo con gran parte del mundo no occidental no fue benéfico, y a menudo involucró la transformación de los sistemas de producción para satisfacer las necesidades de los centros burocráticos locales, los enclaves mineros y de recursos, y del comercio internacional. En algunos casos ésto se logró por medio de la coerción directa, reorientando y manipulando las economías a través de la unión de grupos éliticos locales, y en otros casos de hombres claves, y por intermedio de intercambios. Estos procesos cambian fundamentalmente la base de la economía

agrícola. Con el surgimiento de las cosechas pagadas y la mayor presión ejercida por ítemes específicos de exportación, las estrategias para el uso de predios rurales, que habían sido desarrolladas a través de milenios con el fin de reducir los riesgos agrícolas y de mantener la base de recursos, fueron desestabilizadas. Muchos son los estudios que han documentado estos efectos (Watts 1983, Wolf 1982, Palmer y Parson 1977, Wasserstrom 1982, Brokenshaw et al. 1979, Geertz 1962).

Finalmente, aún cuando los cronistas y los exploradores mencionan positivamente el uso que los nativos daban a las tierras, fue difícil traducir estas observaciones a una forma coherente, no folklórica y socialmente aceptable. El surgimiento del método positivista en las ciencias y el movimiento del pensamiento occidental hacia perspectivas atomistas y mecanicistas, las que se asocian con el iluminismo del siglo XVIII, alteraron dramáticamente el diálogo sobre el mundo natural (Merchant 1980).

Esta transición de las epistemologías cambió el enfoque de la naturaleza, de una entidad orgánica, viviente, se convirtió en una máquina. De manera creciente este enfoque hizo hincapié en el lenguaje científico, una forma de referirse al mundo natural que esencialmente rechazaba toda otra forma de conocimiento científico como superstición. En efecto, desde los tiempos de Condorcet y Comte, el desarrollo de las ciencias se identifica con el triunfo de la razón sobre la superstición. Esta posición, unida a un punto de vista muchas veces despectivo sobre las habilidades de los pueblos rurales en su generalidad, y en especial las de los pueblos colonizados, contribuyó más aún a oscurecer la riqueza de muchos sistemas de conocimiento rural cuyo contenido era expresado en una forma discursiva y simbólica. A causa de un mal entendido del contexto ecológico, de la complejidad espacial y de la forma de cultivar propia de los agricultores no formales, fue frecuentemente tildada despectivamente de desordenada.

Dado este contexto histórico cabe preguntarse cómo la agroecología logró emerger nuevamente. El «redescubrimiento» de la agroecología es un ejemplo poco común del impacto que tienen las tecnologías pre-existentes sobre las ciencias, donde, adelantos que tuvieron una importancia crítica en la comprensión de la naturaleza, fueron el resultado de una decisión de los científicos de estudiar lo que los campesinos ya habían aprendido a hacer (Kuhn 1979). Kuhn señala que en muchos casos, los científicos lograron «meramente validar y explicitar, en ningún caso mejorar, las técnicas desarrolladas con anterioridad».

Cómo emergió nuevamente la idea de la agroecología también requiere de un análisis de la influencia de un número de corrientes intelectuales que tuvieron relativamente poca relación con la agronomía formal. El estudio de sistemas de calificación indígena, de la teoría del desarrollo rural, de los ciclos y sucesión de los nutrientes no está muy directamente relacionado con la ciencia de los cultivos, la patología de las plantas y el manejo de las plagas en su práctica habitual. Las siguientes secciones de este capítulo reseñan brevemente como la antropología, la economía y la ecología se encuentran reflejadas en el pedigrí intelectual de la agroecología.

¿Qué es la Agroecología?

El término agroecología a llegado a significar muchas cosas, definidas a groso modo, la agroecología a menudo incorpora ideas sobre un enfoque de la agricultura más ligado al medio ambiente y más sensible socialmente; centrada no sólo en la producción sino también en la sostenibilidad ecológica del sistema de producción. A esto podría llamarse el uso «normativo» o «prescriptivo» del término agroecología,

porque implica un número de características sobre la sociedad y la producción que van mucho más allá de los límites del predio agrícola. En un sentido más restringido, la agroecología se refiere al estudio de fenómenos netamente ecológicos dentro del campo de cultivo, tales como relaciones depredador/presa, o competencia de cultivo/maleza.

Visión ecológica

En el corazón de la agroecología está la idea que un campo de cultivo es un ecosistema dentro del cual los procesos ecológicos que ocurren en otras formaciones vegetales, tales como ciclos de nutrientes, interacción de depredador/presa, competencia, comensalía y cambios sucesionales, también se dan. La agroecología se centra en las relaciones ecológicas en el campo y su propósito es iluminar la forma, la dinámica y las funciones de esta relación. En algunos trabajos sobre agroecología está implícita la idea que por medio del conocimiento de estos procesos y relaciones los sistemas agroecológicos pueden ser administrados mejor, con menores impactos negativos en el medio ambiente y la sociedad, más sostenidamente y con menor uso de insumos externos. Como resultado, un número de investigadores de las ciencias agrícolas y de áreas afines, han comenzado a considerar el predio agrícola como un tipo especial de ecosistema -un agroecosistema- y a formalizar el análisis del conjunto de procesos e interacciones que intervienen en un sistema de cultivos. El marco analítico subyacente le debe mucho a la teoría de sistemas y a los intentos teóricos y prácticos hechos para integrar los numerosos factores que afectan la agricultura (Spedding 1975, Conway 1981, Gliessman 1982, Conway 1985, Chambers 1983, Ellen 1982, Altieri 1983, Lowrance et al. 1984).

La perspectiva social

Los agroecosistemas tienen varios grados de resiliencia y de estabilidad, pero estos no están estrictamente determinados por factores de origen biótico o ambiental. Factores sociales, tales como el colapso en los precios del mercado o cambios en la tenencia de las tierras, pueden destruir los sistemas agrícolas tan decisivamente como una sequía, explosiones de plagas o la disminución de los nutrientes en el suelo. Por otra parte, las decisiones que asignan energía y recursos materiales pueden aumentar la resiliencia y recuperación de un ecosistema dañado. Aunque la administración humana de los ecosistemas con fines de producción agrícola a menudo ha alterado en forma dramática la estructura, la diversidad, los patrones de flujo de energía y de nutrientes, y los mecanismos de control de poblaciones bióticas en los predios agrícolas, estos procesos todavía funcionan y pueden ser explorados experimentalmente. La magnitud de las diferencias de la función ecológica entre un ecosistema natural y uno agrícola depende en gran medida de la intensidad y frecuencia de las perturbaciones naturales y humanas que se hacen sentir en el ecosistema. El resultado de la interacción entre características endógenas, tanto biológicas como ambientales en el predio agrícola y de factores exógenos tanto sociales como económicos, generan la estructura particular del agroecosistema. Por esta razón, a menudo es necesaria una perspectiva más amplia para explicar un sistema de producción que está en observación.

Un sistema agrícola difiere en varios aspectos fundamentales de un sistema ecológico «natural» tanto en su estructura como en su función. Los agroecosistemas

son ecosistemas semi-domesticados que se ubican en un gradiente entre una serie de ecosistemas que han sufrido un mínimo de impacto humano, como es el caso de ciudades. Odum (1984) describe 4 características principales de los agroecosistemas:

1. Los agroecosistemas requieren fuentes auxiliares de energía, que pueden ser humana, animal y combustible para aumentar la productividad de organismos específicos.
2. La diversidad puede ser muy reducida en comparación con la de otros ecosistemas.
3. Los animales y plantas que dominan son seleccionados artificialmente y no por selección natural.
4. Los controles del sistema son, en su mayoría, externos y no internos ya que se ejercen por medio de retroalimentación del subsistema.

El modelo de Odum se basa principalmente en la agricultura moderna del tipo que se encuentra en los Estados Unidos. Hay, sin embargo, muchos tipos de sistemas agrícolas, especialmente en los trópicos, que no corresponden a esta definición. Particularmente las preguntas de diversidad y selección natural utilizadas en agriculturas complejas donde un sin número de plantas y animales semi-domesticados y silvestres figuran en el sistema de producción, son sospechosas. Conklin (1956), por ejemplo, describió agroecosistemas tradicionales en Filipinas que incluían más de 600 especies de plantas cultivadas y manejadas. Aunque esta agricultura no era tan diversa como la de algunos bosques tropicales, era definitivamente más multiforme que muchos otros ecosistemas locales.

Los sistemas agrícolas son una interacción compleja entre procesos sociales externos e internos, y entre procesos biológicos y ambientales. Estos pueden entenderse espacialmente a nivel de terreno agrícola, pero a menudo también incluyen una dimensión temporal. El grado de control externo versus control interno puede reflejar intensidad de administración a lo largo del tiempo, el que puede ser mucho más variable que el supuesto de Odum. En sistemas de roza, tumba y quema, por ejemplo, los controles externos tienden a disminuir en los períodos posteriores de barbecho. El modelo de agroecosistema de Odum marca un punto de partida interesante para la comprensión de la agricultura desde una perspectiva de los sistemas ecológicos, pero no puede abarcar la diversidad y complejidad de muchos agroecosistemas que se desarrollaron en las sociedades no occidentales, especialmente en los trópicos húmedos. Más aún, la falta de atención que el modelo pone en las determinantes sociales de la agricultura tiene como resultado un modelo con un poder explicativo limitado.

Los sistemas agrícolas son artefactos humanos y las determinantes de la agricultura no terminan en los límites de los campos. Las estrategias agrícolas no sólo responden a presiones del medio ambiente, presiones bióticas y del proceso de cultivo, sino que también reflejan estrategias humanas de subsistencia y condiciones económicas (Ellen 1982). Factores tales como disponibilidad de mano de obra, acceso y condiciones de los créditos, subsidios, riesgos percibidos, información sobre precios, obligaciones de parentesco, tamaño de la familia y acceso a otro tipo de sustento, son a menudo críticas para la comprensión de la lógica de un sistema de agricultura. En especial cuando se analizan las situaciones de los pequeños campesinos fuera de los Estados Unidos y Europa, el análisis de la simple maximización de las cosechas en sistemas de monocultivo se hace menos útil para la comprensión del comportamiento del campesino y de sus opciones agronómicas (Scott 1978 y 1986, Barlerr 1984, Chambers 1983).

El desafío agroecológico

Los científicos agrícolas convencionales han estado preocupados principalmente con el efecto de las prácticas de uso de la tierra y de manejos de los animales o la vegetación en la productividad de un cultivo dado, usando una perspectiva que enfatiza un problema objetivo, como es el de los nutrientes del suelo o los brotes de plagas. Esta forma de enfocar sistemas agrícolas ha sido determinada en parte por un diálogo limitado entre diferentes disciplinas, por la estructura de la investigación científica, la que tiende a atomizar problemas de investigación, y por un enfoque de la agricultura orientado a lograr un producto. No cabe duda que la investigación agrícola basada en este enfoque ha tenido éxito en incrementar el rendimiento en situaciones agroecológicamente favorables.

Sin embargo, es cada vez mayor el número de científicos que reconoce que este enfoque reduccionista limita las opciones agrícolas para las poblaciones rurales y en que el «enfoque objetivo» a menudo involucra consecuencias secundarias no intencionadas que frecuentemente han producido daños ecológicos y han tenido altos costos sociales. La investigación agroecológica se concentra en asuntos puntuales del área de la agricultura, pero dentro de un contexto más amplio que incluye variables ecológicas y sociales.

En muchos casos, las premisas sobre el propósito de un sistema agrícola difieren del enfoque que enfatiza la maximización del rendimiento y la producción, expuesta por la mayoría de los científicos agrícolas.

Como mejor puede describirse la agroecología es como un enfoque que integra ideas y métodos de varios sub-campos, más que como una disciplina específica. La agroecología puede ser un desafío normativo a las maneras en que varias disciplinas enfocan los problemas agrícolas. Tiene sus raíces en las ciencias agrícolas, en el movimiento del medio ambiente, en la ecología (en particular en la explosión de investigaciones sobre los ecosistemas tropicales), en el análisis de agroecosistemas indígenas y en los estudios sobre el desarrollo rural. Cada una de estas áreas de investigación tiene objetivos y metodologías muy diferentes, sin embargo, tomadas en un conjunto todas han sido influencias legítimas e importantes en el pensamiento agroecológico.

Influencias del pensamiento agroecológico

Ciencias agrícolas

Como Altieri (1987) lo ha señalado, el crédito de gran parte del desarrollo inicial de la agricultura ecológica en las ciencias formales le pertenece a Klages (1928), quien sugirió que se tomaran en cuenta los factores fisiológicos y agronómicos que influían en la distribución y adaptación de especies específicas de cultivos, para comprender la compleja relación existente entre una planta de cultivo y su medio ambiente. Más adelante, Klages (1942) expandió su definición e incluyó en ella factores históricos, tecnológicos y socioeconómicos que determinaban qué cultivos podían producirse en una región dada y en qué cantidad. Papadakis (1938) recalcó que el manejo de cultivos debería basarse en la respuesta del cultivo al medio ambiente. La ecología agrícola fue aún más desarrollada en los años 60 por Tischler (1965) e integrada al currículum de la agronomía en cursos orientados al desarrollo de una base ecológica a la adaptación ambiental de los cultivos. La agronomía y la ecología de cultivos están convergiendo cada vez más, pero la red entre la agronomía y las

otras ciencias (incluyendo las ciencias sociales) necesarias para el trabajo agroecológico, están recién emergiendo.

Las obras de Azzi (1956), Wilsie (1962), Tischler (1965), Chang (1968) y Loucks (1977) representan un cambio de enfoque gradual hacia un enfoque ecosistémico de la agricultura. En particular fue Azzi (1956) quien acentuó que mientras la meteorología, la ciencia del suelo y la entomología son disciplinas diferentes, su estudio en relación con la respuesta potencial de plantas de cultivos converge en una ciencia agroecológica que debería iluminar la relación entre las plantas cultivadas y su medio ambiente. Wilsie (1962), analizó los principios de adaptación de cultivos y su distribución en relación a factores del hábitat, e hizo un intento para formalizar el cuerpo de relaciones implícitas en sistemas de cultivos. Chang (1968) prosiguió con la línea propuesta por Wilsie, pero se centró en un grado aún mayor en los aspectos ecofisiológicos.

Desde comienzos de los años 70, ha habido una expansión enorme en la literatura agronómica con un enfoque agroecológico, incluyendo obras como las de Dalton 1975, Netting 1974, van Dyne 1969, Spedding 1975, Cox y Atkins 1979, Richards P. 1985, Vandermeer 1981, Edens y Koenig 1981, Edens y Haynes 1982, Altieri y Letourneau 1982, Gliessman et al. 1981, Conway 1985, Hart 1979, Lowrance et al. 1984 y Bayliss-Smith 1982.

A fines de la década de los 70 y a comienzos de la de los 80 un componente social cada vez mayor comenzó a aparecer en la literatura agrícola, en gran parte como resultado del estudio sobre el desarrollo rural en los Estados Unidos (Buttel 1980). La contextualización social unida al análisis agronómico ha generado evaluaciones complejas de la agricultura, especialmente en el caso del desarrollo regional (Altieri y Anderson 1986, Brush 1977, Richards P. 1984 y 1986, Kurin 1983, Bartlett 1984, Hecht 1985, Blaikie 1984).

Los entomólogos en sus intentos por desarrollar sistemas de manejo integrado de plagas, han hecho contribuciones valiosas al desarrollo de una perspectiva ecológica para la protección de las plantas. La teoría y la práctica del control biológico de plagas se basa exclusivamente en principios ecológicos (Huffaker y Messenger 1976). El manejo ecológico de plagas se centra en primer lugar en enfoques que contrastan la estructura y el funcionamiento de los sistemas agrícolas con aquellas de sistemas naturales relativamente no perturbados, o sistemas agrícolas más complejos (Southwood y Way 1970, Price y Waldbauer 1975, Levins y Wilson 1979, Risch 1981 y Risch et al. 1983). Browning y Frey (1969) han argumentado que los enfoques de manejo de plagas deberían hacer hincapié en el desarrollo de agroecosistemas que emularan la sucesión natural lo más posible, debido a que estos sistemas más maduros son a menudo más estables que los sistemas consistentes en una estructura sencilla de monocultivos.

Enfoque metodológico

Una gran cantidad de métodos de análisis agroecológico se están desarrollando en la actualidad en todo el mundo. Se podría considerar que se utilizan principalmente cuatro enfoques metodológicos:

1. Descripción analítica. Se están realizando muchos estudios que miden y describen cuidadosamente los sistemas agrícolas y miden propiedades específicas tales como diversidad de plantas, acumulación de biomasa, retención de nutrientes y rendimiento. Por ejemplo, el Centro Internacional de Agroforestería (ICRAF) ha estado

desarrollando una base internacional de datos de los diferentes tipos de sistemas de agroforestería y los está correlacionando con una variedad de parámetros medio ambientales para desarrollar modelos regionales de cultivos mixtos (Nair 1984, Huxley 1983). Este tipo de información es valioso para ampliar nuestra comprensión de los tipos de sistemas existentes, de los componentes que habitualmente se encuentran ensamblados y en qué contexto ambiental. Este es el primer paso necesario. Los estudios representativos de este tipo de pensamiento son numerosos e incluyen a Ewel et al. 1986, Alcorn 1984, Marten 1986, Denevan et al. 1984 y Posey 1985.

2. El análisis comparativo. La investigación comparativa generalmente involucra la comparación de un monocultivo u otro sistema de cultivo con un agroecosistema tradicional de mayor complejidad. Los estudios comparativos de este tipo involucran un análisis de la productividad de cultivos específicos, de la dinámica de la plagas o del estatus de los nutrientes en cuanto están relacionados con factores tales como la diversidad de los campos de cultivos, la frecuencia de las malezas, la población de insectos y los patrones de reciclaje de nutrientes. Varios estudios de este tipo se han llevado a cabo en América Latina, Africa y Asia (Glover y Beer 1986, Uhl y Murphy 1981, Irvine 1987, Marten 1986 y Woodmansee 1984). Dichos proyectos usan metodologías científicas de tipo estándar para iluminar la dinámica de sistemas locales de cultivos mixtos específicos, comparándolos con los monocultivos. Estos datos a menudo son útiles pero la heterogeneidad de los sistemas locales pueden oscurecer la comprensión de cómo éstos funcionan.

3. Comparación experimental. Para establecer la dinámica y para reducir el número de variables, muchos investigadores desarrollan una versión simplificada del sistema nativo en el cual las variables pueden ser controladas más de cerca. Por ejemplo, el rendimiento de un cultivo mixto de maíz, frijol y calabaza puede ser comparado con el cultivo simple de cada una de estas especies.

4. Sistemas agrícolas normativos. Estos se construyen a menudo con modelos teóricos específicos en mente. Un ecosistema natural puede ser ilimitado, o un sistema agrícola nativo podría ser reconstituido con mucho esfuerzo. Este enfoque está siendo evaluado en forma experimental por varios investigadores en Costa Rica. Ellos están desarrollando sistemas de cultivos que emulan las secuencias sucesionales por medio del uso de cultivos que son botánica y morfológicamente semejantes a las plantas que naturalmente ocurren en varias etapas sucesionales (Hart 1979, Ewel 1986).

Aún cuando la agronomía ha sido sin lugar a dudas la disciplina materna de la agroecología, ésta recibió una fuerte influencia del surgimiento del ambientalismo y de la expansión de los estudios ecológicos. El estudio del medio ambiente fue necesario para proporcionar el marco filosófico en el cual el valor de las tecnologías alternativas y el proyecto normativo de la agroecología pudieran apoyarse. Los estudios ecológicos fueron críticos en la expansión de los paradigmas por medio de los cuales cuestiones agrícolas pudieran desarrollarse, y de las destrezas técnicas para analizarlos.

Ambientalismo

Importancia de este movimiento. El movimiento ambiental de los años 60-70 ha hecho una gran contribución intelectual a la agroecología. Debido a que los asuntos del ambientalismo coincidían con la agroecología, ellos infundieron al discurso agroecológico una actitud crítica de la agronomía orientada hacia la producción, e hicieron crecer la sensibilidad hacia un gran número de asuntos relacionados con los recursos.

La versión de los años 60 del movimiento ambiental se originó como consecuencia de una preocupación con los problemas de contaminación. Estos eran analizados en función tanto de los fracasos tecnológicos como de las presiones de la población. La perspectiva Maltusiana ganó una fuerza especial a mediados de la década del 60 por medio de obras tales como «La Bomba Poblacional» de Paul Ehrlich (1966) y «La Tragedia de los Comunes» de Garrett Hardin (1968). Estos autores presentaron como principal causa de la degradación ambiental y del agotamiento de recursos al crecimiento de la población. Este punto de vista fue técnicamente ampliado por la publicación de «Los Límites del Crecimiento» del club de Roma, el que utilizó simulaciones computarizadas de las tendencias globales de la población, del uso de recursos y la contaminación, para generar argumentos para el futuro, los que generalmente eran desastrosos. Esta posición ha sido criticada desde perspectivas metodológicas y epistemológicas (Simon y Kahn 1985).

Mientras que «Los Límites del Crecimiento» desarrolló un modelo generalizado de la «Crisis ambiental», dos volúmenes seminales posteriores contenían una relación especial al pensamiento agroecológico, porque en ellos se perfilaban visiones de una sociedad alternativa. Estos fueron «Ante-Proyecto de la Supervivencia» (El Ecologista 1972) y «Lo Pequeño es Hermoso» (Schumacher 1973). Estos trabajos incorporaban ideas sobre la organización social, la estructura económica y valores culturales y las convertían en una visión exhaustiva más o menos utópica. «Ante-Proyecto de la supervivencia» argumentaba a favor de la descentralización de empresas de pequeña envergadura y acentuaba las actividades humanas que involucrarían un mínimo de interrupción ecológica y un máximo de conservación de energía y materiales. El santo y seña era autosuficiencia y sustentabilidad. El libro de Schumacher acentuaba una evaluación radical de la racionalidad económica («Economía Budista»), un modelo descentralizado de la sociedad humana («Dos millones de aldeas») y una tecnología apropiada. El significado especial de «Lo Pequeño es Hermoso» era que estas ideas se ampliaron para alcanzar el Tercer Mundo.

Interrogantes agrícolas. Los asuntos ambientales en su relación con la agricultura fueron claramente señalados por Carson en su libro «Primavera Silenciosa» (1964), que planteaba interrogantes sobre los impactos secundarios de las sustancias tóxicas, especialmente de los insecticidas, en el ambiente. Parte de la respuesta a estos problemas fue el desarrollo de enfoques de manejo de plagas para la protección de los cultivos, basados enteramente en teoría y práctica en los principios ecológicos (Huffaker y Messenger 1976). El impacto tóxico de los productos agro-químicos era sólo una de las interrogantes ambientales, debido a que el uso excesivo de los recursos energéticos también se estaba convirtiendo en un asunto cada vez más importante. Era necesario evaluar los costos energéticos de sistemas de producción específicos; especialmente a comienzos de la década del 70 cuando los precios del petróleo se incrementaron. El estudio clásico de Pimentel (1979) demostró que en la agricultura de los Estados Unidos cada kilo-caloría derivado del maíz se «obtenía» a un enorme costo energético de energía externa. Los sistemas de producción norteamericanos fueron por lo tanto comparados con otros tipos diferentes de agricultura, los que eran de menor producción por área de unidad (en términos de kilo-calorías por cada hectárea) pero mucho más eficientes en términos de rendimiento por unidad de energía invertida. El alto rendimiento de la agricultura moderna se obtiene a costa de numerosos gastos, los que incluyen insumos no renovables tales como el combustible de fósiles.

En el Tercer Mundo estos inputs son a menudo importados, y cargados a la balanza internacional de pagos, empeorando la situación de endeudamiento de muchos países en desarrollo. Más aún, debido a que la mayor parte de estos inputs no se utilizan para el cultivo de alimentos, la ganancia en la producción no se puede traducir necesariamente en un mejor abastecimiento de alimentos (Crouch y de Janvry 1980, Graham 1984 y Dewey 1981). Finalmente, las consecuencias sociales de este modelo tienen impactos complejos y a menudo extremadamente negativos en la población local, en especial en aquellos que tienen un acceso limitado a tierras y a crédito. Estos problemas se discuten en detalle más adelante en este capítulo.

Los problemas de la toxicidad y recursos de la agricultura ensamblaron con los problemas mayores de la transferencia tecnológica en contextos del Tercer Mundo. «La tecnología Descuidada» (editada por Milton y Farvar en 1968) fue una de las primeras publicaciones que intentó, en gran medida, documentar los efectos de proyectos de desarrollo y transferencia de tecnología de zonas templadas, sobre las ecologías y las sociedades de los países en desarrollo. Cada vez en mayor número, investigadores de diferentes áreas comenzaron a hacer comentarios sobre la pobre «adecuación» entre los enfoques que se dan al uso de la tierra en el Primer Mundo y la realidad del Tercer Mundo. El artículo de Janzen (1973), sobre agroecosistemas tropicales, fue la primera evaluación ampliamente difundida de por qué los sistemas agrícolas tropicales podrían comportarse de una forma diferente a los de las zonas templadas. Este trabajo y el de Levins (1973) plantearon un desafío a los investigadores agrícolas, que los llevó a repensar la ecología de la agricultura tropical.

Al mismo tiempo, el problema filosófico más amplio planteado por el movimiento ambiental tuvo resonancia en la re-evaluación de las metas del desarrollo agrícola en los Estados Unidos y en el Tercer Mundo, y en las bases tecnológicas sobre las que serían llevadas a cabo. En el mundo desarrollado estas ideas sólo tuvieron un impacto moderado en la estructura de la agricultura, porque la confiabilidad y disponibilidad de productos agroquímicos y inputs energéticos aplicados a la agricultura tenía como resultado transformaciones pequeñas en el patrón de uso de recursos en la agricultura. En situaciones en las que tanto los campesinos como la nación estaban presionando por los recursos, donde prevalecían estructuras distributivas regresivas y donde el enfoque de las zonas templadas no era apropiado a las condiciones ambientales locales, el enfoque agroecológico parecía de especial relevancia.

La integración de la agronomía y el ambientalismo ensambló con la agroecología, pero los fundamentos intelectuales para una asociación académica de este tipo eran aún relativamente débiles. Era necesario un enfoque teórico y técnico más claro, especialmente en relación con los sistemas tropicales. El desarrollo de la teoría ecológica tendría una relevancia especial en el desarrollo del pensamiento agroecológico.

Ecología

Por varias razones los ecólogos han tenido una importancia singular en la evolución del pensamiento agroecológico. En primer lugar, el marco conceptual de la agroecología y su lenguaje son esencialmente ecológicos. En segundo lugar, los sistemas agrícolas son en sí mismos interesantes sujetos de investigación, en los cuales los investigadores tienen mayor habilidad para controlar, probar y manipular los componentes del sistema, en comparación con los ecosistemas rurales. Estos pueden proporcionar condiciones de pruebas para un patrón amplio de hipótesis ecológicas, y de hecho ya han contribuido sustancialmente al cuerpo de conocimiento ecológico (Levins 1973, Risch et al. 1983,

Altieri et al. 1983b, Uhl et al. 1988). En tercer lugar, la explosión de investigadores sobre los sistemas tropicales ha dirigido la atención al impacto ecológico de la expansión de sistemas de monocultivos en zonas que se caracterizan por su diversidad y extraordinaria complejidad (Janzen 1973, Uhl 1983, Uhl y Jordan 1984, Hecht 1985). En cuarto lugar, varios ecólogos han comenzado a dirigir su atención a las dinámicas ecológicas de los sistemas agrícolas tradicionales (Gliessmann 1982a, 1982b, Altieri y Farrell 1984, Anderson et al. 1985, Marten 1986, Richards 1984 y 1986).

Tres áreas de interés académico han sido especialmente críticas en el desarrollo de los análisis agroecológicos: el ciclaje de los nutrientes, las interacciones de plagas/plantas y la sucesión ecológica. A modo de ilustración esta sección se concentrará en el ciclaje de nutrientes. A comienzos de los años 60 el análisis del ciclaje de nutrientes en los sistemas tropicales se convirtió en un tópico de interés y fue considerado como un proceso vital del ecosistema. Varios estudios significativos tales como la investigación de Nye y Greenland en 1961 y más adelante la serie de artículos y monografías que derivaron de trabajos realizados en San Carlos, Venezuela; Catie, Costa Rica y otros lugares en Asia y Africa han sido la simiente que clarifica los mecanismos de los ciclajes de nutrientes, tanto en bosques nativos como en áreas que han sido cultivadas (Jordan 1985, Uhl y Jordan 1984, Buschbacker et al. 1988, Uhl et al. 1988).

Los hallazgos ecológicos de esta investigación sobre el ciclaje de nutrientes que tuvieron un mayor impacto en el análisis de la agricultura fueron:

- La relación entre la diversidad y las estrategias inter-específicas para captar nutrientes.
- La importancia de los rasgos estructurales para aumentar la captación de nutrientes tanto por debajo como por encima del suelo.
- La dinámica de los mecanismos fisiológicos en la retención de nutrientes.
- La importancia de relaciones asociativas de plantas con micro-organismos tales como micorrizas y fijadores simbióticos de nitrógeno.
- La importancia de la biomasa como lugar de almacenaje de los nutrientes.

Estos hallazgos sugerían que los modelos ecológicos de la agricultura tropical incluirían una diversidad de especies (o al menos de cultivos) para aprovechar la variedad de absorción de nutrientes, tanto en términos de diferentes nutrientes como en la absorción de nutrientes de los diferentes niveles de profundidad del suelo. La información producida por los estudios ecológicos sobre el ciclaje de nutrientes también sugería el uso de plantas tales como las leguminosas que con facilidad forman asociaciones simbióticas, y el uso más extendido de plantas perennes en el sistema de producción, como un medio para bombear nutrientes de las diferentes capas del suelo y aumentar así la capacidad total de reciclaje y almacenamiento de nutrientes en el ecosistema. No es sorprendente hallar que muchos de estos principios ya estaban siendo aplicados en numerosos sistemas agrícolas desarrollados por poblaciones locales en los trópicos.

En la mayor parte de la literatura ecológica, la comparación entre ecosistemas naturales y agroecosistemas se ha basado en agroecosistemas desarrollados por ecologistas después de cierta observación del ecosistema local más bien que después de observar sistemas locales verdaderamente desarrollados. Más aún, la investigación se centró en parámetros tales como la diversidad de semillas, la acumulación de biomasa y el almacenaje de nutrientes en sucesión. Esta investigación ha proporcionado cierta comprensión de algunas dinámicas de los sistemas agrícolas considerados como entidades biológicas, pero el manejo (con excepción del llevado a cabo por algunos alumnos relativamente inexpertos) influye en estos procesos que quedan en

un área casi enteramente inexplorada (un caso excepcionalmente sobresaliente en este aspecto es el de Uhl et al. 1988).

Las limitaciones del enfoque puramente ecológico están siendo cada vez más superadas a medida que los investigadores comienzan a analizar los sistemas campesinos y nativos en equipos multi-disciplinarios y desde una perspectiva más holística (Anderson y Anderson 1983, Anderson et al. 1985, Marten 1986, Denevan et al. 1984). Estos esfuerzos tienen como intención el colocar a la agricultura en un contexto social; utilizan modelos nativos locales (explicaciones nativas del por qué se realizan ciertas actividades) para el desarrollo de hipótesis que más adelante pueden ser probadas por medio de modelos agronómicos científicos. Esta es un área de investigación floreciente con implicancias tanto teóricas como aplicadas de mucha importancia, y una gran inspiración para la teoría y práctica de la agroecología.

Sistemas nativos de producción

Otra influencia mayor en el pensamiento es aquella que procede de los esfuerzos de la investigación de antropólogos y geógrafos dedicados a describir y analizar las prácticas agrícolas y la lógica de los pueblos nativos y campesinos. Típicamente, estos estudios se han preocupado del uso de recursos y del manejo no sólo del predio agrícola sino de toda la base de subsistencia, y se han concentrado en cómo los pueblos locales explican esta base de subsistencia, y en cómo los cambios sociales y económicos afectan los sistemas de producción. El análisis científico del conocimiento local ha sido una fuerza importante para reevaluar los supuestos de los modelos coloniales y agrícolas de desarrollo. La obra pionera en este campo fue la de Audrey Richards (1939) sobre las prácticas de roza, tumba y quema (sistema citamene) en el Africa Bemba. El sistema citamene involucra el uso de desechos de árboles como compost en las prácticas agrícolas de los terrenos montañosos en Africa Central. Este estudio, que acentúa los resultados de las tecnologías agrícolas y de las explicaciones ecológicas de los pueblos nativos, contrasta diametralmente con aquella percepción despreciativa de la agricultura nativa que considera las prácticas locales como desordenadas y de inferior calidad.

Otra importante contribución al estudio de sistemas de cultivo nativos fue el trabajo de Conklin (1956), el que sentó las bases para la re-evaluación de la agricultura itinerante, basado en datos etnográficos y agronómicos sobre los Hanunoo de Filipinas. Este trabajo señala la complejidad ecológica y diversidad de los patrones de agricultura itinerante y la importancia de los policultivos, la rotación de cultivos y sistemas de agroforestería, en el marco total de la producción itinerante. Es uno de los estudios más tempranos y más ampliamente conocidos sobre la estructura y complejidad del sistema de cultivo de roza, tumba y quema, y en el que se incorpora mucha intuición ecológica.

Fue de especial importancia el énfasis que Conklin puso en el conocimiento ecológico nativo y la importancia que le asignó a explotar esta rica fuente de comprensión etnocientífica. Sin embargo, él hacía hincapié en que el acceso a esta información requería habilidades tanto etnográficas como científicas.

Investigadores tales como Richards (1984), Bremen y deWit (1983), Watts (1983), Posey (1984), Denevan et al. (1984), Brokenshaw et al. (1979) y Conklin (1956), entre muchos otros, han estudiado los sistemas nativos de producción y sus categorías de conocimiento sobre las condiciones ambientales y prácticas agrícolas. Este cuerpo de investigación se centra en el punto de vista nativo de los sistemas de pro-

ducción y los analiza con los métodos científicos occidentales. Todos estos autores han hecho hincapié en que la organización social y las relaciones sociales de la producción deberían considerarse tan de cerca como el medio ambiente y los cultivos. Este acento en la dimensión social de la producción es una base importante para la comprensión de la lógica de producción de sistemas agrícolas.

Otro resultado importante de gran parte del trabajo sobre los sistemas nativos de producción es la idea que se necesitan diferentes nociones de eficiencia y racionalidad para comprender los sistemas nativos de campesinos. Por ejemplo, la eficiencia de producción por unidad de labor invertida, más bien que una simple relación de rendimiento por áreas es básica para la lógica de producción de muchos cultivadores del Tercer Mundo. Las prácticas que se centran en evitar riesgos, puede que no sean tan rendidoras a corto plazo, pero pueden ser preferibles a opciones de uso de tierras altamente productivas pero que tienen mayores riesgos. La disponibilidad de trabajo, en especial en épocas importantes como es la de las cosechas, puede también influir en los tipos de sistemas agrícolas favorecidos.

Este tipo de investigación ha influido en el desarrollo de los argumentos contrarios a aquellos que atribuían el fracaso de la transferencia de tecnología agrícola a la ignorancia e indolencia. Este enfoque, con el acento en los factores humanos de los sistemas agrícolas, también ponía más atención en las estrategias de los campesinos de diferentes estratos sociales, y cada vez más en el rol de la mujer en la agricultura y el manejo de recursos (Deere 1982, Beneria 1984, Moock 1986).

El análisis etnoagrícola ha contribuido mucho a la expansión de las herramientas conceptuales y prácticas de la agroecología. El enfoque (marco étnico) basado en la explicación de una cultura dada ha sugerido relaciones que los marcos «étnicos» (es decir marcos externos, generalmente referidos a modelos occidentales de expansión) no capturan fácilmente, al basarse en los métodos de la ciencia occidental. Más aún, esta investigación ha ampliado el concepto de lo que puede con provecho ser llamado agricultura, debido a que muchos grupos están involucrados en la manipulación de ecosistemas forestales a través del manejo de la sucesión y la reforestación actual (Posey 1985, Andreson et al. 1985, Alcorn 1984). Aún más, la agricultura desarrollada localmente incorpora numerosos cultivos cuyo germoplasma es esencial para el «desarrollo» de programas de mejoramiento genético como el de yuca y frijol, y también incluye numerosas plantas con un potencial de uso más amplio en ambientes difíciles. Finalmente, dicho trabajo valora los logros científicos de cientos de años de mejoradores de plantas y trabajo agronómico llevado a cabo por las poblaciones locales.

El estudio de sistemas agrícolas nativos ha proporcionado gran parte de la materia prima para el desarrollo de hipótesis y sistemas de producción alternativos para la agroecología. Cada vez es más amplio el estudio de la agricultura nativa realizado por equipos multi-disciplinarios para documentar las prácticas y se han desarrollado categorías de clasificación para analizar los procesos biológicos y para evaluar aspectos de las fuerzas sociales que influyen en la agricultura. El estudio de sistemas nativos ha sido fundamental en el desarrollo del pensamiento agroecológico.

Estudios del desarrollo

El estudio del desarrollo rural del Tercer Mundo también ha sido una gran contribución a la evolución del pensamiento agroecológico. El análisis rural ha ayudado a clasificar la lógica de las estrategias locales de producción en comunidades que están sufriendo grandes transformaciones, a medida que las áreas rurales se integran a economías regionales,

nacionales y globales. Los estudios sobre el desarrollo rural han documentado la relación que existe entre los factores socioeconómicos y la estructura y organización social de la agricultura. Existen varios temas de investigación sobre el desarrollo, que han sido de especial importancia para la agroecología, incluyendo el impacto de las tecnologías inducidas desde afuera, el cambio de cultivos, los efectos de la expansión de mercados, las implicancias de los cambios de relaciones sociales y la transformación en las estructuras de tenencia de tierra y de acceso a los recursos económicos. Todos estos procesos están íntimamente ligados. Cómo ellos afectan los agroecosistemas regionales es el resultado de complejos procesos históricos y políticos.

La investigación de la Revolución Verde fue importante para la evolución del pensamiento agroecológico porque los estudios sobre el impacto de esta tecnología fueron un instrumento que arrojó luz sobre los tipos de prejuicios que predominaban en el pensamiento agrícola y de desarrollo. Esta investigación también tuvo como resultado el primer análisis verdaderamente interdisciplinario de cuestiones de tenencia de tierra y del cambio tecnológico en la agricultura desde un punto de vista ecológico, social y económico; todo esto realizado por un amplio grupo de especialistas. La extraordinaria aceleración del proceso de estratificación social del campesino que se asocia a la Revolución Verde indicaba inmediatamente que ésta no era una tecnología neutra en sus objetivos y resultados, sino más bien que podría transformar dramáticamente la base de la vida rural de un gran número de personas.

Como lo hizo notar Perelman 1977, los más beneficiados por dichas tecnologías fueron los consumidores urbanos. La estrategia de la Revolución Verde se desarrolló cuando los problemas de la pobreza y el hambre eran considerados principalmente como problemas de producción. Este diagnóstico implicó varias estrategias que se centraban en áreas agrícolas en las que rápidamente podrían llevarse a cabo aumentos de producción, suelos de mejor calidad y tierras de riego entre agricultores con bienes materiales y de capital sustanciales. Tuvo éxito en términos de elevar la producción; en el fondo era parte de una política de apostar conscientemente al más fuerte (Chambers y Ghildyal 1985, Pearce 1980). Es ahora generalmente reconocido que solamente el aumento agregado de la producción de alimentos no soluciona el problema del hambre y la pobreza rural, aunque sí puede reducir los costos de alimentos para los sectores urbanos (Sen 1981, Watts 1983).

Las consecuencias de la Revolución Verde en las áreas rurales fueron tales que sirvieron para marginalizar a gran parte de la población rural. En primer lugar, centró sus beneficios en los grupos que eran ricos en recursos, acelerando así la diferencia entre ellos y los otros habitantes rurales, por lo que la desigualdad rural a menudo aumentó. En segundo lugar, socavó muchas formas de acceso a la tierra y a los recursos, tales como los cultivos de mediería, el arriendo de mano de obra y el acceso a medios de riego y tierras de pastoreo. Esto redujo la diversidad de estrategias de subsistencia disponibles a las familias rurales y, por lo tanto, aumentó la dependencia del predio agrícola. La reducción de la base genética de la agricultura aumentó los riesgos porque los cultivos se hicieron más vulnerables a plagas y enfermedades y a los cambios del clima. En el caso de arrozales inundados o regados, la contaminación generada por el uso de pesticidas y herbicidas a menudo afectó una importante fuente local de proteínas: el pescado.

El análisis de la Revolución Verde hecho desde el punto de vista de diferentes disciplinas, contribuyó al primer análisis holístico de las estrategias de desarrollo agrícola/rurales. Fue la primera evaluación ampliamente difundida que incorporó críticas ecológicas, tecnológicas y sociales. Este tipo de enfoque y de análisis ha sido

el prototipo de varios estudios posteriores sobre la agroecología, y el progenitor de la investigación sobre sistemas de labranza.

Actualmente es reconocido que las tecnologías de la Revolución Verde pueden ser aplicadas en áreas limitadas y ha habido peticiones de varios analistas del desarrollo rural en el sentido de redirigir la investigación agrícola en la dirección de campesinos de bajos recursos. En el mundo existen por lo menos un billón de campesinos de recursos, ingresos y flujos de producción muy limitados, quienes trabajan en un contexto agrícola de extrema marginalidad. Los enfoques que hacen hincapié en paquetes de tecnologías generalmente requieren de recursos a los cuales la mayoría de los campesinos del mundo no tienen acceso (Tabla 1.1).

Muchos analistas del desarrollo rural reconocen hoy las limitaciones para la agricultura de los enfoques tipo Revolución Verde que enfatizan agricultura a gran esca-

TABLA 1.1 El contraste de condiciones físicas y socioeconómicas de agricultores ricos en recursos vs pobres en recursos (según Chambers y Gildyal 1985).

	Estaciones experimentales	Campesinos ricos en recursos	Campesinos pobres en recursos
Topografía	Plana o terrazas	Plana o terrazas	Ondulada o laderas
Suelos	Profundos, pocas dificultades	Profundos, pocas dificultades	Superficiales, no fértiles serias dificultades
Deficiencia de nutrientes	Rara, solucionable	Ocasional	Bastante común
Peligro (fuego, derrumbe, etc.)	Poco	Pocos y controlables	Comunes
Irrigación	Frecuente, en completo control	Generalmente disponible, de fácil control	Rara, poco confiable
Tamaño de la unidad	Grande, adyacente	Grande o medianamente adyacente	Pequeña, irregular no adyacente
Enfermedades, plagas, malezas	Controladas con agroquímicos, mano de obra	Controladas con agroquímicos, mano de obra	Control cultural, cultivos vulnerables.
Acceso a fertilizantes, semillas mejoradas	Ilimitado confiable	Alto, confiable	Bajo, desconfiable
Semillas	Alta calidad	Alta calidad	Semillas propias
Créditos	Ilimitados	Buen acceso	Poco acceso con escasez temporal
Trabajo	Sin dificultad de obtener	Mano de obra contratada	Familia, escasez en temporadas críticas
Precios	Irrelevantes	Bajos para insumos Altos para productos	Altos para insumos Bajos para productos
Prioridad para la producción de alimentos	Baja	Media	Alta

la, pero estos modelos agrícolas han dominado de una forma sorprendente los proyectos de desarrollo agrícola del Tercer Mundo. Mientras los resultados de las estaciones experimentales de investigación se veían extremadamente promisorios, el bajo grado de adopción por campesinos y de producción exacta de los modelos en los campos, ha ocasionado grandes dificultades en muchos proyectos. El enfoque de transferencia de tecnologías tendía a acelerar las diferencias en las situaciones políticas difíciles, en donde las tecnologías sólo eran parcialmente adoptadas y en muchos casos no adoptadas del todo (Scott 1978 y 1986).

Varias eran las explicaciones para la baja transferencia de tecnologías, incluyendo la idea que los campesinos eran ignorantes y que era necesario enseñarles a cultivar. Otro set de explicaciones se centró en las exigencias a nivel de finca, tales como la falta de créditos que limitaban la posibilidad de los campesinos de adoptar estas tecnologías. En el primer caso se considera que la falla está en el campesino; en el segundo se culpa a problemas de infraestructura de diferentes tipos, nunca se criticó a la tecnología misma.

Varios investigadores de terreno y practicantes del desarrollo se han sentido frustrados por estas explicaciones y un número cada vez mayor han señalado que las tecnologías en sí requieren de una re-evaluación sustancial. Ellos han argumentado que la decisión del campesino de adoptar o no una tecnología es la verdadera prueba de su calidad. A menudo a este enfoque se le ha llamado «El campesino primero y último» o «El campesino vuelve al campesino» o «La revolución agrícola nativa» según dicen Rhoades y Booth (1982) «La filosofía básica en la que se apoya este modelo es que la investigación y el desarrollo agrícola deben comenzar y terminar en el campesino. La investigación agrícola aplicada no puede comenzar aisladamente en un centro de experimentación o con un comité de planificación que está lejos del contacto con la realidad campesina. En la práctica esto significa obtener información acerca del campesino y comprensión de la percepción que el campesino tiene del problema y la aceptación de la evaluación que el campesino hace de la solución propuesta». Este enfoque requiere una participación mucho mayor de parte del campesino en el diseño y la implementación de programas de desarrollo rural (Chambers 1983, Richards P. 1985, Gow y Van Sant 1983, Midgley 1986).

Una consecuencia de esta posición ha sido reconocer el gran conocimiento que el campesino tiene de entomología, botánica, suelos y agronomía, los que pueden servir como puntos de partida para la investigación. En este caso también, la agroecología ha sido identificada como una valiosa herramienta analítica asimismo como un enfoque normativo para la investigación.

La agroecología encaja bien con los asuntos tecnológicos que requieren prácticas agrícolas más sensibles al medio ambiente y a menudo encuentra congruencia del desarrollo tanto ambiental como participativo con perspectivas filosóficas. La diversidad de preocupaciones y de cuerpos de pensamientos que han influido en el desarrollo de la agroecología son verdaderamente amplios. Sin embargo, esta es la extensión de los asuntos que inciden en la agricultura. Es por esta razón que ahora vemos agroecólogos con un entrenamiento mucho más rico que el encontrado corrientemente entre los alumnos de ciencias agrarias centrados en una disciplina, como asimismo muchos más equipos multidisciplinarios trabajando en estos asuntos en el campo. Aunque es una disciplina nueva, y hasta el momento ha planteado más problemas que soluciones, la agroecología indudablemente ha ampliado el discurso agrícola.

Metodología y práctica de la agroecología

Richard B. Norgaard y Thomas O. Sikor

La metodología y práctica de la agroecología proviene de distintas raíces filosóficas que difieren de aquellas de las cuales proviene la ciencia agrícola convencional. El tener diferentes raíces significa ser radical en el verdadero sentido de la palabra. Este capítulo demostrará cómo esas diferencias en las raíces filosóficas afectan a las metodologías, a la organización y a las consecuencias sociales y ambientales tanto de la agricultura convencional como de la agroecología. La agroecología toma en cuenta tanto el sistema agroecológico como el social en el que trabajan los agricultores, pone un énfasis relativamente bajo a las investigaciones realizadas en los centros experimentales y en los laboratorios y enfatiza fuertemente los experimentos de campo, permitiendo así una mayor participación de los agricultores en el proceso de investigación. Para ilustrar estas diferencias, se ha analizado la trayectoria de la agricultura convencional en América Latina y el papel de las organizaciones no gubernamentales (ONGs) en la divulgación de la agroecología.

La importancia de las premisas filosóficas

Los agrónomos convencionales siguen las premisas dominantes de la ciencia moderna (Norgaard 1994). Por ejemplo, suponen que la producción agrícola puede ser entendida objetivamente sin considerar a los agricultores y su forma de pensar, ni a los sistemas sociales y el agroecosistema que los rodea. De acuerdo con ello, realizan experimentos controlados en laboratorios y en estaciones agrícolas. Aún más, ellos suponen que la agricultura puede ser entendida en forma atomística, o en pequeñas partes. Debido a esto, se dividen en disciplinas y subdisciplinas estudiando las propiedades físicas del suelo separadamente de las propiedades biológicas y de la vida que éste mantiene. Examinan la toxicidad de diferentes elementos químicos sobre los insectos, sin considerar la manera como los insectos interactúan entre sí y con las plantas. Estos supuestos por separado conllevan a desarrollar tecnologías aisladas para la nutrición de las plantas y el manejo de las plagas. Luego, suponen que estos hallazgos pueden transferirse a los agricultores en forma de nuevas tecnologías. Está de más decir, que los agricultores no siempre han encontrado que las nuevas tecnologías se ajustan a sus sistemas de agricultura. Además de esto, las tecnologías derivadas separada e individualmente con frecuencia tienen efectos inesperados al ser usadas en una explotación agrícola, especialmente cuando se usan combinadas. El efecto acumulativo de tecnologías agrícolas convencionales al ser usadas por todos los agricultores conjuntamente, tienen a veces impactos ecológicos y económicos devastadores.

Hace tiempo que los agrónomos convencionales se han dado cuenta de que sus tecnologías presentan problemas. Se crearon servicios de extensión con especialistas

para hacer llegar las tecnologías a los agricultores. Más tarde, los agrónomos convencionales trataron de diseñar paquetes tecnológicos integrados que se ajustan entre sí. Comenzaron a prestar más atención a las necesidades de los agricultores, trataron de oírlos y comenzaron a realizar investigaciones en el campo. No obstante, los científicos agrícolas convencionales sólo han tenido un éxito moderado en superar los problemas de su tecnología, puesto que aún tienen que darse cuenta de que los problemas son inherentes a las premisas filosóficas de sus métodos y prácticas. Por ejemplo, no han sido verdaderamente capaces de escuchar lo que los agricultores tienen que decir, porque las premisas filosóficas de la ciencia convencional no le otorgan legitimidad a las formas de aprendizaje y conocimientos de los agricultores.

Las premisas dominantes de la ciencia moderna y de otras alternativas se listan en la Tabla 2.1. El «atomismo» postula que las partes pueden ser entendidas aparte de los sistemas en los que ellas están insertas y que los sistemas son simplemente la suma de sus partes. El «mecanismo» postula que las relaciones entre las partes de un sistema no cambian, condición necesaria para la predicción y el control. El «universalismo» establece como premisa que el mundo que nos rodea puede explicarse por la interacción de un número relativamente pequeño de principios universales. El «objetivismo» postula que nuestros valores, formas de conocimiento y acciones,

TABLA 2.1. Premisas dominantes de la ciencia moderna y sus alternativas.

PREMISAS DOMINANTES	PREMISAS ALTERNATIVAS
<p>Atomismo: los sistemas consisten en partes no intercambiables y que son simplemente la suma de sus partes.</p>	<p>Holoismo: las partes no pueden comprenderse separadamente de sus todos y los todos son diferentes de la suma de sus partes. Las partes pueden desarrollar nuevas características o pueden surgir partes totalmente nuevas.</p>
<p>Mecanismo: las relaciones entre las partes están fijas, los sistemas se mueven continuamente desde un punto de equilibrio a otro y los cambios son reversibles.</p>	<p>Los sistemas pueden ser mecánicos pero también pueden ser determinísticos, aunque no predecibles o continuos, porque ellos son caóticos o simplemente muy discontinuos. Los sistemas también pueden ser evolutivos.</p>
<p>Universalismo: los fenómenos complejos y diversos son el resultado de principios universales subyacentes, los que son un número reducido y no cambian en el tiempo ni el espacio.</p>	<p>Contextualismo: los fenómenos son contingentes sobre un gran número de factores particulares al tiempo y al lugar. Fenómenos similares bien pueden ocurrir en distintos tiempos y lugares debido a factores ampliamente diferentes.</p>
<p>Objetivismo: podemos permanecer apartados de lo que tratamos de comprender.</p>	<p>Subjetivismo: los sistemas sociales y especialmente naturales no pueden comprenderse como parte de nuestras actividades, de nuestros valores y de cómo lo hemos entendido, actuando sobre estos sistemas en el pasado.</p>
<p>Monoismo: nuestras formas separadas e individuales de entender sistemas complejos están fusionadas dentro de un todo coherente.</p>	<p>Pluralismo: los sistemas complejos sólo pueden conocerse mediante patrones múltiples y diferentes de pensamiento, cada uno de los cuales es necesariamente una simplificación de la realidad. Patrones diferentes son intrínsecamente incongruentes.</p>

pueden mantenerse aparte de los sistemas que estamos tratando de entender. El «monismo» postula que nuestras formas de conocimiento separadas y disciplinarias se fusionan en un todo coherente.

Las premisas alternativas de la Tabla 2.1, contrastan radicalmente con las premisas dominantes. Sus diferencias agudizan nuestra comprensión de la posición dominante. Sin embargo, las premisas alternativas en la lista son meramente ilustrativas, puesto que existen muchas alternativas y combinaciones posibles.

Los cinco «ismos» dominantes son suposiciones perfectamente correctas a partir de las cuales se puede razonar. Ellas han facilitado un nivel de predicción y control más allá de lo conocido anteriormente. La predicción y el control de la ciencia que sigue a los «ismos» dominantes, ha probado ser más limitada sistemática y temporalmente de lo que creen los científicos convencionales. Estas limitaciones son el origen de las inesperadas

Consecuencias y problemas que se presentan en otras partes del agroecosistema, fuera de la explotación agrícola en los años posteriores.

Si las tecnologías y las instituciones agrícolas modernas no se hubiesen basado solamente en esas premisas y si se les hubiera dado igual importancia a otros patrones de comprensión, las consecuencias sistemáticas y a largo plazo para las personas y para el agroecosistema pudieran haber sido previstas, aminoradas o evitadas. Los problemas de la agricultura convencional se originan a partir de estos «ismos».

Generalmente, ni los agrónomos convencionales ni los agroecólogos están totalmente conscientes de las premisas filosóficas subyacentes en sus investigaciones, o cómo la filosofía estructura las organizaciones por las que ellos trabajan. No obstante, cuando surgen los problemas metodológicos, lo más probable es que los agroecólogos se sientan cómodos con los supuestos alternativos de la Tabla 2.1 y estén más proclives a criticar muchas de las premisas dominantes. Al mismo tiempo, muchos agroecólogos razonan y a veces llevan a cabo la investigación dentro del método dominante. En efecto, algunas personas que se consideran a sí mismas como agroecólogos solamente llevan a cabo investigaciones con el método dominante, pero cooperan con otros que tratan de utilizar sus conocimientos en métodos alternativos. De esta forma, la diferencia entre agrónomos convencionales y agroecólogos radica en que estos últimos, en conjunto, tienden a ser más pluralistas metodológicamente.

Curiosamente, las premisas alternativas son las más intuitivas y más cercanas a nuestro sentido común. Al mismo tiempo, siguiendo los supuestos alternativos, uno descubre que las respuestas serán múltiples y menos claras. Esto significa que el pensamiento lógico per se no nos indicará lo que debe hacerse, porque la lógica múltiple sustentada por puntos de inicio alternativos originan diferentes discernimientos. La ciencia sólo entrega respuestas únicas cuando los científicos usan las mismas premisas. El pluralismo metodológico requiere el que se deba recurrir a medios no científicos considerando múltiples discernimientos. Este tipo de juicio se deja más bien a la toma de decisiones colectivas por parte de las comunidades directamente afectadas.

Los agroecólogos son más proclives a utilizar una perspectiva de sistemas. En efecto, algunos investigadores consideran a la agroecología simplemente como un acercamiento del ecosistema a la agricultura. Sin embargo, es importante tener en cuenta que muchos agroecólogos están interesados tanto en el sistema social como en el sistema ambiental en el cual se desenvuelve el agricultor. Por último, la interacción de los dos sistemas es lo que debe ser viable y benéfico para la gente.

Una perspectiva coevolucionista del desarrollo

El diagrama ilustrado en la Figura 2.1 es especialmente útil para entender las interacciones de los diferentes sistemas. Se plantea el desarrollo como un proceso coevolucionista entre el sistema social y el sistema ambiental. Aún más, se plantea el sistema social como si estuviera hecho de sistemas de conocimiento, valores tecnológicos y organizacionales. Cada uno de estos sistemas se relaciona con cada uno de los otros, y cada uno ejerce una presión selectiva en la evolución de los otros. Mediante la presión selectiva sobre cada uno, todos coevolucionan en conjunto. Por ejemplo, dentro del sistema de conocimiento se llevan a cabo innovaciones deliberadas, hallazgos fortuitos y casi nunca se realizan experimentos.

El hecho de que estos nuevos aportes de conocimiento comprueben que son aptos y sean conservados o no, depende de las influencias selectivas de los valores, la organización, la tecnología y el medio ambiente. Con cada sistema ejerciendo una presión selectiva sobre cada uno de los otros, todos coevolucionan para reflejarse a sí mismos. De esta manera todo se conecta, aunque todo está cambiando constantemente.

El desarrollo agrícola coevolutivo ha estado llevándose a cabo por milenios. El surgimiento del cultivo del arroz en el Sudeste Asiático es un ejemplo instructivo. La práctica extensiva de la agricultura basada en la tala y la quema se abandonó gradualmente, conforme a la investigación realizada en diques, terrazas y sistemas de suministro de agua, durante siglos. Los beneficios de la transformación ecológica hacia el cultivo de arroz se hizo presente en la forma de un mejor control de las malezas y una mayor retención de nutrientes. Sin embargo, la transformación no fue unilateral. También el sistema social evolucionó para mantener la transformación ambiental. Los mecanismos sociales que reforzaban el comportamiento individual en el que se basaba la transformación ambiental, evolucionaron selectivamente. En resumen, el mantenimiento y la continuación de la transformación ambiental fueron sustentadas por complejas organizaciones sociales para el control de las aguas, derechos a la tierra e intercambios de mano de obra; los sistemas sociales y ambientales coevolucionaron conjuntamente, cada uno reflejando al otro. De igual manera se seleccionaron nuevas tecnologías, nuevos valores y nuevas formas de conocimiento

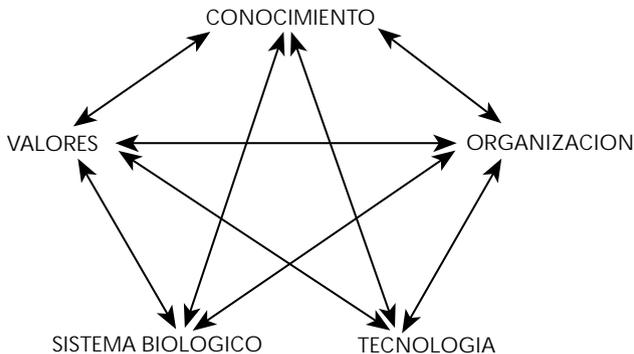


FIGURA 2.1 La coevolución del conocimiento, los valores, la organización social, la tecnología y los sistemas biológicos.

a la luz de la coevolución entre organizaciones ambientales y sociales. Los sistemas de explotación agrícola desde la tala, tumba y quema en los bosques tropicales hasta los sistemas modernos de energía intensiva en las regiones templadas, pueden entenderse como sistemas coevolucionados.

La perspectiva coevolucionista pone en relieve que los sistemas agrícolas se deben considerar como sistemas integrales. Enfatiza también que los sistemas agrícolas tradicionales no son estáticos. Ellos han estado evolucionando por milenios y a veces incluso han mejorado. La perspectiva coevolucionista pone a las personas y a su forma de pensar dentro del proceso. Demuestra, por ejemplo, cómo los agroecosistemas modernos reflejan las premisas científicas convencionales. Las plagas de la agricultura moderna han coevolucionado con los plaguicidas, que han sido aplicados bajo la premisa de que las plagas podían combatirse individualmente aparte del sistema, como un todo.

Una de las características más importantes de la perspectiva coevolucionista es que otorga legitimidad al conocimiento cultural y experimental de los agricultores. Sus formas de razonamiento pueden no traducirse como formas de razonamiento científico, pero el «cómo y qué» entendido por ellos ha probado ser apto para su sistema y puede usarse para comprender ese sistema. Con una perspectiva coevolucionista en mente, los agroecólogos pueden superar el vago adoctrinamiento que recibieron como estudiantes sobre la superioridad de la ciencia convencional, pueden sentir verdadero respeto por la sabiduría de los agricultores, combinando sus conocimientos con nuevas formas de conocimiento y trabajar juntos eficazmente. La perspectiva entrega una fuerte base filosófica para las investigaciones participativas y para la incorporación de agricultores en el proceso de investigación, técnica que los agroecólogos utilizan cada vez más.

Mientras los agrónomos convencionales han tratado de diseñar sistemas agrícolas más completos, la perspectiva coevolucionista acentúa que la adopción de tecnologías agrícolas es un problema selectivo de adaptación a otros sistemas. Se pueden diseñar mejores tecnologías agrícolas si se está atento sobre cómo éstas podrían interactuar con otros sistemas, pero las complejidades de tales interacciones sugieren que los científicos ser debieran considerar como experimentadores que podrían influenciar y acelerar el proceso coevolucionista introduciendo múltiples mutaciones, de las cuales sólo algunas probarán ser idóneas. En un mundo coevolutivo, los improvisadores son más eficientes que los grandes diseñadores. Los sistemas sociales y ambientales coevolucionan constantemente, pero el rumbo del cambio coevolucionista no siempre puede ser benéfico para la gente o el ambiente de la gente en el futuro.

Los patrones coevolutivos pueden cambiar significativamente, por ejemplo, a través de:

1. Un cambio exógeno en el ecosistema.
2. Nuevo conocimiento sobre cómo interactuar con un ecosistema.
3. Un subsidio desde (o la transferencia a) otra región.
4. Una redistribución del poder en el sistema social.

La perspectiva coevolucionista no nos da ciertamente la ilusión de que tenemos el poder de diseñar nuestro futuro. Sin embargo, somos parte del proceso. Esto indica que al estar alerta respecto del proceso de cambio, podemos intervenir más efectivamente en él, facilitando cambios coevolucionistas que favorecen a la gente y la sustentabilidad ambiental.

Interpretación coevolucionista del desarrollo agrícola convencional en América Latina

La modernización agrícola en América Latina a través de tecnologías convencionales, trajo consigo incrementos en la productividad agrícola y utilidades en divisas. Aquellos productores cuyas tierras y posición socioeconómica eran compatibles con las tecnologías agrícolas convencionales se han integrado totalmente a la economía de mercado. Pero la modernización también ha sido cultural, ecológica y socialmente un proceso disociador. En nombre del progreso los agroecosistemas se han transformado, se han distorsionado las culturas tradicionales y se han cambiado fundamentalmente las estructuras sociales. Los campesinos sin un acceso suficiente a la tierra y a otros recursos productivos, no encajaron dentro de las condiciones ecológicas y socioeconómicas de la agricultura convencional y permanecieron fuera de la dinámica del desarrollo rural. El número de campesinos en América Latina, se incrementó en un 43,6% entre 1950 y 1980 (de Janvry et al. 1989). Cerca de 1980, aproximadamente el 22,5% de la población latinoamericana pertenecía a los pobres rurales. Esto correspondía porcentualmente a que dos tercios de la población rural se encontraba en la pobreza en todo el continente y hasta un 85% en algunos países (FAO 1988). Alrededor del 40% de la población rural ni siquiera era capaz de cubrir sus necesidades básicas de alimentación.

El sector alimentario de América Latina se ha vuelto sumamente dependiente de las importaciones de productos agrícolas, insumos y maquinaria para el procesamiento de los alimentos (de Janvry et al. 1988, FAO 1988, Redclift y Goodman 1991). La mayoría de los países, incluso aquellos que poseen buenas condiciones geográficas y climáticas para la agricultura, tales como México (Toledo 1985, Calva 1991), tienen que importar parte de sus requerimientos alimenticios, como cereales y otros alimentos básicos. La distribución de alimentos ha sido bastante dispareja, como lo indica la alta incidencia de desnutrición de hasta un 40% de la población en los casos de Perú, Honduras y Guatemala. La inestabilidad en la producción y en el consumo alimenticio ha aumentado en los últimos años. Aunque la cantidad de campesinos ha aumentado en toda América Latina, su participación en la producción agrícola total ha ido decreciendo. Se estima que todavía el 41% de todos los productos se originan en familias campesinas y explotaciones agrícolas.

La modernización también ha acarreado un daño ambiental masivo (FAO 1988, LACDE 1990). La colonización, extracción y actividades de producción agrícola han creado perturbaciones y transformaciones masivas, especialmente en bosques tropicales. La sobreexplotación de recursos naturales debido a la pobreza, el abandono de las prácticas agrícolas tradicionales y la transformación masiva del medio ambiente en las áreas de colonización reciente, ha provocado erosión, pérdida en la fertilidad del suelo y sedimentación aguas abajo. Se han erosionado los recursos genéticos, comprometiendo: (1) los cultivos primitivos y especies de animales adaptadas, los que evolucionaron durante siglos como parte de culturas tradicionales; (2) las plantas silvestres y las especies de animales no manipuladas; (3) progenitores silvestres y miembros de familias de plantas domésticas que se usan actualmente. Se han sobreutilizado y/o utilizado inadecuadamente fertilizantes, insecticidas y herbicidas, ejerciendo efectos directos en la salud del hombre por la toxicidad y consecuencias más indirectas por el daño ecológico. En muchos casos, la destrucción ambiental y la pobreza rural están estrechamente ligadas como un proceso de dos vías; por una parte, los pobres están forzados a sobreexplotar sus recursos básicos debido a la presión económica. Por la otra, los campesinos que son

empujados a vivir en ambientes marginales están reprimidos por la productividad limitada de sus recursos básicos.

La modernización no ha alcanzado a los campesinos de escasos recursos en América Latina. Ha aumentado la productividad agrícola y la producción total, pero también ha traído consecuencias ambientales y sociales significativas en muchas regiones. La modernización no ha tenido éxito en el mejoramiento de la agricultura campesina, puesto que ha dependido de tecnologías que desplazan la naturaleza y aumentan las distancias entre los procesos sociales y ecológicos.

Las prácticas agrícolas convencionales desplazan a la naturaleza. La conservación necesita un cambio desde el ecosistema hacia el sistema social. Sustitutos de fertilizantes producidos industrialmente para las relaciones entre las plantas y las bacterias que fijan el nitrógeno, saturan a los agroecosistemas en vez de trabajar con ellos. Plaguicidas e insecticidas reemplazan los mecanismos de equilibrio natural, ejercido por depredadores y parásitos. Las medidas institucionales cada vez más complejas, por ejemplo, seguros y mercado a futuro, reemplazan métodos de control de riesgos que poseen una base ecológica.

La importancia relativa de las características del agroecosistema varía desde sistemas agrícolas, que tienden a ser productivos y estables y aún conservan un alto grado de sustentabilidad, hasta los sistemas de explotación agrícola caracterizados por alta productividad, pero con baja sustentabilidad y estabilidad. La investigación agrícola en América Latina se ha concentrado en la agricultura de zonas templadas en tierras planas, con suelos caracterizados por su alta capacidad de tampón (*buffering*) (de Janvry y Dethier 1985, Freire de Souza et al. 1985, Piñeiro y Trigo 1983). Se han producido paquetes tecnológicos simples adecuados sólo para ambientes uniformes, organizados de acuerdo a cultivos y componentes agrícolas específicos, ignorando o trabajando contra los procesos ecológicos.

Las prácticas agrícolas modernas también aumentan las distancias entre los procesos sociales y ecológicos. El desarrollo agrícola convencional ha transformado los lazos entre productores y consumidores, proyectistas y beneficiarios, investigadores y los que practican la agricultura con lazos más indirectos y más distantes, proceso que se puede entender como «distanciamiento». Las decisiones agrícolas modernas están basadas en señales transmitidas a través de los mercados de capitales y productos. Los aumentos de la producción están respaldados por subsidios desde regiones lejanas, la mayoría de las veces a través de hidrocarburos fósiles. El manejo del riesgo se traslada desde los productores individuales a los comerciantes en los mercados regionales y mundiales, reduciendo el riesgo total a los consumidores, pero aumentando la vulnerabilidad de los productos individuales. Las tecnologías modernas convencionales son muy intensivas científicamente hablando, y el conocimiento agrícola es generado por expertos especializados, que dirigen investigaciones de experimentos controlados en laboratorios y en estaciones experimentales. La centralización de las investigaciones en centros de investigación nacionales e internacionales ha ignorado la diversidad de los medios ambientes locales. También ha hecho que la programación de la investigación sea muy susceptible a las presiones políticas externas, en vez de incorporar mecanismos de retroalimentación de los extensionistas y agricultores en los procesos de investigación (Piñeiro y Trigo 1983, de Janvry y Deither 1985).

Los esfuerzos de desarrollo rural y agrícola se han planificado en centros urbanos. Recientemente los programas de desarrollo rural dirigidos desde el exterior tomaron

la forma de programas de desarrollo rural integrado (DRI). Los programas DRI fueron motivados por la aparente falla de los esfuerzos previos de desarrollo para atacar los problemas de pobreza rural, que actúan en forma aislada de sus contextos sociales (Lacroix 1985, FAO 1988, Martínez 1990). La complejidad institucional y los costos para facilitar el desarrollo rural aumentó. Sin embargo, los programas DRI no pudieron superar las deficiencias de los esfuerzos de desarrollo que son guiados por fuerzas distantes. Las agencias no lograron implementar los planes centralmente concebidos y fueron incapaces de llegar hasta los miembros más pobres de la sociedad. La concentración en los componentes técnicos los condujo a descuidar el componente humano del desarrollo. Carecieron también de una perspectiva a largo plazo en el desarrollo de actividades para solucionar problemas y fueron ineficaces en la creación de la capacidad para resolver problemas entre los pobres de las áreas rurales.

En resumen, la agricultura moderna incrementa el distanciamiento entre los productores y consumidores, proyectistas y beneficiarios, investigadores y los que practican la agricultura. Las prácticas agrícolas desplazan los procesos en el sistema ecológico en vez de trabajar con ellos. Así, el sistema social debe invertir y mantener mecanismos institucionales mundiales cada vez más complejos para regular sus interacciones con el sistema ecológico. Bajo la presión selectiva de las prácticas agrícolas modernas convencionales, los agroecosistemas y las estrategias agrícolas que eran únicas a ciertas culturas y ecosistemas, se homogeneizaron en el proceso de globalización. Esta senda de desarrollo ha probado ser exitosa en países industrializados y para agricultores del tercer mundo de zonas templadas ricas en recursos. La modernización de la agricultura mediante tecnologías convencionales no ha promovido, sin embargo, el desarrollo para la mayoría de los agricultores de América Latina.

Las condiciones para el desarrollo rural en los años 90

Los pobres de las áreas rurales de América Latina viven en circunstancias muy heterogéneas. Los ambientes ecológicos locales se extienden en casi todas las 103 zonas de vida, identificadas por Holdridge (FAO 1988). La población indígena conformada por cientos de grupos étnicos, constituye una gran parte de los campesinos en muchos países. Además, la modernización influyó de diferentes maneras en los medios de vida rurales, transformando y diferenciando el sector campesino tradicional.

Los medios ambientes locales en América Latina muestran variaciones significativas (Tabla 2.2). Cada ambiente impone diferentes limitaciones a la producción y brinda distintas oportunidades para que los agricultores locales exploten la fertilidad natural. En la mayoría de los países las tierras sin mayores restricciones para la agricultura moderna, aquellas tierras que tienen un período de crecimiento de más de 9 meses y no tienen limitaciones físicas o de fertilidad, son escasas. Los rurales pobres a menudo son empujados hacia tierras marginales y frágiles, tales como laderas empinadas (de Janvry y García 1988, FAO 1988). Las tierras marginales son tierras que tienen restricciones ambientales considerables y/o baja productividad si son manejadas con prácticas agrícolas convencionales (Denevan y Padoch 1987). Las tierras frágiles, son tierras que sufren un deterioro significativo si no son cultivadas siguiendo principios apropiados.

La diversidad en oportunidades y restricciones ecológicas para el desarrollo se ha traducido en sistemas variados y diferenciados del uso de recursos embebidos por diversas culturas. Existen más de 460 grupos étnicos en América Latina (FAO 1988).

Bolivia (95%), Perú (73,1%), Guatemala (81,3%), Ecuador (58,4%) y México (36%) que muestran una alta presencia de grupos indígenas en las áreas rurales.

Numerosos estudios de casos hechos por investigadores occidentales han recopilado los complejos sistemas indígenas de manejo de laderas, suelo, plagas, vegetación, con los cuales los agricultores tradicionales han hecho un uso efectivo y eficaz de los ecosistemas locales heterogéneos (Altieri y Hecht 1989, Browder 1989, Gliessman 1990). Sus testimonios demuestran la habilidad única de muchos grupos indígenas para diseñar estrategias sustentables de sobrevivencia en ambientes complejos en un juicio de 100 años largos y lleno de errores.

Puesto que los sistemas agrícolas tradicionales están fuertemente entrelazados con la organización social, los valores, el medio ambiente y la tecnología, las presiones sobre esos componentes presentan una grave amenaza a la sobrevivencia de las poblaciones indígenas y sus estrategias agrícolas.

La modernización ha aumentado las diferencias entre las personas, dando por resultado un aumento en la heterogeneidad en las estrategias campesinas de subsistencia. La tierra y otros insumos productivos han sido distribuidos en forma dispareja y los grados de integración al mercado y la disponibilidad de empleos fuera de la explotación agrícola varía a través de las regiones (de Janvry et al. 1988, FAO 1988, Gutman 1988). Se pueden identificar dos grupos principales entre los pobres rurales de acuerdo a su acceso a la tierra (FAO 1988): (1) pequeños agricultores, «minifundistas», que manejan propiedades basándose en el trabajo familiar y sólo ocasionalmente buscan oportunidades de empleo fuera de su propio campo. Los minifundios constituyen la mitad de los campos en la agricultura latinoamericana y un 42% de la población rural como promedio; (2) los trabajadores sin tierra tienen acceso limitado o ninguno a la tierra y obtienen sus ingresos de otras fuentes que no son sus propios terrenos. El número de campesinos sin tierra está aumentando constantemente (de Janvry et al. 1989). Adicionalmente, las diferencias de edad y sexo dificultan aún más las estrategias de sobrevivencia hogareña. En años recientes se ha incrementado considerablemente la participación de la mujer en la población rural económicamente activa (FAO 1988). Entre un 15% y un 30% de los hogares rurales tienen como jefe de familia a la mujer. La edad es importante puesto que hombres y mujeres jóvenes entre los 15 y 24 años, con frecuencia no encuentran oportunidades de trabajo en las áreas rurales.

La diversidad ecológica, cultural y socioeconómica se refleja en las diversas estrategias de sobrevivencia empleadas por los rurales pobres. Para acomodar esta heterogeneidad, cualquier enfoque al desarrollo rural en Latinoamérica necesita integrar estrategias tecnológicas y organizaciones flexibles para satisfacer la necesidad de los pobres en las áreas rurales. No es tan sólo el que el campesino latinoamericano sea heterogéneo, también ha sido marginado por la modernización.

Los campesinos sufren de marginalización económica, política, cultural y ecológica. Las políticas, precios y servicios agrícolas gubernamentales, favorecen a los productores mayoristas. Los intereses campesinos no están adecuadamente representados en el proceso político. Las barreras lingüísticas y étnicas impiden el acceso de la población indígena al sistema social, que es dominado por la cultura mestiza. Los pequeños agricultores han sido conducidos gradualmente a tierras frágiles con grandes limitaciones para la producción agrícola.

Las permanentes inclinaciones socioeconómicas e institucionales contra los pobres rurales, certifican su marginalización política y económica durante las últimas

TABLA 2.2 Principales ambientes agrícolas y factores de stress ecológico.

Medio Ambiente Agrícola	Proporción de la Tierra	Principales Factores de Stress Ecológico
Zona tropical húmeda	34.4%	Suelos frecuentemente ácidos de baja fertilidad; alta incidencia de plagas y enfermedades en las plantas.
Zona tropical húmeda y subtropical con suelos ácidos	10.8%	Baja fertilidad de suelo, baja retención de nutrientes en el suelo.
Zona tropical semiárida y subtropical	13.9%	Escasez de agua; períodos secos variable.
Tierras húmedas, pantanosas	11.5%	Drenaje deficiente.
Tierras en laderas	18.4%	Problemas de erosión, precipitación, temperatura y fertilidad de los suelos.
Tierras sin mayores limitaciones	3.4%	

Fuente: FAO (1988)

décadas (de Janvry et al. 1988, FAO 1988). En los años sesenta y setenta durante la industrialización, se llevaron a cabo políticas de «comida barata» para subsidiar el desarrollo proveniente de la ciudad. La población rural sirvió principalmente como una gran reserva de mano de obra para el desarrollo industrial con base en la ciudad. Las políticas que apuntaban al incremento de la producción de productos agrícolas se inclinaron hacia los hacendados agrícolas medianos y grandes. Durante los años 80, las tendencias al incremento en la concentración de tierras y en la disminución del tamaño promedio de las pequeñas explotaciones agrícolas, ha prevalecido. El acceso diferenciado a los créditos, subsidios de producción y consumo, precios garantizados, sistemas de otorgamiento de insumos y bienes públicos cedidos por el gobierno (infraestructura, irrigación, etc.), ha intensificado la dicotomía existente en la estructura agraria. A finales de los años 80, los minifundios ocuparon sólo el 3% del total de la tierra agrícola, aunque abarcaban la mitad de las unidades productivas en la agricultura latinoamericana y el 42% de la población rural. En el desarrollo latinoamericano, el campesinado ha funcionado esencialmente como un «gran sector de refugiados que destaca las fallas en el desarrollo del resto de la economía» (de Janvry et al. 1989).

En América Latina, como en otras partes del mundo, la modernización ha estado asociada con industrias y centros urbanos y con una falta de desarrollo de la sociedad agraria rural, particularmente de las poblaciones indígenas. Las instituciones legales nacionales han sido un mecanismo de marginalización extremadamente eficaz al reforzar el predominio de las normas e intereses urbanos (FAO 1988). La población indígena sufre de una doble discriminación como pobres de áreas rurales y como una cultura apartada de la cultura predominante. La barrera más visible para la integración es la del lenguaje. El conocimiento del pueblo indígena no se ha reconocido como válido por el paradigma científico occidental predominante. En las regiones donde están concentrados los grupos indígenas prevalecen altas tasas de pobreza y alarmantes indicadores de bajos estándares de vida (FAO 1988). El establecimiento

y la imposición de áreas reservadas aún se ven como la mejor manera para resguardar las culturas indígenas y sus agroecosistemas de las fuerzas destructivas de la sociedad moderna, en la que no hay espacio para ellos (LACDE 1990).

La marginalización económica, política y cultural va a menudo de la mano de la marginalización ecológica de los rurales pobres que son erradicados a tierras frágiles marginales (FAO 1988, de Janvry y García 1988). Para esas personas, la pobreza y la degradación ambiental, se fomentan la una a la otra en un proceso de retroalimentación. En muchas áreas, los agricultores de pocos recursos abandonan sus prácticas sustentables, empujados por la comercialización de la producción agrícola y el dominio de técnicas agrícolas modernas. Pierden el conocimiento y la base de los recursos que sustentó la producción agrícola por siglos. Con frecuencia, los pobres son erradicados a áreas que ecológicamente son inservibles para el cultivo o que son extremadamente frágiles, tales como zonas áridas o regiones con tierras de laderas escarpadas. Debido a la presión económica para sobreutilizar la base de los recursos, estos campesinos caen en un círculo vicioso de daño ecológico del medio ambiente que los mantiene. Mientras actúan racionalmente en relación a los cambios en su condición socioeconómica y/o física, sus acciones inhiben su propia reproducción en el largo plazo.

La marginalización resalta dos aspectos importantes del sector rural en América Latina. En primer lugar, los campesinos son agricultores de pocos recursos no sólo en un sentido ecológico, sino que también socioeconómico; sus condiciones de vida están sustentadas por algunos recursos económicos, políticos y culturales. Los estabilizadores ecológicos o socioeconómicos que protegen las condiciones de vida campesina de las perturbaciones provocadas por los cambios en su ambiente ecológico y social, son débiles. En segundo lugar, las fuerzas distantes y externas impactan fuertemente y deforman la coevolución local entre el ecosistema y el sistema social, puesto que los campesinos están excluidos de una verdadera participación en los procesos económicos, sociales y culturales que los afectan.

La aparición de las ONGs agroecológicas

Las deficiencias de las estrategias de desarrollo agrícola convencional requieren de un enfoque más amplio hacia el desarrollo rural. En América Latina, las ONGs agroecológicas se han desarrollado centrándose alrededor de un entendimiento agroecológico de los sistemas agrícolas (Tabla 2.3). Aunque muchos proyectos carecen de evaluaciones oficiales, existen sólidas pruebas de que las ONGs han producido y adaptado innovaciones tecnológicas que contribuyen significativamente a mejorar las condiciones de vida de los campesinos (Altieri 1992, Thiele et al. 1993, Bebbington y Thiele 1993). Las innovaciones tecnológicas de las ONGs a menudo han sido restringidas por la carencia de técnicos expertos, forzándolas a buscar la ayuda de otras ONGs, organismos del sector público o manifestándose como deficiencias en los proyectos. Aún así los proyectos agroecológicos han incrementado la seguridad alimenticia de los campesinos, han reforzado la producción de subsistencia, han generado recursos de ingreso y han mejorado la base de los recursos naturales. Ellas han logrado estos éxitos con la ayuda de estructuras institucionales innovadoras y de metodologías novedosas para trabajar con comunidades rurales.

Las ONGs agroecológicas han desarrollado un método para la generación y divulgación de la tecnología, que genera nuevos conocimientos y ayuda a adaptar la información técnica a las estrategias de subsistencia campesina. Los objetivos de las ONGs en los programas de investigación y desarrollo, incluyen:

1. El mejoramiento de la producción de alimentos básicos.
2. El uso eficiente de recursos locales y la reducción de insumos externos.
3. El rescate y la reevaluación de sistemas agrícolas indígenas.
4. El incremento de la diversidad de cultivos y animales.
5. El mejoramiento de la base de los recursos naturales (Altieri y Yurjevic 1991).

Las ONGs siguen generalmente un planteamiento integral que combina el desarrollo y la divulgación tecnológica, con otras actividades que apuntan a atacar otros factores que restringen el desarrollo de las condiciones de vida de los campesinos. Por ejemplo, algunas dan créditos, tratan de fortalecer las capacidades organizativas de los campesinos, exploran las oportunidades de mercado y entregan servicios de salud preventiva.

TABLA 2.3 Cuatro ejemplos de actividades agroecológicas de ONGs en América Latina.

Preservación de sistemas tradicionales de producción de algodón en Brasil: El Centro Brasileño de Tecnologías Alternativas de Ouricouri (CTAO), comenzó por identificar un sistema de explotación de algodón que probó ser adaptable para reducir los niveles de una plaga de insectos sin el uso de plaguicidas. CTAO ha determinado las razones de esta adaptabilidad encuestando a 73 agricultores y actualmente está desarrollando sistemas agrícolas de bajos insumos, basado en principios de control biológico para zonas con altos niveles de daño económico causado por la incidencia de insectos. Veinte agricultores colaboran como co-investigadores en experimentos de campo (AS-PTA/CTAO 1992).

Producción de hortalizas en el Altiplano Boliviano: El Centro de Servicios Múltiples de Tecnologías Apropriadas (SEMATA), promueve la producción de hortalizas en pequeña escala en invernaderos artesanales. El sistema fue desarrollado por SEMATA, para manejar el cultivo de hortalizas frente a las duras restricciones ambientales en el altiplano (bajas temperaturas, estaciones con escasez de agua, suelos de baja fertilidad). Sólo utilizando recursos disponibles localmente, ellos logran cultivar hortalizas durante todo el año. Las estrategias de divulgación del SEMATA se basan en centros comunitarios que sirven para fines de entrenamiento, demostración e investigación (SEMATA 1992).

Programas orientados al consumo para los campesinos sin tierra: El Centro de Educación y Tecnología (CET) de Chile, desarrolló técnicas de huertos para la población rural y semirrural con sólo pequeñas porciones de tierra cerca de sus casas para reducir los gastos de alimentación y mejorar sus estándares de vida. El CET comenzó con el mejoramiento de las dietas locales mediante jardinería orgánica, secadores solares, hornos de barro, agricultura y cría de aves. Más tarde, las ONGs incluyeron otros componentes del sistema de subsistencia, tales como el mejoramiento de pozos y viviendas por medio de bombas y programas del tipo «hágalo Ud. mismo».

Creación de instituciones regionales: El Consorcio Latinoamericano de Agroecología y Desarrollo (CLADES), reúne once ONGs que aplican métodos agroecológicos en el desarrollo rural. La mayoría de las instituciones miembros apoyan un proceso de capacitación de las bases, usando conceptos y métodos de educación popular desarrollado por los mismos participantes de estas escuelas rurales. La propia estructura del CLADES refleja el carácter de base de la agroecología, enfatizando la autonomía y la competencia controlada entre sus instituciones miembro. De este modo, la red de ONGs regionales reflejan una estrategia para dimensionar los esfuerzos individuales de las ONGs, poniendo énfasis en la especificidad institucional (preparación técnica, divulgación de experiencias agroecológicas) y principios tecnológicos, en vez de paquetes tecnológicos (Altieri y Yurjevic 1989).

Desde una perspectiva institucional, las ONGs agroecológicas funcionan como instituciones intermediarias que forjan lazos entre el campesinado, por un lado, y el gobierno e instituciones donantes, por otro. Aunque algunas ONGs trabajan para desarrollar sistemas mejorados de cultivos para la producción comercial la mayoría de las ONGs entregan servicios a campesinos que subsisten pobremente, viviendo en situaciones ecológicas y socioeconómicas muy heterogéneas. Ellas han sido guiadas por un compromiso explícito de participación y fortalecimiento de los pobres en áreas rurales. Con frecuencia las ONGs concitan a la agroecología, su agenda tecnológica y a la participación, como íntimamente conectadas, lo que conduce a un proceso de desarrollo autosustentado basado en la capacidad técnica y organizativa propia de los campesinos. En su trabajo de base, ellas han experimentado con metodologías nuevas de investigación y desarrollo agrícola participativo, combinando investigaciones aplicadas en estaciones de investigación, estudios de campo y difusión tecnológica. Su proximidad a los beneficiados les ha permitido sensibilizarse ante las necesidades de los pobres de áreas rurales, contratando en forma progresiva a un gran número de profesionales universitarios. Crearon la capacidad para llevar a cabo un trabajo y/o investigación agrícola aplicado en varias regiones de sus países.

Las ONGs promueven sus programas agroecológicos de múltiples formas. Además de suministrar investigaciones agrícolas independientes y proyectos de desarrollo rural, las ONGs agroecológicas divulgan sus tecnologías a otras ONGs y organismos gubernamentales de extensión. Por ejemplo, algunas ONGs entrenan personal de organismos gubernamentales de otras ONGs y paratécnicos de comunidades rurales, los cuales no se encuentran incluidos directamente en sus programas agroecológicos de desarrollo. En algunos países, las ONGs se han convertido en instituciones bastante poderosas e intentan abogar por cambios en las políticas gubernamentales a nivel nacional, regional y local. Trabajan también para influenciar la agenda de investigación de organizaciones agrícolas de investigación nacionales e internacionales, las prioridades de financiamiento de las agencias donantes internacionales y los currículums universitarios. Para estos propósitos y para coordinar actividades de capacitación técnica e investigación, las ONGs han implementado redes nacionales, regionales e internacionales, tales como el acuerdo de Colina en Chile, la red AS-PTA en Brasil y el CLADES en toda América Latina. En respuesta a estos esfuerzos algunos agentes donantes tales como la Interamerican Foundation (EE.UU.) y el ICFID (Canadá), han reorientado sus prioridades de financiamiento hacia la agroecología. La agroecología también ha llegado hasta las universidades latinoamericanas y a los programas de investigación de los centros de investigación internacionales (Bebbington y Thiele 1993).

La Agroecología en el desarrollo coevolucionista

La heterogeneidad y marginalización de las estrategias de subsistencia de los campesinos desafía cualquier enfoque al desarrollo rural en América Latina. Las ONGs que aplican métodos agroecológicos, han respondido a este desafío con una perspectiva tecnológica que es radicalmente diferente del desarrollo agrícola convencional. Las tecnologías agroecológicas fortalecen los procesos ecológicos autóctonos en vez de pasar por encima de ellos. Las estructuras institucionales que sustentan la investigación y el desarrollo, reenlazan el sistema social al sistema ecológico para permitir la coevolución local. La agroecología inicia el desarrollo agroecológico coevolucionista mediante los siguientes procesos:

1. Conceptualizando la agricultura como un proceso que sigue principios ecológicos, provee nuevos conocimientos sobre el comportamiento y manejo de distintos agroecosistemas.

2. El poder se distribuye en el sistema social a través de las instituciones descentralizadas y de la participación popular.

La tecnología agroecológica es receptiva a la heterogeneidad de las condiciones locales para la agricultura en América Latina. Los agroecólogos buscan dirigir investigaciones sobre los principios ecológicos que gobiernan el campo agrícola. Ellos esperan que las investigaciones sirvan para entregar pautas generales, pero no recomendaciones en detalle, para el diseño y manejo de agroecosistemas. Por ejemplo, realizando estudios de casos sobre el manejo de malezas, los agroecólogos intentan determinar principios ecológicos generales que regulan la dinámica de las malezas y las interacciones de éstas en los agroecosistemas. Los hallazgos ayudan a establecer planteamientos para analizar combinaciones específicas de cultivo/maleza en agroecosistemas locales y para desarrollar directrices flexibles en el diseño de sistemas agrícolas. Los agroecólogos pueden traducir, para cada circunstancia, los principios generales que regulan la dinámica de las malezas en recomendaciones apropiadas para condiciones locales específicas. De esta forma, la investigación agroecológica es capaz de desarrollar y adaptar tecnologías a condiciones ecológicas marginales.

Los agroecólogos reemplazan el predominio de la tecnología extranjera con tecnologías que se adaptan a condiciones ecológicas locales y específicas, así como también a variaciones en el sistema social. La agricultura campesina no se transformará, pero su viabilidad bajo las condiciones políticas y socioeconómicas existentes será mejorada. Así, la agroecología reconoce la dependencia de los objetivos de producción del contexto cultural y socioeconómico específico. En el contexto de campesinos de escasos recursos, esto implica frecuentemente enfatizar la estabilidad y la sustentabilidad de la producción agrícola y la seguridad alimentaria durante todo el año, en la misma forma que se enfatiza la productividad. Los agroecólogos han demostrado la integridad de los sistemas de subsistencia de los campesinos y reconocen sus subsistemas interdependientes (campos de cultivo, huerto, preparación de alimentos, empleos fuera del campo, etc.). Los proyectos integran, frecuentemente, las diferentes etapas de la producción agrícola, apoyando, por ejemplo, a los agricultores en la compra de insumos.

Con frecuencia, los agroecólogos tratan de reducir la dependencia de los campesinos de las fuerzas externas y fortalecer los débiles factores estabilizadores que protegen a los rurales pobres de cambios perjudiciales inherentes a su medio social. El énfasis agroecológico en el uso de los recursos locales disponibles ayuda a reducir la necesidad de insumos externos controlados por fuerzas externas. Puesto que los campesinos carecen de la red de seguridad institucional para reducir al mínimo el riesgo que protege a la agricultura comercial, la reducción de éstos se convierte en el objetivo central del diseño agroecológico de un sistema de producción. Por ejemplo, a menudo los agroecólogos recomiendan reemplazar el uso de fertilizantes químicos por fertilizantes orgánicos. Lo han hecho de esta forma por los altos costos monetarios de los productos químicos para los agricultores de escasos recursos. El uso de fertilizantes orgánicos disponibles localmente, aumenta la estabilidad y las condiciones de vida de los campesinos y mejora la productividad de sus tierras en el largo plazo.

Las instituciones agroecológicas protegen los procesos locales contra las fuerzas disociadoras distantes para permitir la coevolución local entre los sistemas sociales y ecológicos. Los campesinos son incorporados al proceso de generación y divulgación de la tecnología. Generalmente las ONGs son pequeñas y entregan una considerable autonomía a las decisiones tomadas a nivel local. Aunque los agroecólogos han formado organizaciones a nivel nacional e internacional, han reconocido explícitamente la necesidad de salvaguardar la receptividad a las circunstancias locales. La cercanía a los beneficiarios, a las actitudes y a las capacidades personales, aseguran la receptividad de los agroecólogos a las necesidades locales mediante flujos de información recíproca y procesos internos de aprendizaje.

La formación de instituciones agroecológicas, acerca más a los diferentes actores que participan en la generación de tecnología y conocimientos. La integración de los procesos de investigación aplicada, ensayos adaptables, divulgación y uso de la tecnología, facilitan procesos de retroalimentación más cercanos entre las diferentes fases de desarrollo y la transferencia de tecnología. Nuevos conocimientos sobre los sistemas agrícolas e información sobre las condiciones locales específicas, se generan mediante una mayor interacción entre agricultores, investigadores y extensionistas. Los rurales pobres son reconocidos como actores racionales que han formulado estrategias de subsistencia como respuesta a las condiciones ecológicas y sociales que los rodean. Son además considerados como actores claves en la adaptación de tecnología a su situación específica y las ONGs han desarrollado metodologías que facilitan su participación en la investigación y el desarrollo.

La participación de los agricultores se ha convertido en una parte esencial de la investigación agroecológica y de los proyectos en desarrollo. La habilidad de los agricultores es un objetivo explícito en la mayoría de los proyectos. Por lo general, la tecnología agrícola potencializa a los campesinos organizando sus conocimientos agrícolas, mejorando sus habilidades técnicas y fortaleciendo su capacidad para adaptarse a nuevas tecnologías. Además, muchas ONGs hacen hincapié en las tecnologías que fortalecen la capacidad de grupo y capacitan agricultores como paratécnicos. Por ejemplo, la divulgación de las innovaciones tecnológicas, se basan generalmente en modelos de extensión de agricultor a agricultor.

No obstante, los agroecólogos utilizan dos perspectivas diferentes para la participación de los campesinos en sus proyectos (Sikor 1994). Algunas ONGs buscan que los campesinos se involucren activamente en sus proyectos, dado que la tecnología agroecológica es intensiva en cuanto a la información. Los campesinos participan de ensayos en el campo y los investigadores tienen contacto directo y frecuente con los campesinos participantes. Otras ONGs consideran el desarrollo de la capacidad de los campesinos para adaptar innovaciones tecnológicas muy importantes en la transferencia de nuevas tecnologías. Ellas trabajan principalmente a través de organizaciones locales, dándoles a los campesinos la posibilidad de influir en la distribución de recursos del proyecto. En ambos casos, las ONGs agroecológicas han conectado con éxito el sistema ecológico y social para permitir la coevolución local. La fuerza se redistribuye en el sistema social hacia el nivel local. En el primer caso, sin embargo, las ONGs agroecológicas serán indispensables para el funcionamiento a largo plazo del sistema, requiriendo acuerdos institucionales muy complejos y costosos para sustentar la agricultura campesina. En el segundo caso, las ONGs son cruciales en la creación de un ambiente positivo que permita que se lleve a cabo el fortalecimiento. A la larga, sin embargo, el poder se redistribuye entre los campesinos, forta-

leciendo su capacidad de dirigir la coevolución local entre sistemas ecológicos y sociales, de una manera tal que mantiene la retroalimentación positiva neta entre ambos sistemas a través del tiempo.

Conclusiones

Es ingenuo presumir que si algo falla en la agricultura esto se puede corregir siguiendo su curso actual en forma más rápida o perseguir en forma intensa el paradigma del desarrollo convencional. Tampoco se pueden adaptar los métodos convencionales ya existentes para solucionar los nuevos problemas. Verdaderamente la agroecología es un enfoque diferente al desarrollo agrícola, puesto que está basada en premisas filosóficas más amplias que la agricultura convencional. No rechaza las actuales premisas dominantes, pero sí las modera con formas adicionales de comprender la explotación agrícola e implementando cambios rurales. Más aún, el ser metodológicamente pluralista confronta el hecho de que la lógica múltiple entrega más respuestas y que los juicios experimentales, como la toma de decisiones comunitarias, son necesarios para determinar qué cambios deben introducirse.

Se ha argumentado que un paradigma coevolucionista de desarrollo puede complementar el enfoque agroecológico. Por supuesto otros paradigmas también entregarán discernimientos útiles. No obstante, la fortaleza de los paradigmas coevolucionistas parece identificar alguna de las diferencias claves entre la agroecología y la agricultura convencional. El paradigma ilustra muy fácilmente la manera en que están entrelazados los sistemas ambiental y social, cada uno reflejando al otro, aún más, cada uno cambia en su respuesta al otro. Esto nos ayuda a entender porqué los cambios sociales y ambientales deben producirse al unísono. Demuestra fácilmente porqué los agroecólogos prefieren readaptar los sistemas agrícolas existentes en vez de volver a diseñar radicalmente la agricultura. Más aún, la perspectiva coevolucionista da legitimidad al conocimiento de los agricultores y ayuda a explicar el porqué deben incluirse en los cambios propuestos para ayudarlos.

Las tecnologías e instituciones que utilizan un enfoque agroecológico poseen un potencial significativo para resolver los problemas de la pobreza rural, inseguridad alimentaria y deterioro ambiental. Mientras gran parte del éxito de la agroecología ha ocurrido en los países en desarrollo, muchos de los mismos problemas ocurren en los países desarrollados, donde un enfoque agroecológico también debiera sustentar comunidades rurales.

Las ONGs Latinoamericanas aplicando métodos agroecológicos, han desarrollado un nuevo enfoque para la generación de tecnologías al desarrollo rural, facilitando el desarrollo coevolucionista. Las ONGs han actuado dentro de directrices políticas y socioeconómicas dadas, caracterizadas por la superioridad política de los grupos sociales urbanos, la fuerte dependencia de la región con la producción industrial, la ausencia de una distribución eficaz de tierras, los subsidios para los insumos agrícolas basados en combustibles fósiles y por el acceso limitado de los campesinos a los recursos políticos y económicos. Bajo estas condiciones, las técnicas de bajos insumos externos han probado ser en muchas circunstancias económicas, sociales, culturales y ecológicas, más apropiadas para aquellos agricultores que no han sido beneficiados por la agricultura convencional. Más aún, el enfoque agroecológico podría reemplazar parcial o totalmente a la agricultura convencional, dadas sus ventajas culturales y ecológicas.

El Agroecosistema: determinantes, recursos, procesos y sustentabilidad

Los términos agroecosistema, sistema agrícola y sistema agrario han sido utilizados para describir las actividades agrícolas realizadas por grupos de gente. Sistema de alimentación, en cambio, es un término más amplio que incluye producción agrícola, distribución de recursos, procesamiento y comercialización de productos dentro de una región y/o país agrícola (Krantz 1974). Obviamente, un agroecosistema se puede definir de muchas maneras, pero este libro se centra fundamentalmente en los sistemas agrícolas dentro de pequeñas unidades geográficas. De este modo, el énfasis está en las interacciones entre la gente y los recursos de producción de alimentos al interior de un predio o incluso un área específica. Resulta difícil delinear los límites exactos de un agroecosistema. Sin embargo, debería tenerse en mente que los agroecosistemas son sistemas abiertos que reciben insumos del exterior, dando como resultado productos que pueden ingresar en sistemas externos (Figura 3.1).

Una de las contribuciones importantes de la agroecología es llegar a algunos principios básicos relacionados con la estructura y función de los agroecosistemas:

1. El agroecosistema es la unidad ecológica principal. Contiene componentes abióticos y bióticos que son interdependientes e interactivos, y por intermedio de los cuales se procesan los nutrientes y el flujo de energía.

2. La función de los agroecosistemas se relaciona con el flujo de energía y con el ciclaje de los materiales a través de los componentes estructurales del ecosistema el cual se modifica mediante el manejo del nivel de insumos. El flujo de energía se refiere a la fijación inicial de la misma en el agroecosistema por fotosíntesis, su transferencia a través del sistema a lo largo de una cadena trófica y su dispersión final por respiración. El ciclaje biológico se refiere a la circulación continua de elementos desde una forma inorgánica (geo) a una orgánica (bio) y viceversa.

3. La cantidad total de energía que fluye a través de un agroecosistema depende de la cantidad fijada por las plantas o productores y los insumos provistos mediante su administración. A medida que la energía se transfiere de un nivel trófico a otro se pierde una cantidad considerable para la futura transferencia. Esto limita el número y cantidad de organismos que pueden mantenerse en cada nivel trófico.

4. El volumen total de materia viva puede ser expresado en términos de su biomasa. La cantidad, distribución y composición de biomasa varía con el tipo de organismo, el ambiente físico, el estado de desarrollo del ecosistema y de las actividades humanas. Una gran proporción del componente orgánico en el ecosistema esta compuesto de materia orgánica muerta (DOM), en el cual la mayor proporción esta compuesta de material de las plantas.

5. Los agroecosistemas tienden hacia la maduración. Estos pueden pasar de formas menos complejas a estados más complejos. Este cambio direccional es sin embargo

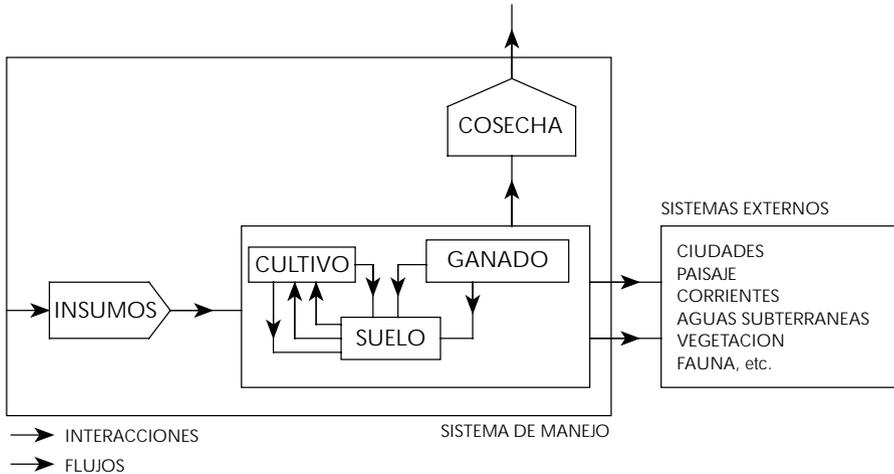


FIGURA 3.1. Estructura general de un sistema agrícola y su relación con los sistemas externos (según Briggs y Courtney 1985).

inhibido en la agricultura moderna al mantener monocultivos caracterizados por la baja diversidad y la baja maduración.

6. La principal unidad funcional del agroecosistema es la población del cultivo. Esta ocupa un nicho en el sistema, el cual juega un rol particular en el flujo de la energía y en el ciclaje de nutrientes, aunque la biodiversidad asociada también juega un rol funcional clave en el agroecosistema.

7. Un nicho dentro de un agroecosistema dado no puede ser ocupado simultánea e indefinidamente por una población autosuficiente de más de una especie.

8. Cuando una población alcanza los límites impuestos por el ecosistema, su número debe estabilizarse o, si esto no ocurre, debe declinar (a menudo bruscamente) debido a enfermedades, depredación, competencia, poca reproducción, etc.

9. Los cambios y las fluctuaciones en el ambiente (explotación, alteración y competencia) representan presiones selectivas sobre la población.

10. La diversidad de las especies está relacionada con el ambiente físico. Un ambiente con una estructura vertical más compleja alberga en general más especies que uno con una estructura más simple. Así, un sistema silvicultural contendrá más especies que en un sistema basado en el cultivo de cereales. De manera similar, un ambiente benigno y predecible, alberga más especies que en un ambiente más impredecible y severo. Los agroecosistemas tropicales muestran una mayor diversidad que los templados.

11. En situaciones de cultivos que están aislados, las tasas de inmigración se tienden a equilibrar con las tasas de extinción. Mientras más cerca esté el cultivo isla a una fuente de población, mayor será la tasa de inmigración por unidad de tiempo. Mientras más grande sea el cultivo isla, mayor será su capacidad de carga para cada especie. En cualquier situación isla, la inmigración de las especies declina a medida que más especies se establecen y menos inmigrantes representan nuevas especies.

Clasificación de los agroecosistemas

Cada región tiene una configuración única de agroecosistemas que son el resultado de las variaciones locales en el clima, el suelo, las relaciones económicas, la estructura social y la historia (Tabla 3.1). De esta manera, un estudio acerca de los agroecosistemas de una región está destinado a producir tanto agriculturas comerciales como de subsistencia, utilizando niveles altos o bajos de tecnología, dependiendo de la disponibilidad de tierra, capital y mano de obra. Algunas tecnologías en los sistemas más modernos aspiran a la preservación de recursos (dependiendo de insumos bioquímicos), mientras que otras hacen hincapié en el ahorro de mano de obra (insumos mecánicos). Los agricultores tradicionales, pobres en recursos generalmente adoptan sistemas más intensivos, y hacen hincapié en el uso óptimo y reciclaje de los recursos escasos.

A pesar de que cada finca es distinta, muchas muestran una similitud familiar y de este modo se pueden agrupar como un tipo de agricultura o agroecosistema. Una zona con tipos de agroecosistemas similares se puede denominar como una región agrícola. Whittlesay (1936) reconoció cinco criterios para clasificar a los agroecosistemas de una región: (1) la asociación de cultivos y ganado; (2) los métodos para producir los cultivos y el ganado; (3) la intensidad en el uso de la mano de obra, capital, organización y la producción resultante; (4) la distribución de los productos para el consumo (ya sea que se utilicen para la subsistencia en la finca o para la venta) y (5) el conjunto de estructuras usadas para la casa y facilitar las operaciones de la finca.

Basados en estos criterios, en ambientes tropicales es posible reconocer siete tipos específicos de sistemas agrícolas (Grigg 1974, Norman 1979):

1. Sistemas de cultivo itinerante.
2. Sistemas semi-permanente de cultivo de secano.
3. Sistemas permanente de cultivo de secano.
4. Sistemas arables bajo riego.

Tabla 3.1 Determinantes del agroecosistema que influyen el tipo de agricultura de cada región.

TIPO DE DETERMINANTES

Factores Físicos

- Radiación
- Temperatura
- Lluvia, suministro de agua (humedad, presión)

Condiciones del suelo

- Declive
- Disponibilidad de tierra

Biológicos

- Plagas de insectos y enemigos naturales
- Comunidades de malezas
- Enfermedades de plantas y animales
- Biota del suelo
- Entorno de vegetación natural
- Eficiencia de fotosíntesis

Modelos de cultivos

- Rotación de cultivos

Socioeconómicos

- Densidad de población
- Organización social
- Economía (precios, mercados, capital y disponibilidad de crédito)
- Asesoría técnica
- Herramientas de cultivo
- Grado de comercialización
- Disponibilidad de mano de obra

Culturales

- Conocimiento tradicional
 - Creencias
 - Ideología
 - División sexual del trabajo
 - Hechos históricos
-

5. Sistemas de cultivos perennes.
6. Sistemas con ganado-cultivo (alternando cultivos arables con sembrado de pasturas).

Claramente estos sistemas están siempre cambiando, forzados por la población itinerante, la disponibilidad de recursos, la degradación ambiental, el crecimiento económico o decaimiento, cambio político, etc. Estos cambios pueden ser explicados por las respuestas de los agricultores a las variaciones en el ambiente físico, precios de los insumos y productos, innovación tecnológica y crecimiento poblacional. Por ejemplo la Tabla 3.2 ilustra algunos de los factores que influyen el cambio del sistema de cultivo itinerante a sistemas permanentes más intensivos de agricultura en Africa (Protheroe 1972).

Agroecosistemas y conceptos ecológicos del paisaje

Debido a la importancia del enfoque regional para el proceso de planificación en el diseño del paisaje, los principios ecológicos paisajistas se están aplicando en forma creciente a muchas obras de planificación agrícola a fin de mejorar la ecología y el paisaje, la dispersión de especies a lo largo de éste, la coordinación de la conservación natural y la administración agrícola (Bunce et al. 1993).

Los siguientes conceptos de ecología del paisaje tienen mucha importancia para el diseño y la administración de los agroecosistemas:

Jerarquía en los paisajes. Los paisajes funcionan a diferentes niveles involucrando a distintos elementos en forma de complejos. Por una parte, se pueden estudiar todo un estanque o una cuenca o, por otra parte, dentro de ese paisaje se pueden

TABLA 3.2 Factores que influyen en la intensificación agrícola en regiones africanas donde se practican los cultivos migratorios (Protheroe 1972).

FACTORES	PROCESOS
POBLACIÓN	BAJA DENSIDAD → <i>Incremento de número</i> → ALTA DENSIDAD
SISTEMA	AGRICULTURA ITINERANTE CULTIVOS CON ROTACIÓN/BARBECHO CULTIVOS SEMIPERENE/PERENNE → <i>Incremento en el período de cultivo</i> → <i>Disminución en el período de barbecho</i> → <i>Abono y fertilización</i>
CULTIVOS	CULTIVOS DE SUBSISTENCIA ALIMENTICIA → <i>Disminución en importancia</i> → DINERO (ALIMENTO Y EXPORTACIÓN DE CULTIVOS) → <i>Incremento en importancia</i> →
TENENCIA	DERECHOS DE TIERRA COMUNALES → <i>Disminución de los derechos comunales</i> → DERECHOS INDIVIDUALES DE LA TIERRA (usufructo de los derechos individuales) <i>Incremento de los derechos individuales</i> <i>Asignación de tierra por necesidad</i> → <i>Tierra transferida por renta y venta</i> <i>Fincas fragmentadas/dispersas</i> → <i>Fincas consolidadas</i> <i>Fincas no demarcadas</i> → <i>Demarcación permanente de fincas</i>
ESTABLE-CIMIENTO	NO PERMANENTE/MIGRACIÓN → <i>Incremento de la permanencia y nucleación</i> → PERMANENTE/ VIVIENDA PEQUEÑA/DISPERSA NUCLEADO Y DISPERSO
INTER-CAMBIO	NO EXISTENTE/LOCAL → <i>Incremento en la vinculación a nivel local, regional, nacional e internacional</i> MERCADOS

analizar estructuras tales como un campo agrícola, un bosque con sus capas protectoras de tierra adyacentes y su interrelación. Un paisaje agrícola aparte de campos, pastizales y huertos, cuenta con ríos, bosques sembrados, praderas, parques, ciudades, etc. En estos paisajes hay una gran interacción entre seres humanos, suelos, plantas y animales; agua, aire, nutrientes y energía los cuales están en constante movimiento. El paisaje cambia con el proceso que afecta generalmente a extensas áreas más bien que a campos pequeños. Por lo tanto, según como estén ubicados los campos de cultivos y praderas en un paisaje pueden afectar la calidad del agua, aire, suelo y la biodiversidad de toda una región agrícola (Figura 3.2).

Gradientes. Los paisajes involucran cambios graduales y áreas de transición. Se reconoce que muchos elementos ecológicos no presentan límites estrictos entre cada uno; más bien se nivelan gradualmente en el tiempo y en el espacio. La importancia de los efectos de borde también han sido un aspecto integral de muchos estudios con aumentos en la diversidad y estructura. La estabilidad y la dinámica de tales sistemas se basan más bien en parámetros físicos que en biológicos. Este concepto se ha usado en la planificación y la conservación de la naturaleza, pero aún no se ha aplicado a los agroecosistemas.

Biodiversidad. Con la creciente presión sobre los hábitats seminaturales ha habido mucha inquietud acerca de la biodiversidad. Este es un concepto básico en la administración de los paisajes y en su planificación. A menudo se plantean objetivos y políticas para parques naturales y reservas de la naturaleza, con el objeto de mantener una alta biodiversidad existente. La biodiversidad es el resultado de los procesos históricos y, por lo tanto, se refiere a los procesos relacionados con el tiempo y el espacio. Las actividades humanas pueden perturbar o mantener alta la biodiversidad, dependiendo de la interacción del hombre con la naturaleza, en particular, por medio de las prácticas agrícolas. Muchos ecosistemas naturales y seminaturales, que alguna vez cubrieron grandes zonas, han sido fragmentados y sus especies se encuentran amenazadas. Los enfoques de la ecología paisajista son especialmente útiles para la administración de tierras tropicales toda vez que se necesita una mezcla óptima en el uso y conservación de la tierra, a fin de satisfacer las necesidades alimenticias y de fibras y combustible, así como también de conservar los recursos naturales. Ni la preservación absoluta de viejos bosques, ni la conservación total hacia la administración en forma intensa de los sistemas, puede ser la solución deseada para la administración de la agricultura. Usando la tierra en forma de gradiente, siembra de bosques en forma de mosaico y campos agrícolas, es la estrategia más sensible para satisfacer las necesidades de producción y conservación.

Metapoblación. Representa el concepto de las interrelaciones entre las subpoblaciones en sembrados más o menos aislados dentro de un paisaje, ayudando a entender el impacto del aislamiento progresivo de zonas individuales de vegetación y sus poblaciones animales asociadas en el paisaje agrícola moderno. La extinción temporal y la recolonización son procesos característicos de la metapoblación.

Los recursos de un agroecosistema

Norman (1979) agrupó la combinación de recursos encontrados comúnmente en un agroecosistema en cuatro categorías:

Recursos naturales. Los recursos naturales son los elementos que provienen de la tierra, del agua, del clima y de la vegetación natural siendo explotados por el agricultor para la producción agrícola. Los elementos más importantes son el área

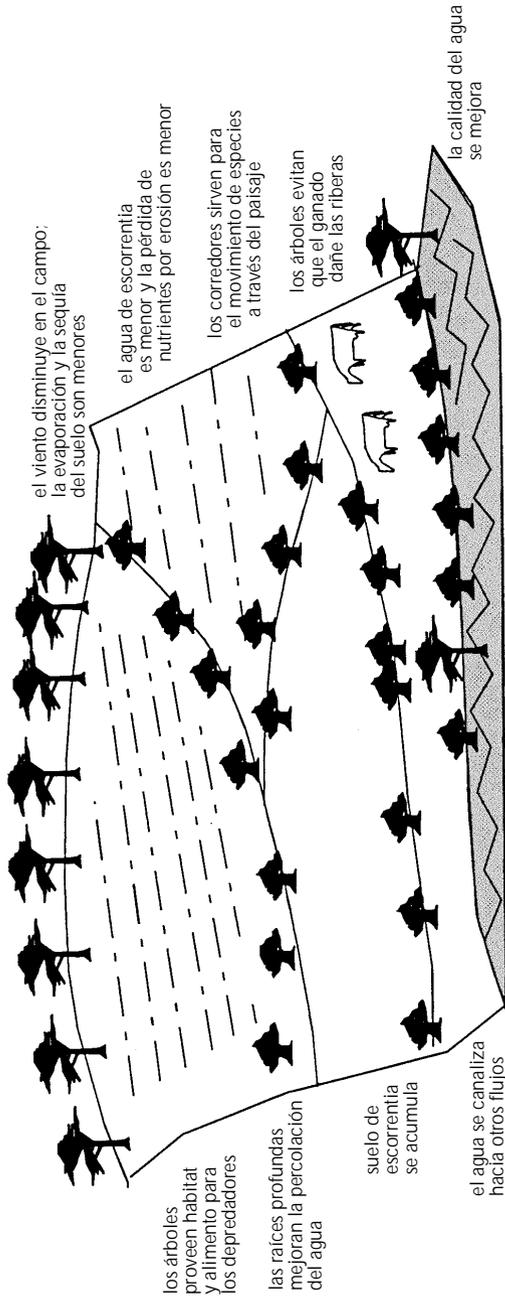


FIGURA 3.2 Efectos de la estructura del paisaje en la dinámica del agroecosistema.

del predio, lo que incluye su topografía, el grado de fragmentación de la propiedad, su ubicación con respecto a los mercados, la profundidad del suelo, la condición química y los atributos físicos; la disponibilidad de agua subterránea y en la superficie; pluviosidad promedio, evaporación, irradiación solar y temperatura (su variabilidad estacional y anual); y la vegetación natural que puede ser una fuente importante de alimento, forraje para animales, materiales de construcción o medicinas para los seres humanos, influyendo en la productividad del suelo de los sistemas de cultivos migratorios.

Recursos humanos. Los recursos humanos están compuestos por la gente que vive y trabaja dentro de un predio y explota sus recursos para la producción agrícola, basándose en sus incentivos tradicionales o económicos. Los factores que afectan estos recursos incluyen: (a) el número de personas que el predio tiene que sustentar en relación con la fuerza de trabajo y su productividad, la cual gobierna el superávit disponible para la venta, trueque u obligaciones culturales; (b) la capacidad para trabajar, influida por la nutrición y la salud; (c) la inclinación al trabajo, influida por el nivel económico y las actitudes culturales para el tiempo libre; y (d) la flexibilidad de la fuerza de trabajo para adaptarse a variaciones estacionales en la demanda de trabajo, es decir, la disponibilidad de la mano de obra contratada y el grado de cooperación entre los agricultores.

Recursos de capital. Los recursos de capital son los bienes y servicios creados, comprados o prestados por las personas asociadas con el predio para facilitar la explotación de los recursos naturales para la producción agrícola. Los recursos de capital pueden agruparse en cuatro categorías principales: (a) recursos permanentes, como modificaciones duraderas a los recursos de tierra o agua orientados hacia la producción agrícola; (b) recursos semipermanentes o aquellos que se deprecian y tienen que ser reemplazados periódicamente como graneros, cercas, animales de tiro, herramientas; (c) recursos operacionales o artículos de consumo utilizados en las operaciones diarias del predio, como fertilizantes, herbicidas, abonos y semillas; y (d) recursos potenciales o aquellos que el agricultor no posee pero de los que puede disponer teniendo que reembolsarlos en el tiempo, como el crédito y la ayuda de parientes o amigos.

Recursos de producción. Los recursos de producción comprenden la producción agrícola del predio como de los cultivos y el ganado. Estos se transforman en recursos de capital si se venden y los residuos (cultivos, abono) son insumos nutrientes reinvertidos en el sistema.

Procesos ecológicos en el agroecosistema

Cada agricultor debe manipular los recursos físicos y biológicos del predio para la producción. De acuerdo con el grado de modificación tecnológica, estas actividades influyen en los cinco procesos: energéticos, hidrológicos, biogeoquímicos, sucesionales y de regulación biótica. Cada uno puede evaluarse en términos de insumos, productos, almacenamiento y transformaciones.

Procesos energéticos

La energía entra en un agroecosistema como luz solar y sufre numerosas transformaciones físicas. La energía biológica se transfiere a las plantas mediante la fotosíntesis (producción primaria) y de un organismo a otro mediante la cadena trófica (consu-

mo). A pesar de que la luz solar es la única fuente de energía principal en la mayoría de los ecosistemas naturales, también son importantes el trabajo humano y animal, los insumos de energía mecanizados (tales como el arado con un tractor). La energía humana forma la estructura del agroecosistema, por consiguiente el flujo de energía a través de decisiones acerca de la producción primaria y la proporción de esa producción se canaliza a los productos para el uso humano (Marten 1986).

Los diversos insumos de un sistema agrícola: radiación solar, mano de obra, trabajo de las máquinas, fertilizantes y herbicidas, se pueden convertir en valores energéticos. Asimismo, los productos del sistema: vegetales y animales, también pueden expresarse en términos de energía. Debido a que el costo y la disponibilidad de la energía proveniente de los combustibles fósiles son cuestionables, los insumos y los productos se han cuantificado para diferentes tipos de agriculturas con el objeto de comparar su intensidad, rendimiento y productividad laboral y los niveles de bienestar que estos proporcionan.

Se han reconocido tres etapas en el proceso de intensificación de la energía en la agricultura (Leach 1976), de los cuales, hoy en día, se pueden encontrar ejemplos en diferentes partes del mundo: (a) preindustrial, sólo con insumos de mano de obra relativamente bajos; (b) semindustrial, con altos insumos de fuerza animal y humana; y (c) totalmente industrial, con insumos muy altos de combustibles fósiles y maquinaria. En los EE.UU. durante los últimos 50 años, se ha generalizado una disminución en la capacidad humana, asociada a la rápida intensificación de la energía en la explotación agrícola. Este proceso de intensificación ha sido también acompañado por un aumento en la densidad de energía. Bayliss-Smith (1982) en su análisis comparativo de siete tipos de sistemas agrícolas encontró que la eficiencia total de la utilización de la energía (relación de energía) disminuye a medida que la dependen-

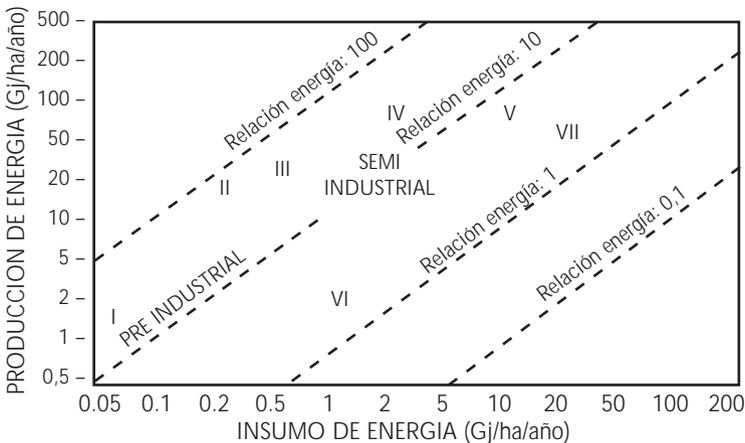


FIGURA 3.3. Relaciones de insumos, productos y energía de siete sistemas agrícolas. I. Sistema agrícola tradicional en Nueva Guinea (sistemas de cultivos migratorios, huertos domésticos), II. Sistema de explotación británico preindustrial (sistema de cereales/ovinos), III. Sistema agrícola de Java (huertos de taro, cocoteros y pesca), IV. Sistema pre-Revolución Verde del sur de la India (caña de azúcar, arroz, mijo, pastura de novillos), V. Postrevolución Verde del sur de la India (caña de azúcar, arroz, mijo y pastura de novillos), VI. Predio colectivo Ruso (papas, cereales, pastura), VII. Agricultura británica moderna (cereales, pastizales y pastos permanentes) (Bayliss-Smith 1982).

TABLA 3.3. Eficiencias de la energía del sistema de cultivo de maíz bajo distintos niveles de intensificación (según Leach 1976).

Sistema	Output/Input
Etapa preindustrial (intensivos en mano de obra, México)	30,6
Etapa preindustrial (intensivos en mano de obra, Guatemala)	13,6
Etapa semi-industrial (tracción animal, México)	4,87
Plena etapa industrial (mecanizada, EE.UU.)	2,58

cia de los combustibles fósiles aumenta. De este modo, en una agricultura industrializada la ganancia neta de la energía proveniente de la agricultura es pequeña, debido a que se gasta mucho en su producción (Figura 3.3).

La productividad de los cultivos arables también depende del tipo y cantidad de subsidio de energía. La variación en los subsidios de energía y las etapas de intensificación de la energía están claramente presentadas en la Tabla 3.3. Una comparación entre las acumulaciones de energía para la producción de maíz en México y Guatemala y aquellas en los EE.UU. revela un número importante de detalles. El rendimiento de este último país es de alrededor tres a cinco veces más que en los primeros. Además, a medida que la mano de obra se ha ido reemplazando progresivamente, primero por la fuerza animal y luego por el combustible y la maquinaria, la dependencia energética aumenta casi 30 veces y la relación insumo-energía/producción-energía disminuye en forma significativa.

Procesos biogeoquímicos

Los principales insumos biogeoquímicos de un agroecosistema son los nutrientes liberados del suelo, de la fijación del nitrógeno atmosférico por las leguminosas, de la fijación de nitrógeno no simbiótico (que es particularmente importante en el cultivo del arroz), de los nutrientes contenidos en la lluvia y en las aguas que fluyen constantemente, de los fertilizantes y nutrientes en los alimentos comprados por seres humanos, del forraje para el ganado o del abono animal.

Las salidas importantes incluyen nutrientes en cultivos y ganado consumidos o exportados desde el predio. Otras pérdidas se asocian con la lixiviación más allá de la zona de raíces, desnitrificación y volatilización del nitrógeno, pérdidas de nitrógeno y azufre hacia la atmósfera cuando se quema la vegetación, los nutrientes perdidos en la erosión del suelo causado por el escurrimiento o el viento y los nutrientes en excrementos humanos o del ganado que el predio pierde. Además, existe un almacenamiento bioquímico, que incluye al fertilizante almacenado y al abono acumulado, junto a los nutrientes en la zona radicular del suelo, el cultivo establecido, la vegetación y el ganado.

Durante la producción y el consumo, los nutrientes minerales se trasladan cíclicamente a través de un agroecosistema. Los ciclos de algunos de los nutrientes más importantes (nitrógeno, fósforo y potasio), son bien conocidos en muchos ecosistemas naturales y agrícolas (Todd et al. 1986). Durante la producción, los elementos se transfieren del suelo a las plantas y animales y viceversa. Cada vez que la cadena del carbono se rompe separándose por una diversidad de procesos biológi-

cos, los nutrientes vuelven al suelo donde pueden mantener la producción de las plantas (Marten 1986, Briggs y Courtney 1985).

Los agricultores sacan e incorporan nutrientes del agroecosistema cuando añaden elementos químicos o fertilizantes orgánicos (abono o compost) o remueven la cosecha o cualquier otro material vegetal del predio. En los agroecosistemas modernos, los nutrientes se reemplazan con fertilizantes comprados. Los agricultores de bajos ingresos que no pueden adquirir los fertilizantes comerciales, mantienen la fertilidad del suelo recolectando materiales nutritivos fuera de los campos cultivados, por ejemplo, abono recolectado en pasturas o recintos en los que se encierran los animales por la noche. Este material orgánico se complementa con hojarasca y otros materiales vegetales de los bosques cercanos. En regiones de América Central, los agricultores esparcen anualmente hasta 40 toneladas métricas de humus por hectárea, sobre los campos de hortalizas cultivadas en forma intensiva (Wilken 1977). Los materiales vegetales de desecho se convierten en compost con los desechos domésticos y el abono proveniente del ganado.

Otra estrategia para explotar la capacidad del sistema de cultivo es reutilizar sus propios nutrientes almacenados. En los agroecosistemas sembrados intercaladamente, la poca perturbación y los doseles cerrados promueven la conservación y el reciclaje de nutrientes (Harwood 1979). Por ejemplo, en un sistema agroforestal los minerales perdidos por los cultivos anuales son rápidamente absorbidos por los cultivos perennes. Además, la propensión de algunos cultivos a quitar nutrientes, es contrarrestada al agregar materia orgánica de otros cultivos. El nitrógeno del suelo puede aumentarse al incorporar leguminosas en la mezcla y la asimilación del fósforo se puede incrementar, de cierto modo, en cultivos con asociaciones de micorrizas. La diversidad incrementada en los sistemas de cultivo se asocia generalmente con las zonas radicales más extensas, lo que aumenta la captura de nutrientes. La optimización del proceso biogeoquímico requiere del desarrollo de una estructura del suelo y de una fertilidad adecuada, dependiendo de:

- Adición regular de residuos orgánicos

- Nivel de actividad microbial suficiente como para asegurar el decaimiento de los materiales orgánicos

- Condiciones que aseguren la actividad continua de las lombrices de tierra y otros agentes estabilizadores del suelo

- Cobertura proteccional de la vegetación

Procesos hidrológicos

El agua es una parte fundamental de todos los sistemas agrícolas. Además de su papel fisiológico, el agua influye en los insumos y las pérdidas de nutrientes a y desde el sistema por medio de la lixiviación y la erosión. El agua penetra en un agroecosistema en forma de precipitaciones, aguas que fluyen constantemente y por el riego; se pierde a través de la evaporación, la transpiración, del escurrimiento y del drenaje más allá de la zona de efectividad de las raíces de las plantas. El agua consumida por la gente y el ganado en el predio puede ser importante (por ejemplo, en los sistemas de pastoreo), pero generalmente es pequeña en cuanto a su magnitud.

El agua se almacena en el suelo, en donde es utilizada directamente por los cultivos y la vegetación, en forma de agua subterránea que puede extraerse para el uso humano, del ganado o de los cultivos y en almacenamientos construidos, tales como estanques del predio.

En términos generales, el equilibrio del agua dentro de un agroecosistema en particular, se puede expresar como: $S = R + Li - Et - P - Lo + So$ donde S es el contenido de la humedad del suelo al momento de estudiarlo, R es el agua lluvia efectiva (agua lluvia menos interceptación), Li es el flujo lateral de agua hacia el suelo, Et es la evapotranspiración, P es la percolación profunda, Lo es el flujo de salida (escurrimiento) y So es el contenido de humedad original del suelo (Norman 1979, Briggs y Courtney 1985).

Todos estos factores son afectados por las condiciones del suelo, de la vegetación y por las prácticas agrícolas. El drenaje y la labranza agrícola, por ejemplo, aceleran las pérdidas por percolación profunda; la remoción de los cultivos aumenta la cantidad de lluvia que llega al suelo y reduce la evapotranspiración; los cambios en la estructura del suelo debido al control de residuos de labranza, la rotación de cultivos o el uso de abonos afecta la tasa de percolación y el flujo lateral. Uno de los controles principales de la acumulación de humedad en el suelo es ejercido por la cobertura de los cultivos, puesto que influye en los insumos y en las pérdidas ejercidas hacia y

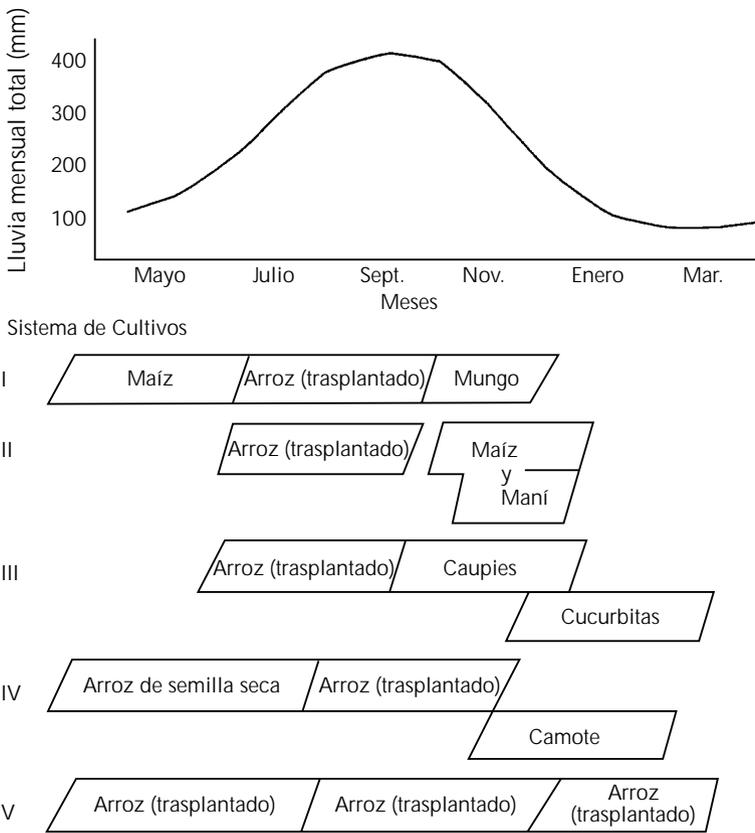


FIGURA 3.4. Cinco posibles sistemas de cultivos apropiados para un patrón de precipitaciones en el sudeste de Asia (Beets 1982).

desde la humedad del suelo. Por ejemplo, el dejar el follaje cortado de las malezas como mulch, reduce las pérdidas de agua provenientes de la evapotranspiración y aumenta los contenidos de humedad del suelo.

En la agricultura de secano es importante saber que cuando R es mayor que E_t , la zona de raíces se encuentra completamente cargada, definiendo así la temporada efectiva de crecimiento de cultivos. Durante este período, el escurrimiento y el drenaje pueden darse, influyendo en el nivel de lixiviación de los nutrientes solubles, la tasa de erosión del suelo, etc. Dentro de la escala: $R + E_t/2$ a $R = E_t/10$, la maduración y el crecimiento del cultivo dependen principalmente de la disponibilidad de la reserva de agua del suelo o del riego (Norman 1979).

En la mayoría de las zonas tropicales de secano el potencial agrícola de la zona depende de la duración de la temporada lluviosa y de la distribución de las precipitaciones durante este período. Los climas satisfactorios para los cultivos son aquellos en los que las precipitaciones exceden la evapotranspiración real durante por lo menos 130 días y la extensión de un ciclo de crecimiento promedio para la mayoría de los cultivos anuales. El número de meses húmedos consecutivos, es otro criterio ambiental importante. El potencial para el cultivo secuencial (bajo condiciones de secano) es limitado si existen menos de 5 meses húmedos consecutivos (Beets 1982).

La lluvia es el principal determinante del tipo de cultivo adoptado en el sistema de cultivos local. En Africa, en donde la precipitación anual es más de 600 mm, los sistemas de cultivo se basan por lo general en maíz. En Asia tropical, donde la precipitación es más de 1.500 mm/año con al menos 200mm/mes de lluvia durante tres meses consecutivos, los sistemas de cultivo se basan por lo general en el arroz. Puesto que el arroz necesita más agua que otros cultivos y debido a que es el único que tolera las inundaciones, solo se planta en el momento de máxima precipitación. Con el objeto de utilizar la humedad residual y las mayores intensidades de luz durante la temporada seca (Figura 3.4), se puede plantar una combinación de cultivos en mesetas al comienzo o al final de las lluvias. Los sistemas de cultivos mixtos como el maíz y el maní, por ejemplo, a menudo utilizan mejor el final de la temporada lluviosa (sistema II en la Figura 3.4.).

Otra posibilidad es la de combinar un sistema de cultivo doble y de relevo en el que el arroz trasplantado se establece lo más temprano posible (sistema III en la Figura 3.4.). Al arroz le siguen los caupíes cultivados utilizando técnicas de labranza mínima y cucurbitáceas que se siembran posteriormente en relevo (Beets 1982).

Procesos sucesionales

La sucesión, el proceso por el cual los organismos ocupan un sitio y modifican gradualmente las condiciones ambientales de manera que otras especies puedan reemplazar a los habitantes originales, se modifica radicalmente con la agricultura moderna. Los campos agrícolas generalmente presentan etapas sucesivas secundarias en las que una comunidad existente es perturbada por la deforestación y el arado para establecer en el lugar una comunidad simple, hecha por el hombre. La Figura 3.5a ilustra lo que ocurre cuando la sucesión se simplifica con el establecimiento de los monocultivos. En la agricultura convencional, la tendencia natural hacia la complejidad se detiene utilizando productos agroquímicos (Savory 1988). Al sembrar policultivos, la estrategia agrícola acompaña la tendencia natural hacia la complejidad; el incremento de la biodiversidad del cultivo tanto sobre como debajo del suelo

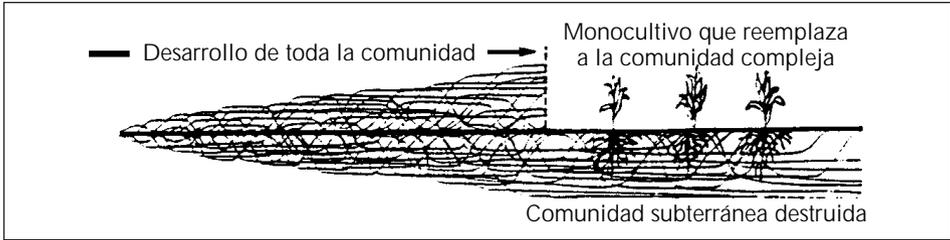


FIGURA 3.5a. Interrupción de la sucesión natural para favorecer a una población, el cultivo (según Savory 1988)

imita la sucesión natural y así se requieren menos insumos externos para mantener la comunidad del cultivo (Figura 3.5b).

Procesos de regulación biótica

El control de la sucesión (invasión de plantas y competencia) y la protección contra las plagas de insectos y enfermedades son los principales problemas en la mantención de la continuidad de la producción en los agroecosistemas. Los agricultores han usado diversos métodos en forma universal. Estos son: ninguna acción, acción preventiva (usos de variedades de cultivos resistentes, manipulación de fechas de siembra, espaciamento en hileras, modificación del acceso de plagas a las plantas) o la acción sucesiva (pesticidas químicos, control biológico, técnicas culturales). Las estrategias ecológicas del control de plagas generalmente emplean una combinación de estos tres métodos, que apuntan a hacer del campo un lugar menos atractivo para las plagas, convirtiendo el ambiente en inadecuado para éstas pero favorable para los enemigos naturales, interfiriendo con el movimiento de las plagas de un cultivo a otro o alejándolas de los cultivos. Todos estos métodos se discutirán en los capítulos 13, 14 y 15, puesto que atañen al control de los insectos, malezas y enfermedades de las plantas en los agroecosistemas.

Los científicos que perciben el agroecosistema como el resultado de la coevolución entre los procesos sociales y naturales, establecen que los procesos ecológicos mencionados corren paralelamente y son interdependientes con un flujo socioeconómico, tal como el desarrollo y/o adopción de sistemas y tecnologías agrícolas que son el

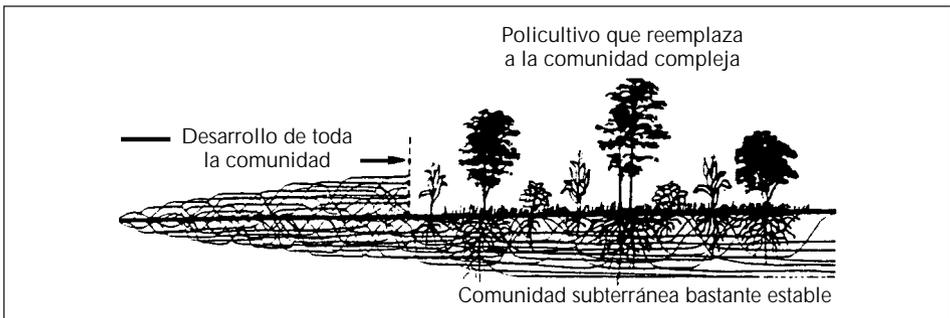


FIGURA 3.5 b. Mejoramiento de la complejidad de la población con policultivos (según Savory 1988)

resultado de las interacciones entre los agricultores con sus conocimientos y su entorno biofísico y socioeconómico. El entendimiento de esta coevolución y el patrón de flujo paralelo e interdependiente provee la base para el estudio y el diseño de agroecosistemas sustentables.

La estabilidad de los agroecosistemas

Con la agricultura convencional los seres humanos han simplificado la estructura del ambiente sobre vastas áreas, reemplazando la diversidad de la naturaleza con un número de plantas cultivadas y animales domésticos. Este proceso de simplificación alcanza una forma extrema en un monocultivo. El objetivo de esta simplificación es el de aumentar la proporción de energía solar, fijada por las comunidades de plantas que está directamente disponible para los seres humanos.

Los componentes predominantes son plantas y animales seleccionados, multiplicados, criados y cosechados por hombres con un propósito particular. En comparación con los ecosistemas no controlados, la composición y estructura de los agroecosistemas es simple. La biomasa vegetal esta compuesta por stands de cultivos, generalmente con predominio de un cultivo principal dentro de límites bien definidos. Mientras que un cultivo puede ser sembrado debajo de otro, como en el caso de pastizales bajo cereales, cultivos o huertos frutales, en este último caso existe sólo una capa o estrato formado por el propio cultivo. El número de especies que ha sido seleccionado es notablemente pequeño dada la biodiversidad mundial de los recursos. Sólo unas once especies de plantas responden por alrededor del 80% del suministro alimenticio mundial. Entre éstas, los cereales han predominado en el desarrollo de la agricultura. Estos proveen más del 50% de la producción mundial de proteínas y energía, y más del 75% si se incluyen los granos dados como alimento a los animales. En comparación, los cultivos en los campos, los pastos/leguminosas para forraje y los cultivos de árboles representan una porción relativamente pequeña del total de la biomasa agrícola.

El resultado neto es un ecosistema artificial que requiere de la intervención humana constantemente. La preparación comercial de un semillero y la siembra mecanizada reemplazan los métodos naturales de esparcimiento de semillas; los plaguicidas químicos reemplazan los controles naturales sobre las poblaciones de malezas, plagas y agentes patógenos; además la manipulación genética reemplaza los procesos naturales de la evolución y selección de plantas. Incluso la descomposición se altera toda vez que la planta se cosecha y la fertilidad del suelo se mantiene, no mediante el reciclaje de nutrientes, sino con fertilizantes. A pesar de que los agroecosistemas modernos han demostrado estar capacitados para mantener una población creciente, existe una prueba considerable de que el equilibrio ecológico en esos sistemas artificiales es más frágil.

El por qué de la inestabilidad de los sistemas modernos

La explicación para esta inestabilidad potencial debe buscarse según los cambios impuestos por la gente. Estos cambios han removido ecosistemas de cultivos desde el ecosistema natural hasta el punto en que ambos se han vuelto impresionantemente diferentes en estructura y función (Tabla 3.4).

Los ecosistemas naturales reinvierten una proporción fundamental de su productividad para mantener su estructura física y biológica necesaria para sustentar la fer-

tilidad del suelo y la estabilidad biótica. La exportación de alimentos y cosechas limita dicha reinversión en los agroecosistemas, haciéndolos sumamente dependientes de los insumos externos para lograr el ciclaje de nutrientes y la regulación de poblaciones (Cox y Atkins 1979).

Se ha establecido que la diversidad biótica y la complejidad estructural proporcionan un ecosistema maduro y natural con un grado de estabilidad en un ambiente fluctuante (Murdoch 1975). Por ejemplo, severas alteraciones en el ambiente físico externo, como un cambio en la humedad, temperatura o la luz, probablemente no dañen al sistema debido a que en una biota diversa existen numerosas alternativas para la transferencia de energía y nutrientes. En consecuencia, el sistema puede ajustarse y continuar funcionando después de la alteración con escasa, si la hay, desorganización detectable. De igual modo, los controles bióticos internos (como las relaciones depredador/presa) evitan las oscilaciones destructivas en poblaciones de plagas, promoviendo además la estabilidad total del ecosistema natural. La estrategia agrícola moderna puede considerarse como un retroceso de la secuencia sucesiva de la naturaleza. Estos ecosistemas modernos, a pesar de su alto rendimiento para la humanidad, llevan consigo las desventajas de todos los ecosistemas inmaduros. Particularmente estos sistemas carecen de la capacidad para ciclar los nutrientes, conservar el suelo y regular las poblaciones de plagas. El funcionamiento del sistema depende, de este modo, de la continua intervención humana. Incluso los cultivos seleccionados para una siembra frecuente no se pueden reproducir sin la ayuda de los hombres, mediante la siembra, y son incapaces de competir contra especies de malezas sin un constante control. Sin embargo, existe una gran variabilidad en el grado de diversidad, estabilidad, control humano, eficiencia de la energía y productividad entre los distintos tipos de agroecosistemas (Figura 3.6).

TABLA 3.4. Diferencias estructurales y funcionales entre los ecosistemas naturales y los agroecosistemas (modificada a partir de Odum 1969)

Características	Agroecosistema	Ecosistema Natural
Productividad neta	Alta	Media
Cadenas tróficas	Simple, lineal	Complejas
Diversidad de especies	Baja	Alta
Diversidad genética	Baja	Alta
Ciclos minerales	Abiertos	Cerrados
Estabilidad (resiliencia)	Baja	Alta
Entropía	Alta	Baja
Control humano	Definido	No necesario
Permanencia temporal	Corta	Larga
Heterogeneidad del hábitat	Simple	Compleja
Fenología	Sincronizada	Estacional
Madurez	Inmadura, tempranamente sucesora	Madura con culminación

AGROECOSISTEMA	DIVERSIDAD DE CULTIVOS	PERMANENCIA TEMPORAL	ASLACION	ESTABILIDAD	DIVERSIDAD GENÉTICA	CONTROL HUMANO	CONTROL NATURAL DE PLAGAS
MONOCULTIVOS MODERNOS ANUALES	■	■	■	■	■	■	■
HUERTOS MODERNOS	■	■	■	■	■	■	■
SISTEMA AGRICOLA ORGANICO	■	■	■	■	■	■	■
POLICULTIVOS TRADICIONALES	■	■	■	■	■	■	■

FIGURA 3.6 Patrones ecológicos de agroecosistemas contrastados

Control artificial de los agroecosistemas modernos

Para mantener los niveles normales de productividad tanto de largo como de corto plazo, los agroecosistemas modernos requieren considerablemente más control ambiental que los sistemas agrícolas orgánicos tradicionales (Figura 3.7). Los sistemas modernos necesitan grandes cantidades de energía importada para realizar el trabajo generalmente efectuado por los procesos ecológicos en sistemas menos perturbados.

Así, a pesar de ser menos productivos que los monocultivos modernos, los policultivos tradicionales generalmente son más estables y más energéticos (Cox y Atkins 1979). En todos los agroecosistemas los ciclos de tierra, aire, agua y desechos se han vuelto abiertos, en mayor proporción en los monocultivos comerciales industrializados que en los sistemas de explotación agrícola diversificados de pequeña escala, dependientes de la fuerza humana/animal y de los recursos locales.

Estos sistemas agrícolas no sólo difieren en sus niveles de productividad por zona o por unidad de mano de obra o insumo, sino que además difieren en propiedades más fundamentales. Resulta aparente que, si bien la nueva tecnología ha aumentado enormemente la productividad en el corto plazo, ha disminuido también la sustentabilidad, la equidad, la estabilidad y la productividad del sistema agrícola (Figura 3.8) (Conway 1985). Estos indicadores se definen de la siguiente manera:

Sustentabilidad se refiere a la capacidad de un agroecosistema para mantener la producción a lo largo del tiempo, a pesar de las restricciones ecológicas y socioeconómicas a largo plazo.

Equidad mide cuan equitativamente están distribuidos los productos del agroecosistema entre los productores y los consumidores locales (Conway). Sin embargo, la equidad es mucho más que una simple cuestión de un ingreso adecuado, de buena nutrición o cantidad satisfactoria de tiempo libre (Bayliss-Smith 1982). Para algunos la equidad se logra cuando el agroecosistema satisface razonablemente las demandas de alimento sin aumentar el costo social de producción. Para otros, la equidad se alcanza cuando la distribución de oportunidades o ingresos dentro de comunidades productoras mejora (Douglas 1984).

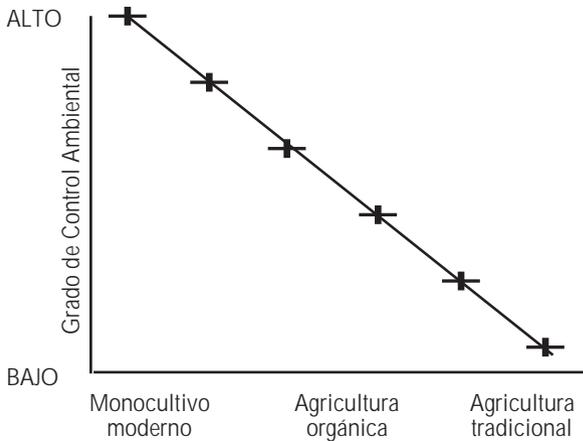


FIGURA 3.7 Grado de control ambiental necesario para la mantención de niveles normales de productividad en tres tipos de sistemas de explotación agrícola.

Estabilidad es la constancia productiva dada bajo un conjunto de condiciones ambientales, económicas y administrativas (Conway 1985). Algunas presiones ecológicas, como las condiciones meteorológicas, son rígidas limitaciones en el sentido de que el agricultor virtualmente no puede modificarlas. En otros casos, el agricultor puede mejorar la estabilidad biológica del sistema eligiendo cultivos más adecuados o desarrollando métodos de cultivos que mejoren los rendimientos. La tierra se puede regar, aplicar mulch, abonar o rotar o se pueden plantar los cultivos en combinaciones para mejorar la estabilidad del sistema. El agricultor puede complementar la mano de obra familiar con animales o máquinas o empleando la mano de obra de otra gente. De ese modo, la respuesta exacta depende tanto de los factores sociales como también del medio ambiente. Por esta razón, el concepto de estabilidad debe expandirse para adoptar consideraciones socioeconómicas y de administración. A este respecto, Harwood (1979a) define otras tres fuentes de estabilidad:

1. **Estabilidad del Manejo** se deriva de la elección del conjunto de tecnologías que mejor se adapten a las necesidades y recursos del agricultor. Originalmente, la tecnología industrial generalmente aumenta el rendimiento, a medida que menos tierra se deje para barbecho y se pasen por alto las limitaciones bióticas, de suelo y de agua. No obstante, siempre existe un elemento de inestabilidad asociado a las nuevas tecnologías. Los agricultores están profundamente conscientes de esto y su resistencia al cambio a menudo tiene una base ecológica.

2. **Estabilidad económica** se asocia con la capacidad del agricultor para predecir los precios de los insumos y los productos en el mercado y mantener el ingreso del predio. Dependiendo de lo avanzado de este conocimiento, el agricultor realiza trueques (tradeoffs) entre la producción y la estabilidad. Para estudiar la dinámica de la estabilidad económica en los sistemas agrícolas, se debe obtener la información total de la producción, de los rendimientos de los productos importantes, del flujo comercial, del ingreso no proveniente del predio, del ingreso neto y de la fracción total de la producción que el agricultor vende o comercia.

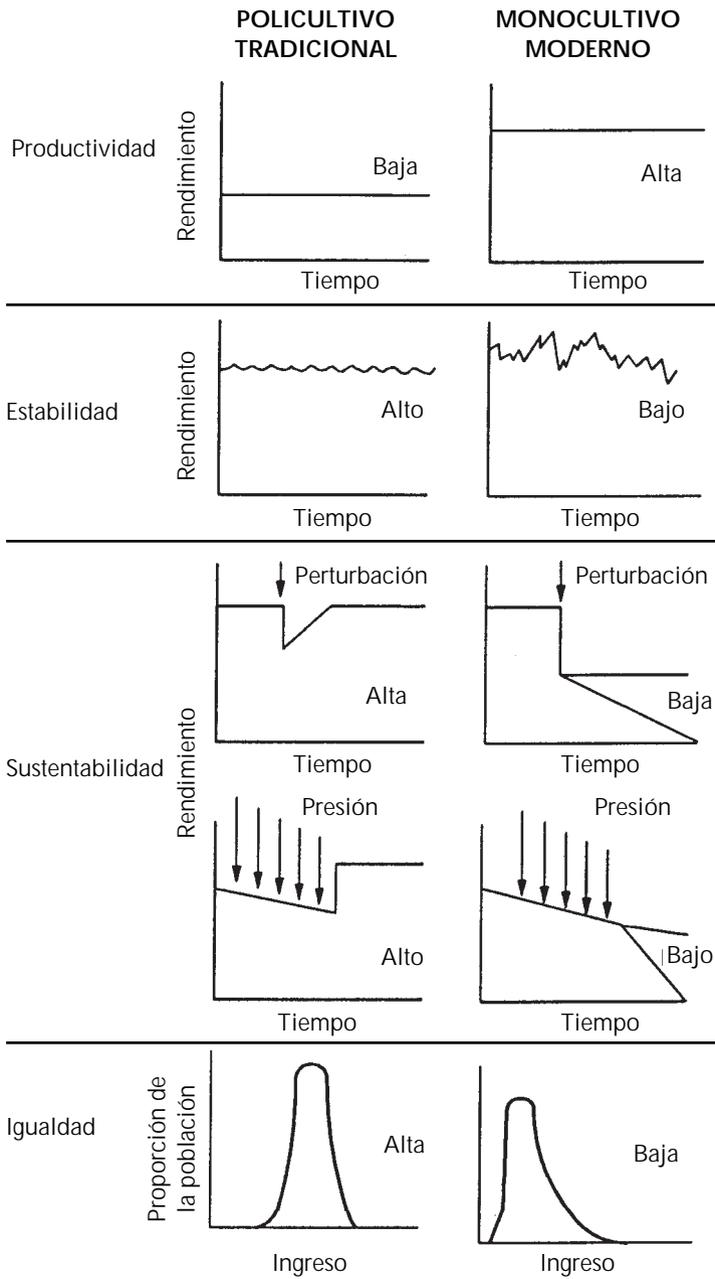


FIGURA 3.8 Propiedades de sistemas y agroecosistemas e índices de comportamiento (modificado después de Conway 1985).

3. **Estabilidad cultural** depende de la mantención del contexto y la organización sociocultural que ha nutrido al agroecosistema durante generaciones. El desarrollo rural no puede lograrse cuando se aísla del contexto social, por lo tanto debe adaptarse a las tradiciones locales.

Productividad es una medida cuantitativa de la tasa y la cantidad de producción por unidad de tierra o insumo. En términos ecológicos, la producción está referida hacia la cantidad de rendimiento o producto final, es el proceso mediante el cual se obtiene el producto final. Al evaluar la producción de un predio pequeño, a veces se olvida que la mayoría de los agricultores consideran más importante reducir el riesgo que aumentar al máximo la producción. Los pequeños agricultores generalmente están más interesados en optimizar la productividad de los escasos recursos agrícolas que en aumentar la productividad de la tierra o de la mano de obra. También los agricultores eligen una tecnología de producción determinada basándose en decisiones tomadas para todo el sistema agrícola y no sólo para un cultivo en particular (Harwood 1979). El rendimiento por área puede ser un indicador de la tasa y la constancia de la producción, pero también se puede expresar en otras maneras; por ejemplo, por unidad del insumo de mano de obra, por unidad de inversión comercial o como la relación de la eficiencia de la energía. Cuando se analizan los patrones de producción utilizando relaciones de energía, resulta claro que los sistemas tradicionales son extraordinariamente más eficientes que los agroecosistemas modernos (Pimentel y Pimentel 1979). Es común que un sistema comercial agrícola muestre relaciones de insumo/producto de tres/uno, mientras que los sistemas agrícolas tradicionales muestran relaciones de 10-15/uno.

La vulnerabilidad total de los agroecosistemas modernos simplificados está bien ilustrada por la epidemia del tizón que devastó el cultivo del maíz en el Sur de los Estados Unidos en 1970 y por la destrucción de millones de toneladas de trigo en los Estados del medio oeste en 1953 y 1954 por la raza 15B de *Puccinia graminis f. sp. tritici* (Baker y Cook 1974). La epidemia de las papas y la hambruna subsiguiente en Irlanda a mediados del siglo XIX, nos hace recordar que, no se puede depender de una comunidad de cultivos altamente simplificada y en grandes áreas como medio de producción alimenticio. Un cuadro alarmante surge de un informe preparado por el Consejo Nacional de Investigaciones de la Academia Nacional de Ciencias sobre el grado de uniformidad genética y de vulnerabilidad a epidemias que muchos cultivos han alcanzado (Adams et al. 1971). Esta inclinación a la uniformidad es aparente en la tendencia de los agricultores en la Postrevolución Verde a sembrar una sola variedad de alto rendimiento en lugar de diversas variedades tradicionales.

La intensificación de la agricultura es una prueba crucial de la elasticidad de la naturaleza. No sabemos por cuanto tiempo más pueden los hombres seguir aumentando la magnitud del subsidio natural sin agotar los recursos naturales y causar una mayor degradación ambiental. Antes de que descubramos este punto crítico por medio de la experiencia desafortunada, deberíamos esforzarnos para diseñar agroecosistemas que se comparen en estabilidad y productividad con los sistemas naturales (Cox y Atkins 1979). Esta es la fuerza impulsora de la agroecología.

Evaluación del estado ecológico y la sustentabilidad de los agroecosistemas

La mayoría de las definiciones de sustentabilidad incluyen por lo menos tres criterios:

Mantención de la capacidad productiva del agroecosistema.

Preservación de la diversidad de la flora y la fauna.

Capacidad del agroecosistema para automantenerse.

Una característica de la sustentabilidad es la capacidad del agroecosistema para mantener un rendimiento que no decline a lo largo del tiempo, dentro de una amplia gama de condiciones. La mayoría de los conceptos de sustentabilidad requieren el rendimiento continuo y la prevención de la degradación ambiental. Estas dos demandas a menudo se presentan como si fueran mutuamente incompatibles. La producción agrícola depende de la utilización de los recursos mientras que la protección ambiental requiere algún grado aceptable de conservación. El problema es que existe un período de transición antes de que se logre la sustentabilidad y de ese modo, la rentabilidad en la inversión en técnicas agroecológicas puede no ocurrir inmediatamente (Figura 3.9). Un desafío para la evaluación de la salud de los agroecosistemas es el de asegurar un monitoreo equilibrada de la productividad y de la integridad ecológica del sistema. Históricamente, la evaluación de los sistemas agrícolas se ha centrado en la cuantificación de la producción de alimentos y fibras, y hasta cierto punto en el estado, condición y tendencias del suelo, del agua y de los recursos relacionados. La evaluación del estado de los componentes o procesos biológicos esenciales de los agroecosistemas ha sido extraordinariamente deficiente.

En un intento por desarrollar un planteamiento más holístico para evaluar la condición agroecológica de los agroecosistemas, Meyer et al. (1992) identificó tres parámetros de evaluación que constituyen expresiones cuantificadas del cambio ambiental. Estos parámetros son:

Sustentabilidad. Capacidad para mantener un nivel de productividad de los cultivos a través del tiempo sin exponer los componentes estructurales y funcionales de los agroecosistemas.

Contaminación de los recursos naturales. Alteración de la calidad del aire, agua y suelo causada por los insumos o productos de los agroecosistemas.

Calidad del paisaje agrícola. Diversas formas en que los modelos agrícolas para el uso de la tierra modifican el panorama e influyen en los procesos ecológicos.

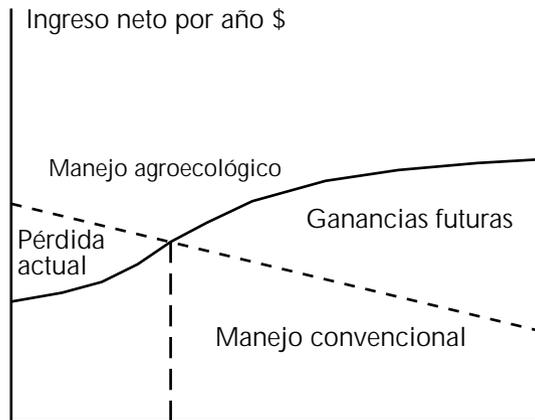


FIGURA 3.9 Comparación de los flujos de los ingresos netos de dos prácticas de uso de la tierra, manejo agroecológico en contraposición al convencional (según Roberts 1992).

Los indicadores que se consideran normalmente para el monitoreo agroecológico se muestran en la Tabla 3.5, asociados a los parámetros de evaluación.

Dentro de los primeros se seleccionaron cinco importantes indicadores para la evaluación inicial:

Productividad del cultivo. Estima la eficiencia de los insumos al lograr el rendimiento deseado como asimismo de los productos ambientales benéficos o perjudiciales.

Productividad del suelo. Para la renovabilidad del recurso suelo que necesariamente se degrada al extraerle su riqueza, el nivel máximo sustentable de uso (MSU), es equivalente a su tasa de renovación. La curva en la Figura 3.10 describe la relación general entre el MSU del suelo agrícola y el stock (profundidad del suelo). Mientras que la profundidad del suelo se mantiene suficientemente mayor que la profundidad de las raíces de los cultivos y otras plantas, la pérdida del suelo tiene poco o ningún efecto negativo sobre la productividad, no obstante, ésta disminuye con la profundidad del suelo inferior a este umbral. En principio, los insignificantes costos de la pérdida del suelo por la erosión pueden hacerse excesivos a medida que el suelo disminuye por debajo de este umbral (llamado punto crítico, C).

En términos prácticos, la productividad del suelo se caracteriza por la capacidad para retener nutrientes, biota del suelo, grado de contaminación y tasa de erosión.

TABLA 3.5 Asociación entre los parámetros de evaluación del agroecosistema y los indicadores (Meyer et al. 1992).

Indicador	Sustentabilidad	Contaminación de los recursos naturales (a)	Calidad de los paisajes agrícolas
Productividad del cultivo	X		
Productividad del suelo	X	X	
Capacidad de retención de nutrientes	X		
Erosión	X		
Contaminantes	X	X	
Componentes microbianos	X	X	
Uso de la tierra	X		
Descriptores del paisaje	X	X	X
Poblaciones de la fauna silvestre			X
Densidad de insectos benéficos	X		X
Densidad de plagas	X	X	
Estado de las especies biomonitoras		X	
Cantidad del agua para riego	X		
Calidad del agua para riego	X	X	
Uso químico en la agricultura	X	X	
Fuentes abastecedoras no puntuales		X	
Síntomas foliares	X	X	
Producción del ganado	X		
Factores socioeconómicos	X		
Diversidad genética	X		

(a) Aire, suelo, agua y biota incluyendo el transporte de agentes hacia, dentro y fuera de los agroecosistemas.

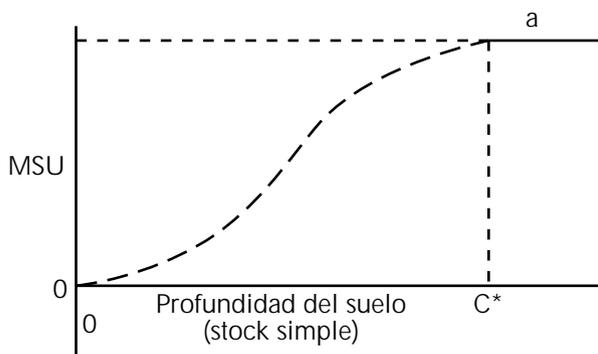


FIGURA 3.10 La relación general entre el nivel máximo sustentable de uso (MSU) del suelo y su profundidad.

Cantidad y calidad de agua para riego: se señalan dos aspectos: (1) los impactos de la calidad y cantidad de agua sobre la condición ecológica de los agroecosistemas regados y (2) los impactos del control del agroecosistema sobre la calidad y cantidad de agua.

Abundancia y diversidad de los insectos benéficos: presencia y frecuencia de depredadores, parásitos y agentes polinizadores.

Uso de productos químicos para la agricultura: efectos sobre las producciones de los cultivos y sobre los sectores que no son un objetivo del agroecosistema y ecosistemas adyacentes.

Diversidad genética: nivel de diversidad genética y tasas de erosión genética de los cultivos.

Al utilizar otro conjunto de indicadores biofísicos y socioeconómicos, los científicos (NRC 1993) que evalúan los diversos atributos de los agroecosistemas tropicales adoptaron un esquema de trabajo para comparar los atributos y contribuciones potenciales para la sustentabilidad de varios sistemas de uso de la tierra (Tabla 3.6). A pesar de que utilizaron varios factores fisicoquímicos, biológicos, sociales, culturales y económicos para analizar el rendimiento y el potencial del sistema, reconocieron que es difícil categorizar y cuantificar muchos aspectos de la sustentabilidad agrícola y, por tanto, ofrecieron estos valores cualitativos a cada atributo.

Uno de los pocos intentos que se han hecho hasta ahora para cuantificar la sustentabilidad, es el estudio de Faeth et al. (1991) mediante el cual se comparó la economía de los sistemas de producción alternativos y convencionales en Pensilvania y Nebraska cuando los recursos naturales son contabilizados, en especial, la depreciación del suelo. Los autores usaron un método para la contabilización de los recursos naturales utilizando datos económicos, para llegar de manera simple a mediciones cuantitativas de sustentabilidad. La productividad del suelo, la utilidad del predio, los impactos ambientales regionales y los costos fiscales pueden ser incluidos dentro del esquema de contabilidad de los recursos naturales.

Las Tablas 3.7 a y b comparan el ingreso agrícola neto y el valor económico neto de maíz-soya de Pensilvania, con y sin la contabilidad del recurso natural. La Tabla 3.7, columna 1, muestra un análisis financiero convencional del ingreso agrícola neto. El margen bruto de operación, los costos de producción menos variables de las ventas de los cultivos, aparece en la primera columna (US\$ 45). Debido a que los análisis convencionales no consideran la reducción de los recursos naturales, el mar-

TABLA 3.7a

Comparación de análisis económico convencional con uno que use contabilidad de recursos naturales (costos dentro del predio)

INGRESO NETO AGRICOLA (US\$/acres/año)		
	sin Contabilidad de recursos naturales	con Contabilidad de recursos naturales
Margen bruto operacional	45	45
— Depreciación del suelo	—	25
Ingreso neto agrícola operacional	45	20
+ Subsidio gubernamental de productos	35	35
Ingreso agrícola neto	80	55

TABLA 3.7b

Comparación de análisis económico convencional con uno que usa contabilidad de recursos naturales (costos fuera del predio)

INGRESO NETO AGRICOLA (US\$/acres/año)		
	sin Contabilidad de recursos naturales	con Contabilidad de recursos naturales
Margen bruto operacional	45	45
— Depreciación del suelo	—	25
Ingreso neto agrícola operacional	45	20
— Costo fuera del sitio	—	47
Ingreso agrícola neto	80	—27

gen bruto y el ingreso de operación agrícola neto son los mismos. Los subsidios gubernamentales (US\$ 35) se añaden para obtener un ingreso neto (US\$ 80). Cuando se incluye la contabilidad de los recursos naturales, el margen bruto de operación se reduce por la rebaja de depreciación del suelo (US\$ 25) para obtener un ingreso agrícola neto (US\$ 20) (véase la Tabla 3.7 a). La rebaja por depreciación es una estimación del valor actual de las pérdidas de ingreso futuras debidas al impacto de la producción de cultivos sobre la calidad del suelo. El mismo pago gubernamental se añade para determinar el ingreso agrícola neto (US\$ 55).

El valor económico neto descuenta US\$ 47 a manera de ajuste para costos ambientales fuera del lugar (como la sedimentación, los impactos en la recreación, zonas pesqueras y los impactos sobre los usuarios de aguas abajo). El valor económico neto incluye también la rebaja por depreciación del suelo dentro del sitio, pero excluye pagos por la mantención del ingreso (véase la Tabla 3.7 b). Los agricultores no pueden mantener los costos fuera del sitio directamente, pero estos son, no obstante, costos económicos reales atribuibles a la producción agrícola y deberán considerarse al calcular el valor económico neto. Los pagos de subsidios, por el contrario, son una transferencia de los contribuyentes a los agricultores, no un ingreso generado por la producción agrícola, y por lo tanto, se excluyen de los cálculos del valor económico neto. En este ejemplo, cuando se realizan estos ajustes, una ganancia de US\$ 80 en contabilidad financiera convencional pasa a ser una pérdida de US\$ 27 en una contabilidad económica más completa.

Segunda parte

El diseño de sistemas y tecnologías alternativas

Generación de tecnologías sustentables apropiadas para la agricultura alternativa

Durante el siglo pasado, en los países industrializados, el crecimiento agrícola se abasteció de energía barata, innovación tecnológica, de abundantes recursos y, además, de factores culturales. La mayoría de los proyectos de desarrollo agrícola han tenido como objetivo aumentar la producción de productos agrícolas y sus nexos con el mercado (Perelman 1977, Conway 1985). Este énfasis en el incremento de la producción agrícola fue transferido a los países en desarrollo sin considerar condiciones ecológicas y socio-económicas, y se justificó al considerar a los problemas de hambre y pobreza rural como problemas mayoritariamente de producción. En consecuencia, las técnicas de desarrollo agrícola no se adecuaron a las necesidades y al potencial de los campesinos locales.

Consecuencias de una tecnología inapropiada

Ejemplos de las consecuencias ambientales por los profundos cambios tecnológicos abundan en los países menos desarrollados. Un ejemplo es la sustitución de la fuerza del búfalo por el tractor en Sri Lanka (Senanayake 1984). A primera vista, esta sustitución, en las comunidades de este país, pareció significar, por una parte, un intercambio entre una siembra más oportuna y un ahorro de mano de obra y, por otra parte, la provisión de leche y abono. Sin embargo, los búfalos crean bañaderos y esto, a su vez, proporciona un número sorprendente de beneficios. En la temporada seca, los bañaderos se convierten en refugios para peces los que vuelven a los arrozales en la temporada lluviosa. Los agricultores y los que carecen de tierras atrapan estos peces y se los comen aportando un gran valor proteico; otros peces se comen las larvas de los mosquitos que provocan la malaria. Los matorrales que rodean los bañaderos, albergan serpientes que se comen a las ratas que atacan el arroz y lagartos que predan los cangrejos que a su vez se alimentan de los brotes del arroz. Los agricultores también usan los bañaderos para preparar frondas de cocoteros para hacer techos de paja. Si los bañaderos desaparecen, también desaparecen los beneficios que traen. Las consecuencias adversas pueden no parar aquí. Si se usan plaguicidas para matar las ratas, los cangrejos o las larvas de los mosquitos, la resistencia a los plaguicidas o la contaminación pueden convertirse en un problema. Algo similar ocurre si los techos de paja se sustituyen por tejas: se puede acelerar la destrucción forestal dado que se requiere leña para cocer las tejas (Conway 1986).

Otro ejemplo claro que muestra el uso inadecuado de la tecnología, es la Revolución Verde que intentó solucionar los problemas de producción de cultivos en el tercer mundo a través del desarrollo de variedades de cereales de alto rendimiento que requerían de grandes insumos de plaguicidas, fertilizantes, riego y maquinaria

(Perelman 1977). Contrariamente a lo que se esperaba, ninguna serie tecnológica significativamente capaz de aumentar el rendimiento, se pudo ofrecer a la mayoría de los campesinos (de Janvry 1981). La nueva serie fracasó, pues no tomó en cuenta las propiedades de la subsistencia agrícola, habilidad para sustentar los riesgos, restricciones de mano de obra, las combinaciones simbióticas de cultivos, requerimientos nutritivos, factores que determinan los niveles y criterios de manejo de recursos usados por los agricultores locales. En la mayoría de los casos, las nuevas variedades no pudieron superar a las locales al ser manejadas con las prácticas tradicionales (Perelman 1977). Las enfermedades epidémicas invadieron las áreas donde se aceptaron vastamente los nuevos «cereales milagrosos». Los genetistas pronto aprendieron, que al sembrar toda una región con variedades genéticamente similares, podía causar ataques desastrosos, desencadenados por enfermedades o plagas de insectos (Adams et al. 1971). Rápidamente los campesinos dejaron las nuevas variedades debido a su alto costo de producción (de Janvry 1981). Por ejemplo, la mayoría de los pequeños agricultores no pudieron adquirir un pozo tubular, componente esencial en la nueva tecnología de regadío (Perelman 1977). Por lo visto, parece que sólo una pequeña parte de los agricultores sacó provecho de la Revolución Verde.

Investigación de sistemas agrícolas

Uno de los factores claves en el desarrollo agrícola moderno es la disponibilidad de una organizada infraestructura educacional, de investigación y extensión. Aunque en la mayoría de los países, con muy pocas excepciones, existe tal cadena, ésta no se encuentra específicamente dirigida a los problemas y necesidades de pequeños agricultores. Mas bien, gran parte de la investigación agrícola ha beneficiado a aquellos individuos que tienen fácil acceso al capital: grandes agricultores y comerciantes agrícolas (Busch y Lacy 1983). Por ejemplo, en el control de plagas, alrededor de un 92% de esfuerzo de investigación se centró en el uso de herbicidas, un 55% y un 89% de la investigación se basó, respectivamente en el uso de técnicas de aplicación de plaguicidas para el control de plagas y enfermedades (Pimentel 1973). En efecto, casi ninguno de los investigadores, examinan métodos alternativos de producción agrícola y, por eso, la riqueza de la información que pudiere hacerse extensiva a los pequeños agricultores, incluso si existe una cadena, se ve limitada.

Es claro que la generación de tecnologías, adecuada a las necesidades de otros agricultores, debe nacer de estudios integrados de las circunstancias naturales y socioeconómicas que influyen en sus sistemas agrícolas y dominan sus respuestas frente a tecnologías alternativas. Muchas situaciones pueden influir en la decisión del agricultor para elegir el tipo de sistema agrícola o de práctica de manejo. Las condiciones naturales (clima, suelo, plagas, enfermedades) imponen restricciones biológicas al sistema de cultivos. Por otra parte, muchas circunstancias socioeconómicas (transporte, capital, mercado, mano de obra, insumos agrícolas, crédito, asistencia técnica) afectan el ambiente externo que condiciona las tomas de decisiones del agricultor. Al llevar a cabo una investigación multidisciplinaria, en predios seleccionados de agricultores, y al analizar las restricciones sociales, económicas, técnicas y ecológicas que enfrentan estos agricultores en la producción de cultivos, se puede obtener una importante retroalimentación acerca de las prácticas de manejo, condiciones y necesidades agrícolas. Por lo tanto, esta información se puede tomar en cuenta para incorporarla a la investigación de cultivos que se realiza para el desarrollo de una tecnología que se adapte a las necesidades y recursos de los agricultores.

Sólo recién se puede disponer de las descripciones detalladas de las metodologías de investigación que se adecuan a las condiciones reales de los agricultores tradicionales del mundo en desarrollo (Harwood 1979, Hildebrand 1979, Byerlee et al. 1980, Zandotra et al. 1981, y Shaner et al. 1982). Estas metodologías surgieron como respuesta a las críticas del desarrollo rural internacionalmente fundado; éstas acusan que, en los programas pasados, no existía un entendimiento acerca del ambiente socioeconómico y ecológico donde trabajaban, no considerando a los pequeños agricultores como colaboradores beneficiarios y, además, fomentaban de manera inepta una tecnología inapropiada.

La metodología más común, denominada investigación de sistemas agrícolas (FSR), tiene diversas variantes, sin embargo, en general, comprende un entendimiento sobre los sistemas agrícolas pertinentes. Un equipo multidisciplinario reúne información relevante en la zona seleccionada mediante un análisis de los datos básicos, provenientes de materiales publicados o no publicados, una realización de estudios del campo que incluye entrevistas con agricultores, y otros expertos, acerca de las circunstancias agrícolas y observaciones en terreno. A partir del estudio, los investigadores pueden formular hipótesis del porqué los agricultores hacen uso de estas particulares prácticas (Figura 4.1).

El FSR sería considerado un método para la investigación agrícola, orientado a los problemas que comienzan al diagnosticar las condiciones, prácticas y problemas de determinados grupos de agricultores. Una vez que se identifican los problemas, se diseña un programa de investigación que se adecue a ellos. Una parte fundamental de cualquier programa como éste, realiza experimentos en los campos de los agricultores bajo sus condiciones y manejo. Luego, se evalúan dichos experimentos usando criterios que son importantes para el agricultor y los resultados obtenidos se usan para hacer recomendaciones.

Prototipos y variantes del FSR

Método de Sondeo. A comienzo de los años 70, en Guatemala, Hildebrand (1981) desarrolló el método de Sondeo que comprendía una combinación productiva de disciplinas (agronomía, ciencia veterinaria y socioeconomía) para llevar a cabo evaluaciones rápidas con el fin de generar una tecnología nueva. Un equipo visita un predio con prácticas y sistemas agrícolas homogéneas tratando de entender los agroecosistemas e identificar los avances tecnológicos apropiados. Las ideas acerca de mejores prácticas agrícolas surgen de las discusiones entre los científicos y los agricultores, quienes son sometidos a prueba por un equipo tecnológico examinador en el mismo predio.

Método IRRI y CIMMYT. A fines de los años 70 y a comienzos de los 80, los científicos del CGIAR (Consultative Group on International Agricultural Research), principalmente del CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo) y del IRRI (International Rice Research Institute), desarrollaron la investigación de sistemas agrícolas para aplicarlos en América Latina y en el Sudeste Asiático, siguiendo la siguiente secuencia lógica de pasos (Harwood 1979; Byerlee et al. 1980):

1. ***Selección de la zona objetivo.*** Dentro de las regiones varían considerablemente los sistemas de cultivos y las prácticas de los agricultores. Los sitios que poseen patrones de cultivo, características agroclimáticas y situaciones económicas relativamente similares son seleccionados por equipos multidisciplinarios, compuestos generalmente por un grupo de economistas, sociólogos, agrónomos y proteccionistas de plantas.

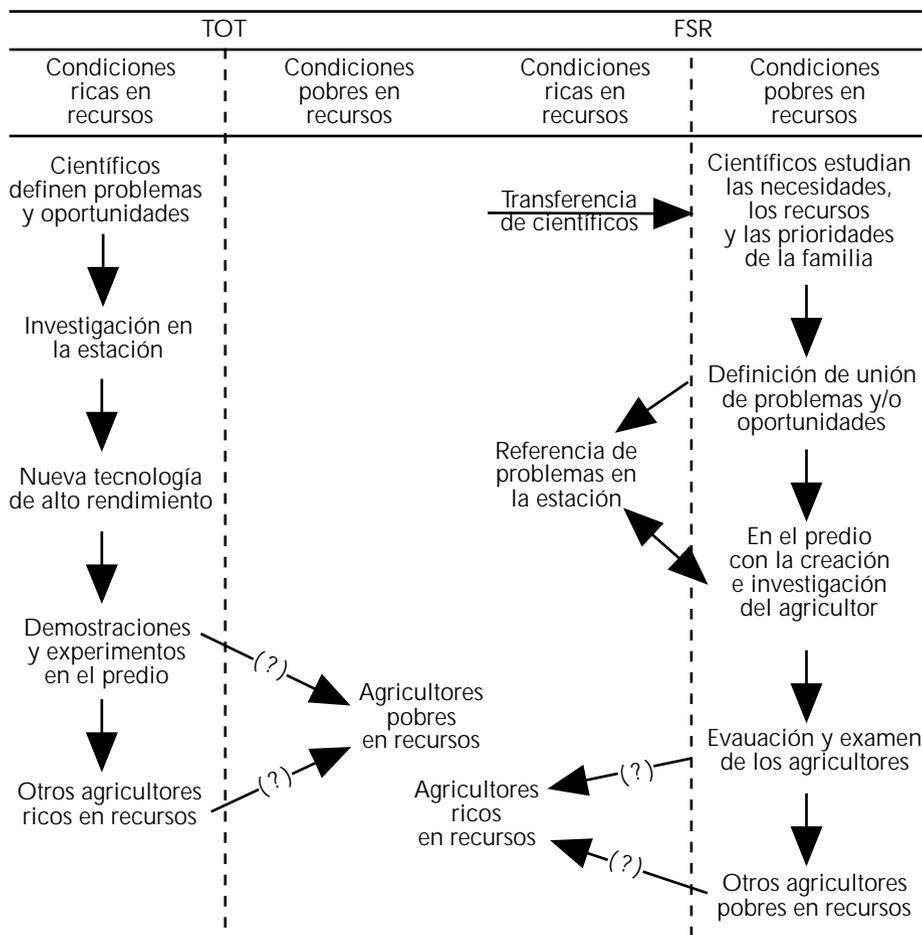


FIGURA 4.1 Comparación entre un enfoque típico de transferencia de tecnología ascendente (TOT) y un enfoque de investigación de sistemas agrícolas (FSR), que hace participe a los agricultores (Chambers y Ghildyal 1985).

2. *Descripción del medioambiente.* Se recopilan datos sobre el clima, suelo, topografía, precipitaciones, sequía, hidrología, temperaturas, duración del día, fertilidad del suelo, laderas, plagas de insectos, enfermedades y malezas.

3. *Estudios del predio.* El estudio del predio incluye una evaluación física y una socioeconómica. El componente biofísico comprende: (a) la identificación de los tipos de suelo en el terreno, (b) la identificación de los cultivos existentes, patrones y sistemas (como rotaciones y policultivos), (c) la descripción de los sistemas de cultivo determinantes, (d) la descripción de los tipos de predios y la base de recursos en el terreno y (e) la identificación de las interacciones del sistema agrícola, incluyendo aquellas entre el cultivo y el ganado, y los complementos, como por ejemplo los residuos del cultivo que se usan para alimentar el ganado y el estiércol que se usa como fertilizante. Los especialistas también describen las prácticas de manejo, si-

guiendo la lista de chequeo que se describe en la Tabla 4.1. El componente socioeconómico del estudio analiza los recursos que se encuentran dentro de los sistemas de cultivo. Los recursos del predio se mencionan en la Tabla 4.2. El dinero se obtiene de la venta de los cultivos, productos animales, artesanía y de otras fuentes. El análisis de costo y rentabilidad se utiliza para medir los beneficios económicos de una nueva tecnología a nivel del campo. Un análisis general del predio mide los beneficios económicos de las técnicas agrícolas históricas y nuevas en el contexto de todas las actividades económicas, incluyendo otras empresas agrícolas y domésticas y otras operaciones fuera del predio. Los principales recursos de tierra, mano de obra y capital son evaluados sin menoscabar su actual disponibilidad y a la demanda que exista por ellos en un tiempo determinado. Las recomendaciones derivadas de los datos de costo-beneficio deben ser compatibles con el deseo de los

TABLA 4.1 Lista de verificación de información sobre las prácticas de manejo del cultivo que se deben tener en cuenta en cada predio durante todo el año (Byerlee et al. 1980).

<i>Preparación de la Tierra</i>	Tipos de fertilizante(s) incluyendo los orgánicos.
Secuencia de operaciones.	Índice de aplicación.
Programación de cada operación según las precipitaciones.	<i>Número de Programación de Aplicaciones</i>
Equipos usados en cada operación.	Equipo usado para la aplicación
Variación del método según las condiciones de la estación.	Método de aplicación (por ej.: siembra al voleo, surcos, etc.)
<i>Siembra</i>	<i>Control de Plagas</i>
Variedad(es) empleadas	Método de control (tipo, porcentaje, equipo)
Densidad y espaciamiento.	Programación del control
Programación de la siembra según las precipitaciones, las heladas, etc.	<i>Riego</i>
Extensión de las fechas de siembra.	Método de riego
Secuencia de cultivos intercalados.	Frecuencia y programación del riego.
Método de siembra (montes, siembra al voleo, etc.)	<i>Cosecha</i>
Métodos para cobertura de las semillas.	Programación de la cosecha según el nivel de maduración.
Prácticas para replantar parte del campo.	Métodos de cosecha
<i>Entresaca</i>	Uso de hojas y copas para los animales.
Método y programación.	Programación y método para recoger hojas y copa.
Densidad deseada.	Uso de estacas.
Uso de la entresaca.	<i>Post Cosecha</i>
<i>Desmalezaje</i>	Método para trillado/desgrano.
Número de desmalezajes	Programación del trillado/desgranamiento.
Programación de cada uno en relación con la siembra.	Disposición del producto (almacenado, vendido, etc.)
Equipo utilizado para el desmalezaje.	Uso del cultivo para la alimentación local.
Uso de herbicidas (tipo, porcentaje, programación y método de aplicación)	<i>Selección de las Semillas</i>
Uso de las malezas	Tiempo de selección
<i>Fertilización</i>	Criterio para la selección
	Producción de semillas especiales o métodos de almacenamiento.
	Tratamiento de la semilla.

TABLA 4.2 Principales recursos de los sistemas agrícolas que deben evaluarse (Shaner et al. 1982).

TIERRA
Tamaño del predio
Propiedad
Permanencia de uso
Relaciones propietario/arrendatario
Calidad de la tierra (profundidad del suelo, textura, presencia de sustancias tóxicas)
Terreno (laderas, con o sin cultivos de terrazas)
Disponibilidad de agua (cercanía a estanques o corrientes para el ganado, agricultura con riego o secano, dependencia del abastecimiento)
Ubicación (acceso a mercados y otros servicios)
MANO DE OBRA
Miembros de la familia o trabajadores a sueldo. Algunas características importantes son:
Número, edad y sexo de los miembros de la familia y trabajadores
Nivel de productividad y salud
División del tiempo entre actividades dentro y fuera del predio
Extensión y naturaleza de los esfuerzos cooperativos
Otras responsabilidades que influyen en la disposición de tiempo y esfuerzo
CAPITAL
Bienes físicos y financieros que incluyen:
Herramientas y equipos
Construcciones y mejoramiento del terreno
Ganado y otros bienes que se pueden vender para satisfacer las necesidades del agricultor

agricultores por aumentar los ingresos y evitar riesgos, y con la falta de capital para invertir (Perrin et al. 1979).

Esta metodología FSR experimentó una evolución continua y la última versión desarrollada por los científicos del CIMMYT y CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical) (Tripp y Woolley 1989) comprende un proceso de planificación de seis pasos (Figura 4.2):

Paso 1: Elaboración de una lista de problemas que limitan la productividad del sistema agrícola. Ellos pueden ser factores limitantes biológicos o ineficiencias en el uso de los recursos.

Paso 2: Ordenar los problemas identificados según su importancia, incluyendo la distribución del problema y la pérdida en el rendimiento atribuible a dicho problema.

Paso 3: Analizar las causas de los problemas para lo cual existen pruebas suficientes; éstas pueden ser situaciones naturales o socioeconómicas o prácticas culturales.

Paso 4: Analizar las interrelaciones entre los problemas y las causas.

Paso 5: Elaborar una lista para aquellos problemas, en que los científicos tengan pruebas suficientes para entenderlos suficientemente bien como para sugerir posibles soluciones.

Paso 6: Identificar los factores para la experimentación, a fin de evaluar las soluciones propuestas.

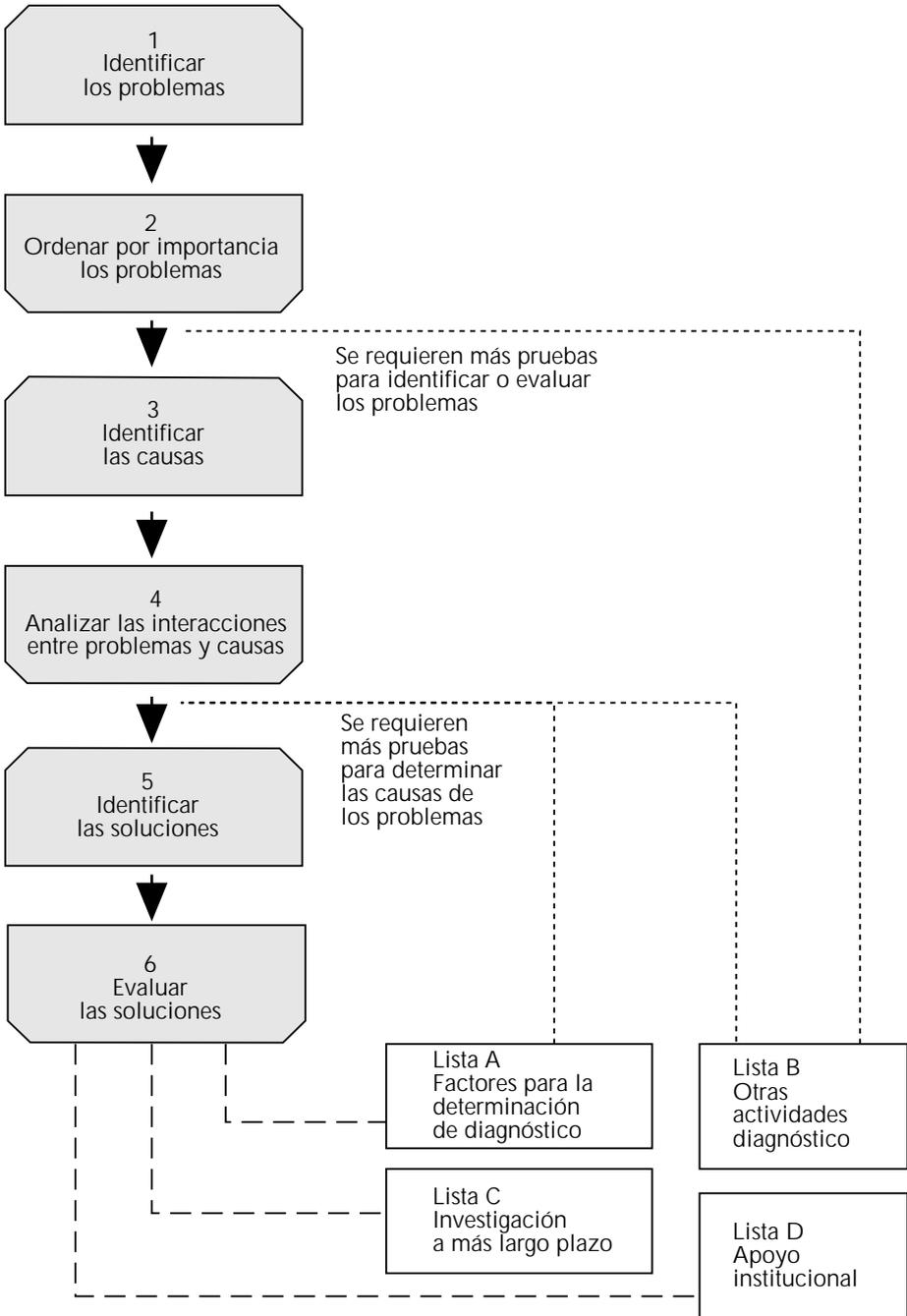


FIGURA 4.2. Las etapas de las investigaciones en el predio (según Tripp y Woolley 1989).

Metodología D y D de ICRAF (International Centre for Research in Agroforestry)

La metodología de diagnóstico y diseño (D y D) de ICRAF identifica las tecnologías agroforestales promisorias (Raintree y Young 1983). Se pone un mayor énfasis en la unidad de manejo doméstico del predio y la satisfacción de sus necesidades. Esta metodología, más que la mayoría de las investigaciones de los sistemas agrícolas, se orienta hacia una mayor gama de objetivos de producción y conservación, poniendo énfasis en la productividad, sustentabilidad y adaptabilidad. Un equipo mínimo incluye uno o más representantes de las ciencias agrícolas (ciencias agronómicas, hortícolas y pecuarias en general) ciencias forestales (en el sentido más amplio), ciencias sociales (sociología/antropología, geografía humana y economía) y ciencias naturales relacionadas con las evaluaciones de los recursos de la tierra (ecología, ciencias del suelo, climatología). La aplicación de los procedimientos D_y_D por un equipo multidisciplinario, abarca generalmente cerca de dos semanas para llevar a cabo el diagnóstico, analizar los resultados y desarrollar conceptos de diseño apropiados para intervenciones agroforestales que mejoren el sistema de uso de tierra existente. Existe un procedimiento de cuatro etapas: prediagnóstico, diagnóstico, diseño y planificación complementaria. Los procedimientos D y D son considerados parte de un proceso continuo de aprendizaje y pueden ser repetidos.

El método agricultor (Centro Internacional de la Papa)

La versión original de este sistema de investigación fue realizada por un grupo de biólogos y antropólogos, que reflexionaron sobre el almacenamiento de papas en Perú, tras 25 años de fracasos en dicha actividad (Rhoades y Booth 1982). Los antropólogos se familiarizaron con los objetivos de las familias campesinas, sus conocimientos y problemas con el almacenamiento de papas, y actuaron como vínculo entre ellos y los biólogos, lo que condujo a un contacto directo con los agricultores. Hubo cuatro etapas: el establecimiento de una definición común del problema; la investigación interdisciplinaria de una solución; la prueba y adaptación en el terreno de la técnica propuesta, con la contribución de ideas de los agricultores; y la evaluación del agricultor. El resultado fue una técnica mejorada y adaptable, capaz de satisfacer los objetivos de los agricultores, que utilizaba materiales a los que ellos tenían acceso, se ajustaba a su diseño tradicional de casas y, sobre todo, la adaptaban ellos mismos. Un elemento clave lo constituyen los cambios de percepción y prioridad por parte de los científicos. Por ejemplo, lo que los científicos consideraban pérdidas, no lo eran necesariamente para los agricultores, quienes utilizaban las papas secas o descompuestas.

Investigación y evaluación de tecnologías

En la mayoría de las metodologías, la interpretación de datos de la investigación permite a los científicos planificar experimentos en los campos de los agricultores. Se selecciona un grupo de agricultores para ayudar a diseñar, probar y evaluar los experimentos. Se debe incluir una amplia muestra de agricultores para evitar las inclinaciones hacia aquellos de reconocida capacidad. Los experimentos se diseñan con el objeto de probar determinadas tecnologías componentes (selección varietal,

métodos de establecimiento de cultivo y labranza, estrategias de manejo de plagas y fertilización) frente a las prácticas actuales de los agricultores. Un principio directriz es que la tecnología componente debe estar acorde con los límites de recursos de la mayoría de los agricultores de la región, y por lo tanto, debe ser ambientalmente apta, socialmente aceptable y económicamente viable. Sin embargo, el agricultor debe ser capaz de decidir libremente las innovaciones que deben llevarse a cabo en sus tierras. Una innovación en el cultivo puede romper el equilibrio económico del agricultor y requiere, por lo tanto, un período de ajuste (Zandstra et al. 1981).

La productividad del sistema no se debe evaluar solamente sobre la base del rendimiento de cultivo por unidad de tierra, sino que debe incorporar las perspectivas de productividad del agricultor, haciendo hincapié en la rentabilidad máxima para los factores más limitantes (mano de obra, dinero, insumos, etc.). Cuando se enfatiza el rendimiento económico a corto plazo del patrón de cultivo, las tecnologías recomendadas casi invariablemente fomentan el uso de técnicas mecanizadas y químicas, características de la agricultura que requiere un uso intensivo de capital (Perelman 1977).

Los ensayos en el campo generalmente incluyen tratamientos que simulan y prueban el nivel de manejo de los agricultores (los que pueden excluir insumos de materiales adquiridos comercialmente), incorporan la tecnología que consideran óptima para el patrón de cultivo y evalúan un tercer nivel de insumos que suponen producirán rendimientos aún mayores (Zandstra et al. 1981). Los experimentos se deben repetir durante dos a cinco años para comprobar la adaptación de las nuevas técnicas a las condiciones locales.

Esta metodología (Figura 4.3) podría funcionar de la siguiente manera (Hart 1978): suponiendo que se cultive en forma conjunta, comúnmente maíz y yuca de manera intercalada en un ambiente tropical húmedo, en parcelas de cinco hectáreas o menos, con ingresos anuales brutos entre U\$S 500 y U\$S 1000, un equipo de investigación analizaría el agroecosistema en el cual el sistema de cultivo de maíz y yuca constituyen un subsistema, y el sistema agrícola en el que se lleva a cabo el plan de manejo del agroecosistema que usa el agricultor. Luego, el equipo recomendaría modifica-

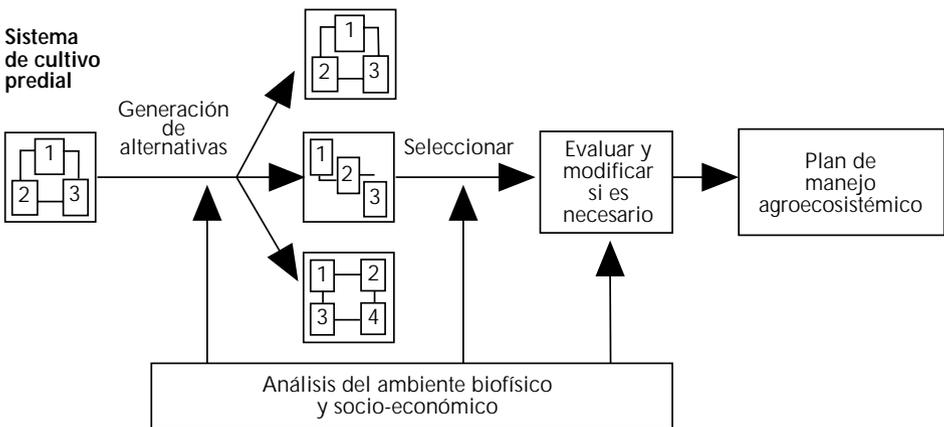


FIGURA 4.3 Secuencia metodológica en la modificación de agroecosistemas con un plan de manejo del agricultor (Hart 1978).

ciones a las prácticas del agricultor para mejorar el ingreso anual mediante el incremento del rendimiento del cultivo. Por ejemplo, el equipo podría recomendar una variedad distinta de maíz, un cambio en la distancia de siembra entre el maíz y la yuca, más fertilizante o abono, o las tres modificaciones. Esta metodología enfatiza fuertemente la participación de los agricultores, ya que al trabajar con éstos a través de todo el proceso de investigación y la modificación de experimentos, según observaciones, asegura una adopción y aceptación más fácil de las tecnologías. Los agricultores, siempre están experimentando y sus innovaciones proveen una base útil para futuras experimentaciones científicas. Una interacción constante con los agricultores pone en alerta a los científicos ante los múltiples problemas que los agricultores enfrentan.

Evaluación Rural Rápida (RRA) y Análisis del Agroecosistema (AEA)

Debido a la necesidad de un diagnóstico multidisciplinario, Conway y Barbier (1990) desarrollaron dos nuevos métodos: el Método de Evaluación Rural Rápida (RRA) y el Análisis del Agroecosistema (AEA). Aunque similar a los métodos FSR descritos anteriormente, el AEA difiere en varios aspectos:

1. Énfasis en el uso de talleres multidisciplinarios y técnicas de evaluación rápida
2. Fundamento en conceptos tanto ecológicos como socioeconómicos;
3. Reconocimiento de la importancia de intercambios en el desarrollo agrícola entre productividad, estabilidad, sustentabilidad y equidad
4. Aplicabilidad no sólo en cuanto a los sistemas agrícolas, sino también respecto al análisis y desarrollo de sistemas mayores a nivel de localidad, cuenca, región, e incluso a nivel nacional.

Extrayendo ideas relevantes de la antropología y otras disciplinas incluyendo la agroecología, RRA ha desarrollado un exclusivo paquete de técnicas como también una clara filosofía que se caracteriza por:

1. Iterativa: metas y procesos modificados por el aprender y el hacer
2. Innovativa: técnicas que se adaptan a cada nuevo problema, en vez de su aplicación de acuerdo a un procedimiento rígido
3. Interactiva: interdisciplinaria
4. Informal: evitar el uso de cuestionarios predeterminados
5. En la comunidad: el aprendizaje se lleva a cabo a través del intercambio de ideas con campesinos en el terreno

El objetivo del equipo multidisciplinario es lograr un grado suficiente de conocimiento acerca de los procesos y propiedades de los agroecosistemas principales, concentrándose sólo en los aspectos y detalles relevantes. El AEA utiliza una diversidad de análisis provenientes de varias fuentes y medios informativos tales como datos secundarios, observaciones empíricas, entrevistas semiestructuradas y la preparación de diagramas. Los habitantes locales son consultados constantemente y participan activamente en la elaboración de diagramas, juegos analíticos, diálogos y talleres. Dependiendo del objetivo y de los tipos de información requerida, existen diferentes clases de RRA:

RRA Exploratoria. Usada para obtener información sobre un nuevo tópico o agroecosistema. El producto es generalmente un conjunto de interrogantes fundamentales e hipótesis.

RRA Temática. Usada para investigar un tema específico, a menudo en la forma de una interrogante o hipótesis clave generada por la RRA exploratoria. Por lo gene-

ral, el producto es una hipótesis detallada y extensa que se puede utilizar como fundamento para la investigación o el desarrollo.

RRA Participativa. Usada para comprometer a los agricultores y autoridades locales en las decisiones sobre las acciones subsiguientes basadas en las hipótesis producidas por las RRA exploratoria y temática. El producto es un conjunto de pruebas realizadas por los agricultores o el desarrollo de una actividad que compromete estrechamente a la comunidad.

RRA Exploratoria. Usada para vigilar el progreso de las pruebas, experimentos y puesta en marcha de la actividad de desarrollo. El producto es generalmente una hipótesis ya estudiada conjuntamente con cambios consecuentes efectuados en las pruebas, o el desarrollo de una charla, todo lo cual supuestamente, arrojará beneficios.

La emergencia de la RRA ha enriquecido considerablemente la disponibilidad de métodos de análisis para el desarrollo rural. Las técnicas se pueden elegir de acuerdo con la naturaleza del problema, la situación local y los recursos disponibles. En particular, se pueden combinar diferentes técnicas, tanto formales como informales, para producir un proyecto ciclado de acuerdo con las líneas de la Figura 4.4, aplicables a una amplia gama de proyectos grandes y pequeños. En dicho esquema, el papel principal de la RRA es definir y perfeccionar hipótesis que luego son probadas formal o informalmente, como parte del ciclo del proyecto, suponiendo que el ciclo es repetitivo, flexible y abierto. Los defensores de la RRA consideran que debería ser posible combinar velocidad con rigor y sensibilidad, lo que se traduciría en un desarrollo productivo, durable y equitativo en sus beneficios.

Pasos en la RRA

Selección del terreno. Los terrenos para el análisis RRA se eligen mediante las recomendaciones de la comunidad o de acuerdo con el consejo de autoridades de exten-

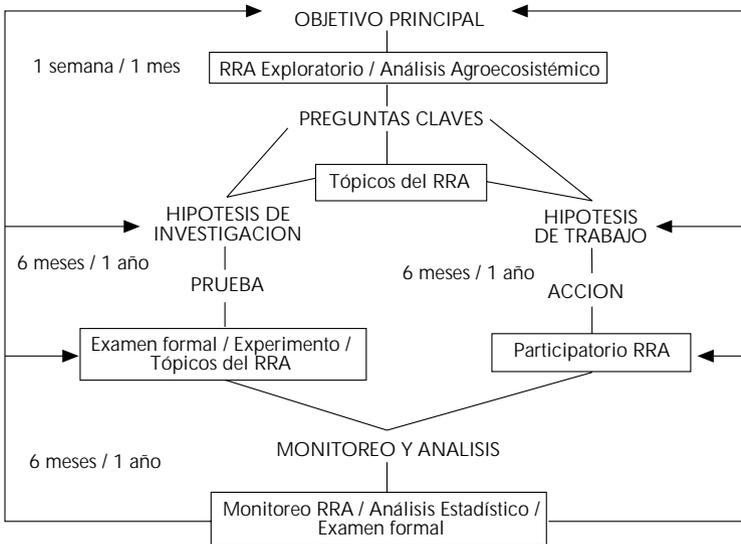


FIGURA 4.4 Un modelo para el diseño y puesta en práctica de un proyecto que combina el uso de una Evaluación Rural Rápida y el estudio y análisis formal (según Conway y Barbier 1990)

sión o gubernamentales. Las ubicaciones tienden a ser lugares donde ha habido prolongadas dificultades ecológicas o problemas en la productividad.

Visitas preliminares. Un equipo generalmente consiste en cuatro o seis especialistas en agua, suelo, silvicultura, ganadería, desarrollo de comunidades y otras áreas relacionadas con el manejo de los recursos naturales, que se reúne con los líderes de la localidad antes de comenzar una RRA para clarificarles aquello que se hará y aquello que no se hará.

Recopilación de datos. Existen cuatro grupos básicos de datos que se busca reunir:

1. **Datos espaciales.** Incluyen un mapa de bosquejos de la localidad, recopilados con la cooperación de los líderes de la comunidad, para identificar los detalles físicos y económicos y establecer la infraestructura de la comunidad.

Un *transecto* de la localidad, con la cooperación de residentes, para identificar tipos de uso de la tierra, problemas y oportunidades de solución. El transecto también ayuda al equipo a determinar la existencia de subzonas dentro de la comunidad que requieran consideración especial (Figura 4.5).

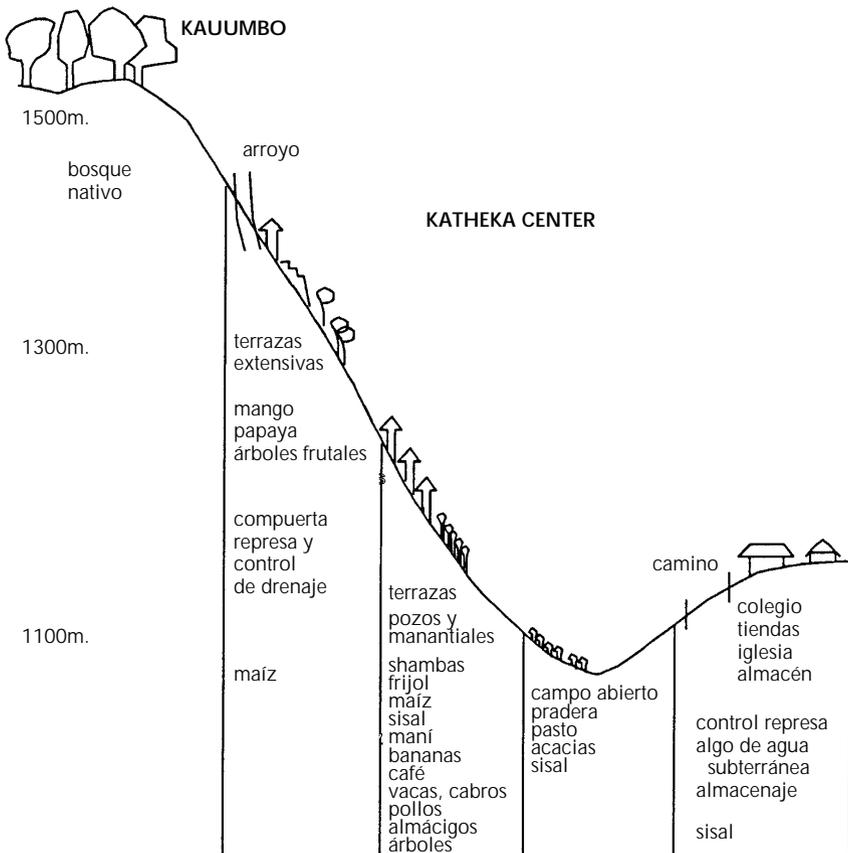


FIGURA 4.5 Transecto de la localidad, donde se delinear los problemas y las características principales de las subzonas (Mwagiru et al. 1989).

Bosquejos del predio representativos de las familias de la comunidad. Es posible identificar de seis a ocho predios, poniendo especial atención en incluir ejemplos de las distintas variaciones étnicas, ecológicas, de ingresos y uso de la tierra, presentes en la comunidad.

2. **Datos relacionados con el tiempo.** El equipo se reúne con residentes (que incluye hombres, mujeres, jóvenes y viejos) para discutir los hechos que consideran más importantes en el pasado de la comunidad y preparar una línea de tiempo.

Las *líneas de tendencia* se desarrollan, sobre la base de las perspectivas de la localidad a partir de un patrón de cambios de treinta o cuarenta años en cuestiones de recursos tales como las precipitaciones, la producción de cultivos, la pérdida del suelo, la deforestación, la salud, la población y otros temas que conciernen a la comunidad.

El equipo organiza un *calendario de temporadas*, con datos sobre temas como el uso de la tierra, el hambre, la enfermedad, superávit de alimentos y disponibilidad de dinero, y los ingresos a una escala de tiempo de 12 a 18 meses.

3. **Datos institucionales.** El equipo RRA reúne también datos acerca de las instituciones comunales. A grupos de residentes se les pide que clasifiquen las instituciones de la comunidad en orden de importancia y que construyan diagramas que indiquen las relaciones entre éstas y la cantidad de viviendas de la localidad.

4. **Datos técnicos.** Además de los datos sociales, espaciales y temporales, el equipo reúne información sobre la viabilidad técnica y económica, por ejemplo: agua o suelos que se necesitan para ayudar a la comunidad a clasificar la actividad de los proyectos.

Análisis y síntesis de datos. El equipo, en ocasiones junto a uno o dos líderes comunales, organiza los datos recolectados y recopila una lista de problemas y oportunidades para una posible clasificación, que incluyen varias actividades.

Clasificación de problemas. La comunidad se reúne a clasificar los problemas puestos en la lista. En algunos casos, los miembros del equipo dirigen la discusión. El resultado es un conjunto de problemas clasificados de mayor a menor gravedad, en concordancia con los grupos de la localidad.

Clasificación de oportunidades. Los grupos de la comunidad clasifican luego las oportunidades y las soluciones correspondientes a los problemas de mayor prioridad. Es posible lograr que las distintas estrategias tengan la posibilidad de lograr consenso acerca de las oportunidades más factibles. Los criterios de clasificación incluyen: estabilidad, equidad, productividad, sustentabilidad y factibilidad. Los técnicos juegan un importante papel en esta discusión, de manera tal que las soluciones sean posibles en términos técnicos, económicos, ecológicos y sociales.

La adopción de un Plan de Manejo de Recursos de la Comunidad (VRMP). Las soluciones más prioritarias se organizan en un VRMP que toma la forma de un contrato entre los grupos de la comunidad, los técnicos, las ONGs (si alguna ha participado) y los grupos externos (como una agencia donante o internacional).

Implementación. Una vez que se ha completado el VRMP, es el momento de efectuar el trabajo. Los mejores resultados en el seguimiento de dicha etapa se han logrado cuando un líder comunal ha tomado la dirección y cuando el verdadero trabajo ha sido realizado principalmente por los grupos de ayuda de la misma comunidad.

Quizás el aspecto más importante de la RRA es el de facilitar un enfoque de desarrollo de tecnología realmente participativo (PTD). La viabilidad del PTD requiere la formación de un conjunto de relaciones entre los que desarrollan el trabajo y la gente del lugar. Los seis tipos básicos de actividades en el proceso PTD y los ejemplos de métodos relacionados con ellos están delineados en la Tabla 4.3.

TABLA 4.3 Seis tipos de actividades en el desarrollo de la tecnología participativa (según Reijntjes et al. 1992).

ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	EJEMPLOS DE MÉTODOS OPERACIONALES	EJEMPLOS DE INDICADORES DE PRODUCCIÓN
Comienzo	Establecimiento de relaciones de cooperación. Análisis de la situación preliminar. Movilización de conciencia.	Inventario de recursos organizacionales. Caminata comunal. Selección de datos secundarios. Censo de problemas. Estudio de la comunidad.	Inventarios. Protocolos para la participación de la comunidad. Red PTD central. Conciencia agroecológica mejorada.
Buscando qué experimentar	Identificación de prioridades. Identificación de conocimiento/información científico y comunal. Selección de opciones y elección de criterios.	Taller experto de agricultores. Técnicas para proporcionar conocimiento indígena. Gira de estudio. Taller de selección de opciones.	Calendario acordado de investigación. Capacidad local mejorada para diagnosticar problemas e identificar opciones para el mejoramiento. Autorespeto mejorado de selección.
Diseño de experimentos	Diseños experimentales confiables, experimental existente. Planificación y diseño de experimentos. Diseño de protocolos de evaluación.	Revisión de práctica. Capacitación agricultor-agricultor. Taller de diseño. Prueba de diseños alternativos.	Mejora de la experimentación natural evaluables, manejables. Protocolos para monitoreo y evaluación. Capacidad local mejorada para diseñar experimentos.
Pruebas	Puesta en funcionamiento de experimentos. Medición/observación. Evaluación.	Puesta en funcionamiento gradual. Reuniones regulares de grupos. Días en el campo/visitas de intercambio. Refuerzo de los nexos extensos y fuertes.	Programa experimental actual. Capacidad local mejorada para poner en funcionamiento, monitorear y evaluar el experimento. Nexos de apoyo e intercambio.
Compartiendo resultados	Comunicación de ideas y principios básicos, resultados y proceso PTD. Capacidad local mejorada para tecnología probada y uso de métodos experimentales.	Visitas a sitios secundarios. Capacitación de agricultor-agricultor. Audiovisuales y manuales de agricultores. Talleres en el campo.	Difusión espontánea de las ideas y resultados. Tecnologías. Mejores habilidades, para capacitación y comunicación de agricultor a agricultor. Número creciente de aldeas que participan en el PTD.
Mantenimiento del proceso	Creación de condiciones favorables para la experimentación y el desarrollo agrícola.	Desarrollo organizacional. Documentación de la experimentación. Monitoreo participativo de impactos sobre la sustentabilidad agroecológica.	Redes/organizaciones comunales consolidadas para el automanejo rural. Materiales de recurso. Nexos consolidados con instituciones.

Diseñando agroecosistemas sustentables

La búsqueda de sistemas agrícolas autosuficientes y diversificados de baja utilización de insumos y que utilicen eficientemente la energía, es ahora una gran preocupación para algunos investigadores, agricultores y políticos en todo el mundo. Una estrategia clave en la agricultura sustentable es la de restaurar la diversidad del paisaje agrícola (Altieri 1987). La diversidad puede aumentarse en el tiempo mediante el uso de rotaciones de cultivos o cultivos secuenciales y en el espacio, a través del uso de cultivos de cobertura, cultivos intercalados, agroforestería y los sistemas mixtos de producción de cultivo y ganado. La diversificación de la vegetación no sólo da como resultado una regulación de las plagas mediante la restauración del control natural, sino que también permite el reciclaje óptimo de nutrientes, una mayor conservación del suelo, de la energía y una menor dependencia de insumos externos.

La agricultura sustentable generalmente se refiere a un modo de agricultura que intenta proporcionar rendimientos sostenidos a largo plazo, mediante el uso de tecnologías ecológicas de manejo. Esto requiere que el sistema agrícola sea considerado como un ecosistema (de aquí el término agroecosistema) debido a que la agricultura y la investigación no están orientados a la búsqueda de altos rendimientos de un producto en particular, sino más bien a la optimización del sistema como un todo. Se requiere además ver más allá de la producción económica y considerar la cuestión vital de la sustentabilidad y estabilidad ecológica.

Eligiendo un sistema agrícola

El primer paso para diseñar un sistema agrícola es el de conceptualizarlo. Cualquier concepto de un sistema agrícola debe incluir por lo menos lo siguiente (Spedding 1975):

Propósito: Por qué el sistema debe ser establecido.

Delimitación: Dónde empieza y termina el sistema.

Contexto: El ambiente externo en el que funciona el sistema.

Componentes: Los principales constituyentes que forman el sistema.

Interacciones: Las relaciones entre los componentes.

Insumos: recursos externos usados para el funcionamiento del sistema.

Recursos: Componentes que están dentro del sistema y que son usados en su funcionamiento.

Productos finales: Los principales productos deseados.

Subproductos: Productos útiles pero incidentales.

Cuando se idealizan los agroecosistemas, resulta importante considerar las siguientes ideas claves:

1. Los agroecosistemas son una acumulación de componentes abióticos y bióticos que pueden combinarse para formar una unidad de funcionamiento ecológico.
2. Los agroecosistemas pueden establecerse de manera tal que sean capaces de autorregularse dentro de límites definidos.
3. Los agroecosistemas varían de acuerdo a la naturaleza de sus componentes, a su ensamblaje en el tiempo, el espacio y a nivel de intervención humana.
4. Ningún agroecosistema es una unidad completamente independiente, además biológicamente rara vez tienen límites bien definidos.
5. Los agroecosistemas pueden ser de cualquier escala biogeográfica.

El próximo paso es el comparar las necesidades del sistema conceptualizado, tan cercanamente como sea posible con los recursos disponibles, condiciones y restricciones locales (Spedding 1975). Las consideraciones que determinan la viabilidad, ganancia, practicabilidad y preferencias, se resumen en la Tabla 5.1.

Claramente, los ambientes difieren en sus recursos y restricciones y en el grado en que éstos pueden modificarse. Las necesidades de recursos pueden también modificarse en cierto modo, pero toda modificación involucra algún costo. En general, los sistemas basados en cultivos anuales de materiales fibrosos requieren menos inversión y modificación ambiental que los sistemas de cultivos especializados de frutas y hortalizas (Tabla 5.2).

Elementos de sustentabilidad

Los dogmas básicos de un agroecosistema sustentable son la conservación de los recursos renovables, la adaptación del cultivo al ambiente y el mantenimiento de un nivel alto, aunque sustentable, de productividad. Para poner énfasis en la sustentabilidad ecológica a largo plazo, más que en la productividad a corto plazo, el sistema debe:

- Reducir el uso de energía y recursos.
- Emplear métodos de producción que restablezcan los mecanismos homeostáticos conducentes a la estabilidad de la comunidad, optimizar las tasas de intercambio, el reciclaje de materia y nutrientes, utilizar al máximo la capacidad multiuso del sistema y asegurar un flujo eficiente de energía.
- Fomentar la producción local de ítemes alimenticios, adaptados al establecimiento socioeconómico y natural.
- Reducir los costos y aumentar la eficiencia y la viabilidad económica de los pequeños y medianos agricultores, fomentando así un sistema agrícola potencial-

TABLA 5.1 Factores que afectan la elección de sistemas agrícolas (según Spedding 1975).

Factores ecológicos	Restricciones de infraestructura	Limitantes económicas externas	Factores operacionales internos	Aceptación personal
Climáticos	Tenencia de tierra	Mercados	Tamaño del predio	Preferencia personal
Suelo	Suministro de agua	Comunicaciones	Disponibilidad de mano de obra	
Biológicos	Suministro de energía	Disponibilidad de crédito		

mente resiliente y diverso. De esta manera, un punto clave en el diseño de agroecosistemas sustentables es el comprender que hay dos funciones en el ecosistema que deben ser realizadas en los campos agrícolas: la biodiversidad de los microorganismos, plantas y animales, y el reciclaje de nutrientes y de materia orgánica.

Como se demuestra en la Figura 5.1 desde el punto de vista del manejo, los componentes básicos de un agroecosistema sustentable que realizarán estas funciones incluyen:

1. Cubierta vegetal como una medida eficaz de conservación del agua y del suelo mediante el uso de prácticas de cero labranza, uso de mulch, cultivos de cobertura, etc.
2. Suministro continuo de materia orgánica mediante la adición regular de compostos orgánicos (abono, compost) y la promoción de la actividad biótica del suelo.

TABLA 5.2 Algunos factores que favorecen el éxito en los agroecosistemas modernos (según Thorn y Thorn 1979).

Factores	Requerimientos de cultivos en el campo	Hortalizas, frutas, o cultivos especiales
Tamaño del predio	Variable, pequeño a grande si esta mecanizado para la cosecha	Variable, pequeño a mediano
Clima	Límites, tipos y variedades de cultivo	Una restricción para muchos cultivos específicos con las heladas
Suelo	Clases I a III, dependiendo de las prácticas de conservación del suelo	Clase I, pero muchos cultivos tienen necesidades (suelos planos, elevada fertilidad, etc)
Agua	Buen suministro de agua, puede adaptarse a algunas condiciones de aridez	Necesita un buen suministro de agua
Necesidades de mano de obra	Variadas	Generalmente altas
Mano de obra especializada	Medianas	Alta para algunos cultivos
Inversión de capital, maquinaria, edificaciones	Variadas	Generalmente altas
Necesidades de fertilizantes	Grandes, especialmente de nitrógeno	Grandes y variados. Muchos requieren micronutrientes
Control de plagas	Variadas, dependiendo de la diversidad de plantas	Grandes para algunos cultivos que demandan una gran calidad cosmética
Uso de rotaciones de cultivos	Variadas	Variadas, con falta de cultivos frutales

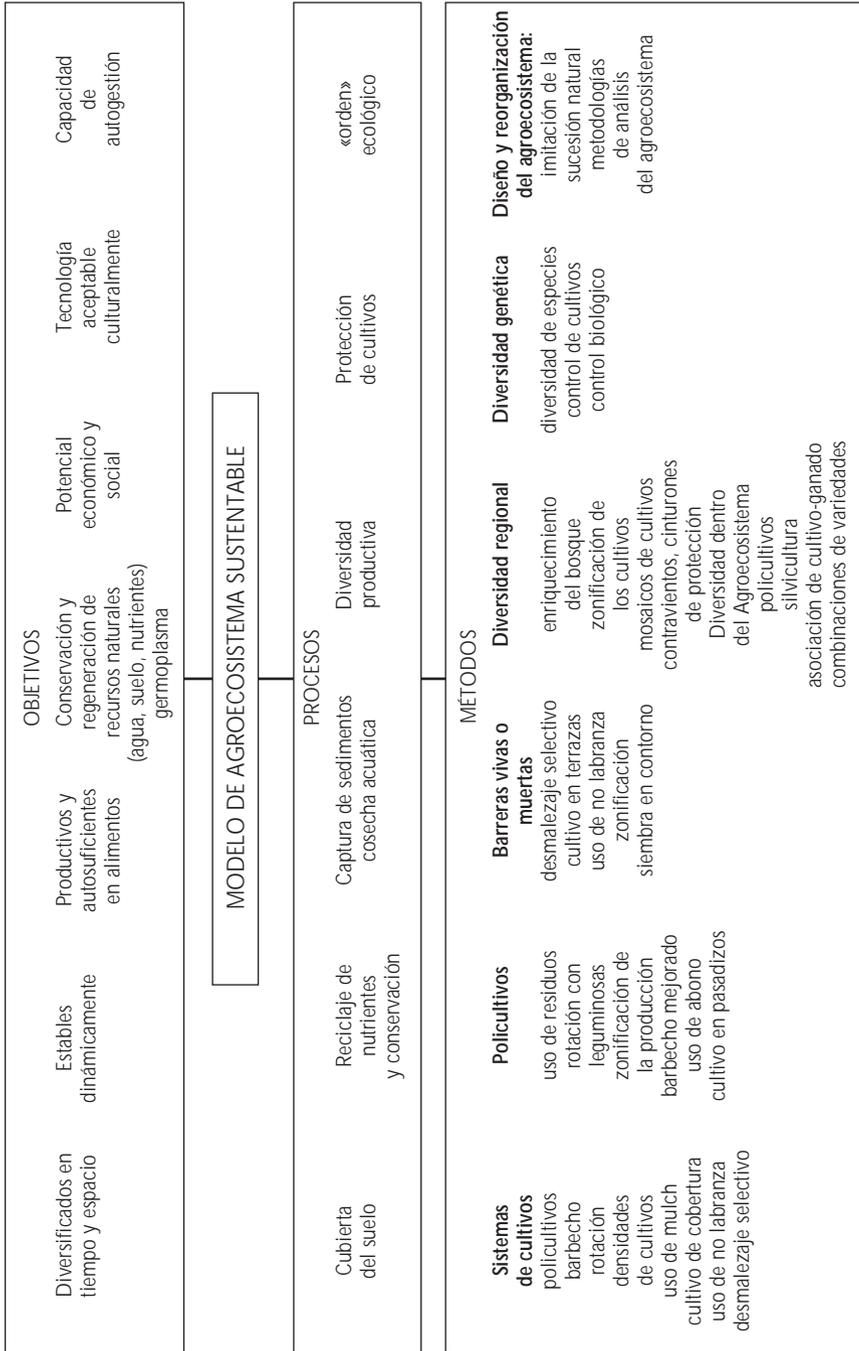


FIGURA 5.1 Objetivos y procesos en el diseño de un agroecosistema sustentable modelo.

3. Mecanismos de reciclaje de nutrientes por medio del uso de rotaciones de cultivos, sistemas mixtos cultivo/ganado, agroforestería y cultivos intercalados basados en leguminosas, etc.
4. Regulación de plagas asegurada mediante un aumento de la actividad biológica de los agentes de control, logrado por el manejo de la biodiversidad e introduciendo y/o conservando los enemigos naturales.

Los conceptos básicos de un sistema agrícola autosuficiente, de bajos insumos, diversificado y eficaz, deben sintetizarse en sistemas alternativos prácticos que se ajusten a las necesidades específicas de las comunidades agrícolas en distintas regiones agroecológicas del mundo. Una importante estrategia en la agricultura sustentable es la de regular la diversidad agrícola en tiempo y espacio mediante rotaciones de cultivos, cultivos de cobertura,

Como se ve en la Figura 5.2, las distintas opciones para diversificar los sistemas de cultivos están disponibles dependiendo de si los sistemas actuales de monocultivos a modificarse se basan en cultivos anuales o perennes. La diversificación puede también tomar lugar fuera del predio, por ejemplo, en los linderos de los cultivos en el predio, utilizando barreras cortavientos, cinturones de protección y cercos vivos, lo que puede mejorar el hábitat para la fauna silvestre y los insectos benéficos, proporcionar fuentes de madera, materia orgánica, recursos para abejas polinizadoras y, además, modificar la velocidad del viento y el microclima (Altieri y Letourneau 1982).

Existen muchas estrategias alternativas de diversificación que muestran efectos benéficos en la fertilidad del suelo, la protección y los rendimientos de los cultivos. Si se utiliza una o más de estas tecnologías alternativas, las posibilidades de mejorar y complementar interacciones entre los componentes de los agroecosistemas (ver Figura 5.3), dando como resultado uno o más de los siguientes efectos:

1. Cubierta vegetal continua para la protección del suelo.
2. Producción constante de alimentos, asegurando una dieta variada y diversos productos comercializables.
3. Cierre de ciclos de nutrientes y uso eficaz de los recursos locales.
4. Conservación del suelo y del agua mediante el uso de mulch y de protección contra el viento.
5. Control biológico de plagas mejorado mediante la diversificación.
6. Aumento de la capacidad multiuso del paisaje.
7. Producción sostenida de cultivos, sin usar insumos químicos degradantes del medio ambiente.

Para lograr la sustentabilidad es necesario comprender en detalle los cuatro sistemas de la agricultura (Raeburn 1984):

1. Biológico: plantas y animales y los efectos de los factores físicos y químicos (clima, suelo) y de las actividades de manejo (riego, fertilización, labranza) sobre la actividad vegetal y animal.
2. Trabajo: las tareas físicas de la agricultura y de qué manera pueden lograrse al combinar mano de obra, experiencia, maquinaria y energía.
3. Economía agrícola: los costos de producción y los precios de los cultivos cada día más altos, las cantidades producidas y utilizadas, los riesgos y todos los otros determinantes del ingreso agrícola.
4. Socioeconómico: mercados para productos agrícolas, derechos de uso de la tierra y mano de obra, maquinaria, combustible, insumos, crédito, impuestos, investigación, asistencia técnica, etc.

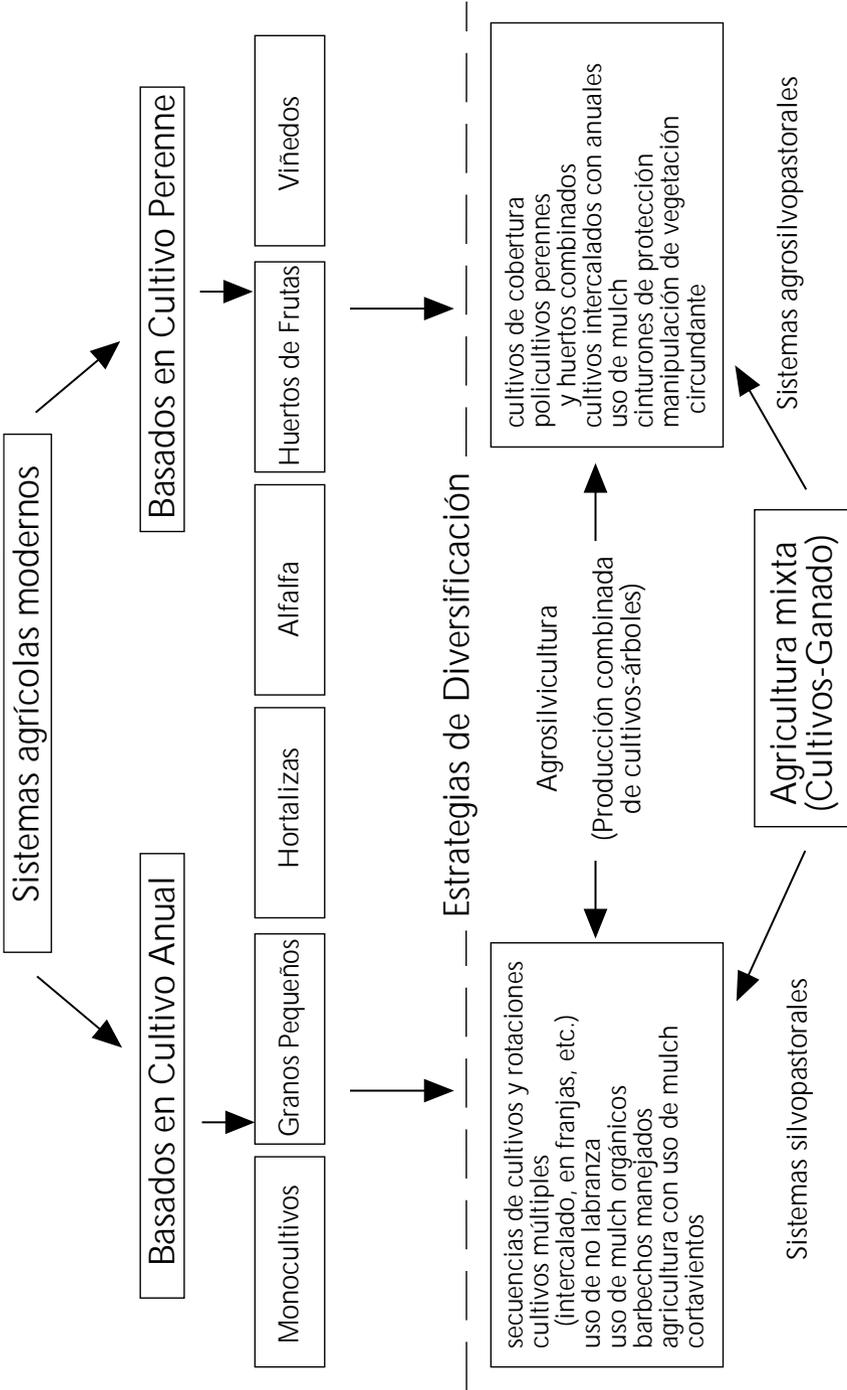


FIGURA 5.2 Opciones de diversificación para cultivos anuales o perennes basado en sistemas de cultivos intercalados, combinaciones de cultivo/ganado, etc. (Altieri 1987).

El estudio de estos subsistemas se facilita con el enfoque agroecológico que proporciona un marco conceptual para estudiar las interacciones dentro y entre los subsistemas. Tales interacciones pueden estudiarse a cualquier nivel. Una ventaja del marco de trabajo es que los seres humanos pueden estudiarse como componentes integrales de los agroecosistemas.

Modelos para el diseño del agroecosistema

Los límites fisiológicos de los cultivos, la capacidad sustentadora del hábitat y los costos externos para mejorar la producción, ponen un techo al potencial productivo. Este punto es el «equilibrio del manejo» (Lewis 1959) en el que el ecosistema, en equilibrio dinámico con factores ambientales y de manejo, produce un rendimiento sostenido. Las características de este equilibrio variarán con los distintos cultivos, las zonas geográficas y los objetivos del manejo, de manera que serán altamente específicas del sitio. Sin embargo, las pautas generales para diseñar sistemas de producción equilibrados y bien adaptados pueden tomarse del estudio de las características estructurales y funcionales del ecosistema natural o seminatural que permanezcan en la zona donde se practica la agricultura. Se pueden explorar cuatro fuentes principales de información «natural»:

Producción primaria. Cada zona se caracteriza por un tipo de vegetación con una capacidad específica de producción, dependiendo de los factores climáticos y edáficos. Una zona natural de pastizales (con un valor de productividad de 6.600 gr/m²) no es capaz de soportar un bosque de 26.000 gr/m², a menos que se adicione los subsidios al sistema. De esta manera, si un pastizal natural necesita transformarse en un sistema agrícola, debería reemplazarse con cereales más que con huertos.

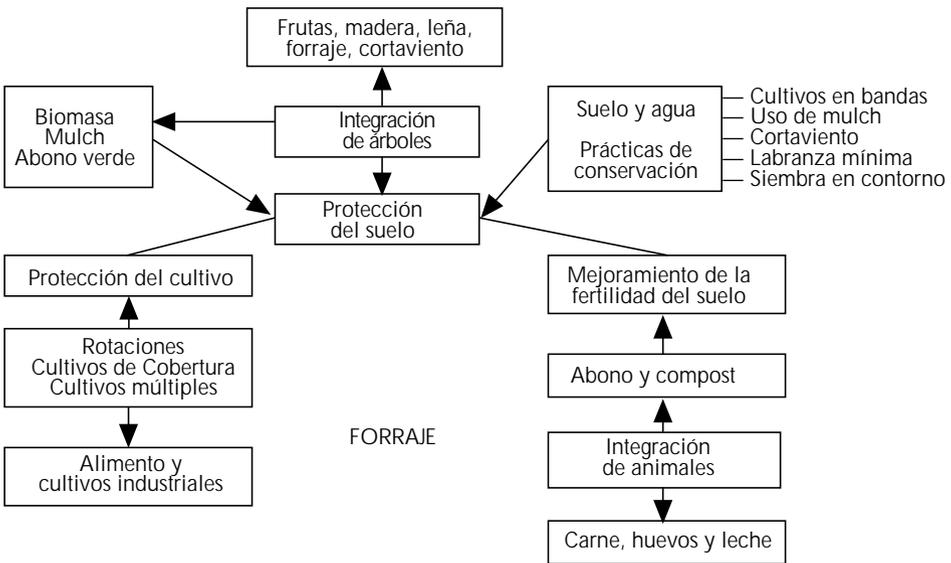


FIGURA 5.3 Interacciones complementarias en sistemas diversificados de cultivo que dan como resultado mejor fertilidad del suelo y protección biológica.

Capacidad de uso de la tierra. Los suelos han sido clasificados en ocho clases según su capacidad de uso de la tierra, dependiendo de factores físicoquímicos, como pendiente o disponibilidad de agua (Vink 1975). De acuerdo a esta clasificación, los suelos de las clases I y II son muy fértiles, tienen buena permeabilidad y textura, son profundos y resistentes a la erosión; en resumen, son apropiados para muchos tipos de cultivos. Sin embargo, cuando árboles y arbustos son reemplazados por trigo en suelos de laderas (i.e., suelo de clase VI), las cosechas disminuyen progresivamente y el suelo se vuelve peligrosamente erosionado (Gasto y Gasto 1970). Es por esto que al determinar la adaptabilidad de una extensión de tierra para un uso agrícola dado, resulta importante considerar cualidades como: disponibilidad de agua, nutrientes y oxígeno; profundidad y textura del suelo; salinización y/o alcalinización; posibilidades para la mecanización; y resistencia a la erosión (Vink 1975). La Figura 5.4 muestra la relación entre los tipos de uso de la tierra (clasificado por el USDA) y la intensidad con la que cada tipo puede usarse en forma segura.

Patrones vegetacionales: La vegetación de un ecosistema natural puede usarse como un modelo arquitectónico y botánico para diseñar y estructurar el agroecosistema que lo reemplazase. El estudio de la productividad, la composición de las especies, la eficacia en el uso de los recursos, la resistencia a las plagas y la distribución de la zona de hojas en comunidades vegetales naturales es importante para construir agroecosistemas que imiten la estructura y función de los ecosistemas naturales (Ewell 1986). En las tierras bajas húmedas tropicales, Ewell afirma que construir agroecosistemas de tipo forestal que imiten la sucesión vegetacional es el único me-

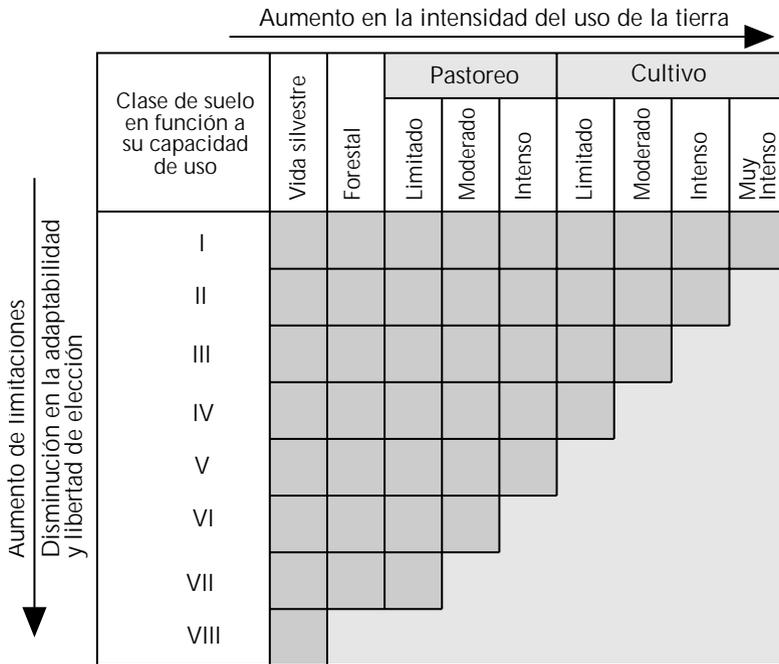


FIGURA 5.4 Relación entre las clases de suelos y la intensidad con la que cada clase debe usarse (Vink 1975).

dio para establecer una agricultura sustentable. Dichos agroecosistemas debieran mostrar pocas necesidades de fertilizante, uso eficaz de los nutrientes disponibles y gran resistencia contra plagas.

Este método análogo de sucesión requiere una descripción detallada de un ecosistema natural en un ambiente específico y la caracterización botánica de todos los cultivos componentes potenciales. Cuando esta información está disponible, el primer paso es encontrar las plantas para cultivo que sean similares estructural y funcionalmente a las plantas del ecosistema natural. La disposición espacial y cronológica de las plantas en el ecosistema natural se utilizan luego para diseñar un sistema análogo de cultivos (Hart 1978). En Costa Rica, Ewell et al. (1984) condujo reemplazos espaciales y temporales de especies silvestres por cultivares, botánica, estructural y ecológicamente similares. De este modo, los miembros de la sucesión del sistema natural como *Heliconia* spp., enredaderas cucurbitáceas, *Ipomoea* spp., enredaderas de leguminosas, arbustos, pastos y árboles pequeños, se reemplazaron con plátano, variedades de zapallo y ñame. Durante años, dos o tres cultivos de árboles de rápido crecimiento (castañas de cajú, durazno, palma, palo de rosa) pueden formar un estrato adicional, manteniendo así la cubierta continua de cultivos, evitando la degradación del suelo y la lixiviación de nutrientes y proporcionando productos cosechables a lo largo de todo el año (Uhl y Murphy 1981).

Gasto (1980) diseñó un sistema de conversión similar en el matorral mediterráneo de Chile central. La vegetación de matorral consiste en arbustos (especialmente *Acacia caven*) y un sustrato de pastos mezclados. Las exitosas pasturas de ovejas se desarrollaron donde se reemplazó la capa de arbusto natural con *Atriplex* spp., considerado una fuente de alimento para los animales. De esta manera, la composición de especies fue alterada, pero quedó intacto el perfil estructural.

La imitación agrícola de ecosistemas naturales se puede diseñar, y basándose en este concepto Soule y Pioer (1992) proponen el llano de las grandes planicies como modelo natural adecuado para un agricultura de producción de pastos. De manera contraria a los monocultivos de los cultivos anuales como maíz, trigo, sorgo y soya, que ya ocupan la mayoría de los suelos de los llanos, un agroecosistema modelado basándose en la llanura sería dominado por mezclas perennes, leguminosas y compuestas como cultivos de semillas cuya composición de especies variarán dependiendo del tipo de suelo y clima. Los policultivos de plantas de semillas herbáceas perennes, basados en el modelo de las comunidades de las llanuras, pueden componerse de plantas que se diferencien en el uso estacional de nutrientes, por lo cual, pueden jugar roles complementarios en el campo. Para tal agricultura perenne, se consideran candidatos adecuados los pastos C₃, ballico o leymus (*Leymus racemosus*) y wheatgrass (*Agropyron intermedium*), los C₄ gamagrass orientales (*Tripsacum dactyloides*), (bundleflower) leguminosas de Illinois (*Desmanthus illinoensis*) y el girasol Maximiliano (*Helianthus maximilianii*), una compuesta.

Potencialmente, este tipo de agricultura podría utilizar muchas de las características sustentables de la llanura. El componente leguminosa podría ayudar a mantener una provisión de fertilidad interna. La variedad de las adaptaciones climáticas y la variación estacional del crecimiento y la reproducción, podrían conducir a la elasticidad y fomentar el uso eficiente de los recursos disponibles. La diversidad de cultivos, incluyendo algunas especies nativas, podría permitir el desarrollo de algunos controles y equilibrios naturales de herbívoros, enfermedades y malezas.

Algunas de las mayores implicancias de una agricultura de granos basada en cultivos perennes son la conservación de los recursos naturales, la reforma del actual

sistema económico hacia uno con bases más ecológicas (es decir, la naturaleza como modelo de la economía), y una sociedad que emplee la naturaleza en términos ecológicos. Un sistema económico con bases ecológicas consideraría la disponibilidad de capital ecológico, y enfatizaría un sistema continuo de ciclaje de los recursos, la eficiencia de la transferencia energética, y la dependencia en la energía biológica o solar disponible.

Se podría hacer una lista con los beneficios potenciales de los policultivos perennes que resultarían de la combinación de estas características sustentables potenciales con amplias implicancias para la sociedad y el medio ambiente: (1) reducción o eliminación de la erosión del suelo; (2) uso eficiente de las tierras y de los nutrientes del suelo; (3) aumento de la eficiencia del uso del agua; (4) reducción de la dependencia en los fertilizantes nitrogenados producidos industrialmente; (5) disminución de plagas y epidemias; (6) manejo eficiente de las malezas sin sustancias químicas; (7) reducción de la energía utilizada en labranza; (8) reducción de la contaminación química de suelo y agua; y (9) seguros contra pérdidas de cultivos completos.

Conocimiento de las prácticas agrícolas locales

En la mayoría de las zonas rurales, los agricultores han estado cultivando durante decenios. Algunos han tenido éxito en el desarrollo de sistemas de cultivos que se adaptan a las condiciones locales y otros no (Capítulo 6). A pesar del avance vertiginoso de la modernización y los cambios económicos, sólo sobreviven unos pocos sistemas de manejo agrícola tradicionales. Estos sistemas presentan importantes elementos de sustentabilidad; es decir, están bien adaptados a su medio ambiente, dependen de recursos locales, se desarrollan a pequeña escala en forma descentralizada y conservan los recursos naturales. A nivel del campo, los policultivos tradicionales a menudo igualan a las comunidades de plantas naturales pues contienen:

- Diversidad genética en las especies de plantas.
- Relaciones tróficas complejas entre cultivos, malezas, insectos y agentes patógenos.
- Ciclos de nutrientes relativamente cerrados, con variadas necesidades nutricionales por parte de los cultivos, satisfechas mediante el uso de rotaciones, barbecho o abono.
- Cubierta vegetal del suelo todo el año.
- Uso eficiente del agua, suelo y luz solar.
- Bajos riesgos de pérdida de cultivos, debido a la diversidad.
- Alto nivel de la estabilidad productiva, debido a la compensación de los diversos componentes, cuando uno falla.

De esta manera, aunque los pequeños agricultores de las zonas tropicales con poco capital o apoyo institucional han sido confinados a suelos agrícolas marginales y de baja calidad, sus sistemas entregan una valiosa información para el desarrollo de sistemas de rendimiento sostenido.

Elección de un sistema de cultivo

Los sistemas de producción de cultivos incluyen tanto los cultivos como las prácticas asociadas de producción y las técnicas que estimulen su crecimiento. Los sistemas de cultivo pueden consistir de un monocultivo continuado, o secuencias formales de cultivos que se repiten en un patrón ordenado para formar una rotación. También pueden

incluir disposiciones flexibles en tiempo y espacio de uno o más cultivos (cultivo intercalado, cultivo de relevo) y sucesiones intensivas de cultivos dentro del año o incluso dentro de las temporadas. Los sistemas de cultivos varían ampliamente por las diferencias en el suelo, el clima, la economía local y los sistemas sociales.

El crecimiento y el rendimiento del cultivo están sometidos a las condiciones ambientales (topografía, precipitaciones, textura y fertilidad del suelo) y a las condiciones de manejo (tiempo de plantación, deshierbe, etc.). Antes de diseñar nuevos sistemas de cultivos para una zona que ya se ha cultivado, se deben caracterizar los sistemas existentes en términos de la temperatura y las precipitaciones (Beets 1982). Un simple diagrama climático con los meses en el eje de las X, la temperatura promedio (grados Celcius) al lado izquierdo del eje de las Y y la precipitación promedio al lado derecho, manteniendo la relación de un grado Celsius a 2 mm. de precipitación, es un buen comienzo. Esta relación se aproxima vagamente a la evaporación; cuando la curva de precipitaciones está más baja que la de la temperatura, denota un período de sequía. Es así como un análisis de este diagrama (Figura 5.5) en el estado de México refleja cuatro períodos agronómicos muy importantes:

1. Bajo riesgo de heladas a fines de la primavera.
2. Comienzo de las lluvias.
3. Período de crecimiento promedio.
4. Primeras heladas otoñales.

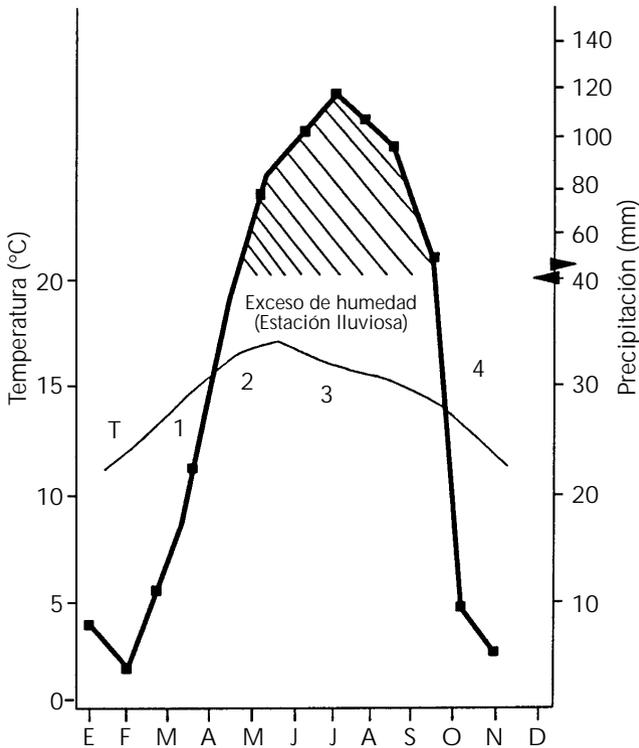


FIGURA 5.5 Diagrama climático del Plateau Central de México (Williams 1985).

En el desarrollo de un sistema de cultivo están involucradas varias consideraciones agrícolas (Thorn y Thorn 1979). Los sistemas de cultivo deben idearse para brindar altas capacidades fotosintéticas todo el año. En cultivos intercalados o mezclados, la altura de las plantas, la forma y ángulo de las hojas, la tasa de crecimiento y el período de tiempo necesario para alcanzar la madurez, constituyen características importantes que determinan la eficiencia fotosintética. Existen muchas formas de combinar las plantas de un cultivo para maximizar la radiación solar, como combinar especies de diferente fenología que alcancen una máxima fotosíntesis con diferentes grados de radiación, o que tengan raíces que exploren diversas partes del suelo.

El objetivo principal debería ser maximizar la producción anual de cultivos o las ganancias económicas netas por cada unidad de tierra. Así, dos cultivos de corta temporada pueden proporcionar rendimientos totales superiores a un cultivo de larga temporada. Decisiones respecto a las intensidades de cultivos deben basarse en la mejor evidencia disponible para cada combinación de condiciones. Con el fin de promover rendimientos, y ganancias altas y sostenidas, se deben diseñar sistemas de cultivos que mantengan la materia orgánica del suelo y la capa labrada; que reduzcan la aparición de malezas, insectos y enfermedades, que ayuden a mantener el equilibrio de los nutrientes de las plantas; que conserven el agua, y que reduzcan al máximo la erosión del suelo.

Las raíces deben formar una red activa y extensa en todo el suelo para utilizar eficientemente el agua y los nutrientes. Las buenas combinaciones de cultivos tienen sistemas de raíces compatibles que permeabilizan el suelo hasta unos 25 ó 30 cms. de profundidad, con algunas raíces que bajan a mayor profundidad.

Características y patrones de los cultivos

Al seleccionar y determinar prácticas agrícolas apropiadas en la selección de cultivos, las características biológicas y agronómicas son muy importantes. Se pueden agrupar como sigue (Thorn y Thorn 1979):

Período de crecimiento. La cantidad de días necesarios entre la fecha de plantación, emergencia y madurez es importante, con el fin de determinar la zona climática adecuada para un cultivo específico y la adaptación de un cultivar en particular a un sistema de cultivo múltiple.

Fotoperiodicidad. Para muchas plantas es crucial la duración de la noche (oscuridad) en vez de la duración de la luz diurna para iniciar la floración, la maduración o la latencia. Las plantas de día corto necesitan una oscuridad diaria prolongada para inducir la floración, y las plantas de día largo la inician cuando las noches son relativamente cortas. Algunas plantas son de día neutral y se desarrollan sin que influya la duración del día. En algunas plantas, los cambios en la duración del día pueden resultar importantes para inducir cambios en su desarrollo. El aumento en la duración del día puede ayudar para el inicio de la floración, mientras que en el otoño, el comienzo de días más cortos puede promover la aparición de los frutos, la maduración o la latencia.

Hábitos de crecimiento. Los hábitos de crecimiento de las plantas de cultivo son importantes para determinar las prácticas de producción y manejo. Generalmente se prefieren las variedades enanas en vez de sus contrapartes más altas, debido a su hábito de crecimiento vertical, a su mayor facilidad para ser cosechadas con máquinas, a la menor probabilidad de alojamiento de plagas o enfermedades, a la temprana aparición de sus frutos y a su alto índice de cosechas. Las variedades arbustivas son

más preferidas que las enredaderas, puesto que tienen muchas ramas que producen frutos uniformemente.

Sistemas radiculares. En las plantas de cultivos son comunes dos tipos de sistemas radiculares: las raíces monorrizas o ramificadas y las raíces malorrizas o profundas. Las raíces monorrizas penetran en el suelo haciéndolo permeable y manteniendo sus partículas unidas. Por ejemplo, los pastos estimulan una buena estructura del suelo y ayudan a protegerlo contra la erosión. Los cultivos con raíces malorrizas son aquellos cuyas raíces se cosechan generalmente como alimentos o forraje, como las remolachas, las remolachas forrajeras, zanahorias y nabos. Las plantas de raíces malorrizas tienden a ser de raíces profundas, como la alfalfa y los árboles. Estas plantas aumentan al máximo el flujo ascendente de nutrientes solubles y otros menos solubles. En la mayoría de las plantas del cultivo, el mayor volumen de raíces se encuentra en la zona de los 30 cms. del suelo. Sin embargo, la profundidad del enraizamiento se ve afectada por la humedad del suelo, la textura, la compactación, ventilación y el abastecimiento de los nutrientes disponibles para las plantas.

El diseño de un agroecosistema sustentable Diversificación de un campo de cebollas en Michigan

Pocos científicos han sido capaces de reunir la suficiente información sobre ciertas formas de control cultural y biológico que se pueden aplicar a las plagas específicas de los cultivos, con el objeto de formular una serie de propuestas de manejo ambiental para mejorar el control de plagas de insectos que afectan a determinados cultivos. El trabajo de Groden (1982) en Michigan constituye una excepción, en éste se diseñó un agroecosistema de cebollas funcionalmente diverso para optimizar la mortalidad de la principal plaga de la cebolla (gusano de la cebolla *Delia antiqua*). Este diseño surgió a partir de los modelos cuantitativos que describían las relaciones entre los componentes del sistema. A partir de la comprensión de estas interacciones cuantitativas se pueden formular diseños que incorporen enfermedades, malezas, insectos, etc., en la medida que las relaciones que se usan en la construcción de estos modelos «sin cuerpo» sean estructuralmente independientes, o que si se incorporan aspectos de estructura sean como variables.

El diseño alternativo del agroecosistema de cebollas que se muestra en la Figura 5.6, acentúa la diversidad planificada o funcional. La pastura para las vacas y los linderos de malezas entregan refugio y alimento alternativo para el parásito del gusano de la cebolla, *A. pallipes* (Groden 1982). Los pastos proporcionan también una rica fuente para las lombrices, y con ello potencian al máximo la densidad de las poblaciones de la mosca tigre, depredador de la mosca de la cebolla. Las franjas largas y angostas de cebollas reduce al mínimo la distancia desde cualquier punto del campo de cebollas a los bordes con malezas y a los pastos de los vacunos. Esto resulta importante puesto que la cantidad del parásito *A. pallipes* disminuye exponencialmente desde los linderos con malezas y pasturas hasta la zona con cebollas (Groden 1982). Esto también es efectivo en las moscas de las cebollas infectadas con la enfermedad provocada por el hongo *Entomophthora muscae*. Los linderos del campo con maleza no se siegan para darles a las moscas enfermas sitios de apego. Los linderos angostos con malezas aumentan al máximo la probabilidad de que las esporas de *E. muscae* afecten a las moscas sanas al mediodía, cuando se juntan para descansar en los lugares de apego para las moscas sanas. Mediante la siega de algunos linderos de malezas se puede incrementar este efecto de congregamiento. Una

cultivo de rábano junto a las cebollas brinda un refugio alternativo y por lo tanto un continuo abastecimiento para el escarabajo rove, *A. bilineata*. A fin de entregar una larga temporada de recursos alimenticios, se debería usar una cierta cantidad de cultivo, el gusano del repollo o distintas fechas de siembro de cebollas (Grodén 1982). Groden demostró también que una siembra nueva servirá como un cultivo distractor muy atractivo para la población de gusanos, lo que dará como resultado una alta concentración de los insectos en el cultivo más antigua. Puesto que el cultivo más antiguo permaneció intacto, el cultivo más nueva podría ubicarse cerca de los rábanos de manera que el grupo de huéspedes se concentre para *A. bilineata*, haciendo con esto que la búsqueda de presas se haga más eficiente.

Para controlar el problema de aparición de moscas después de la cosecha de cebollas, se convierte en un objetivo principal el manejo de los residuos de las cebollas. Una opción de manejo diversificado incluye la siembra de un cultivo de cobertura otoñal de avena o centeno inmediatamente después de la cosecha, de manera que en una semana, el cultivo de cobertura esconde el residuo de las cebollas, dificultando

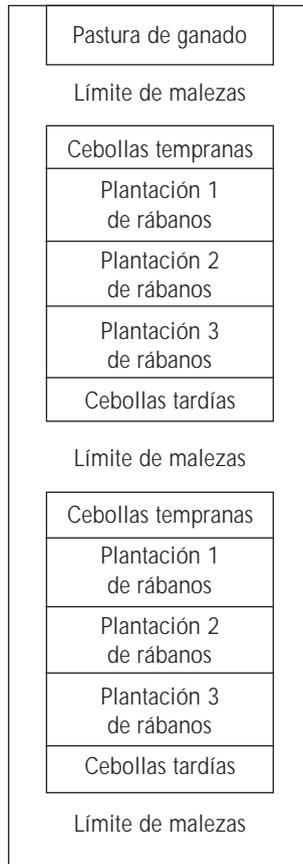


FIGURA 5.6 Cultivo agrícola sustentable para reducir al mínimo el impacto del gusano de la cebolla y la necesidad del uso de insecticidas para el control de la plaga (según Groden 1982).

su ubicación a las moscas. Otra modificación es dejar sin cosechar una pequeña sección de las hileras de cebollas, y luego, mientras se siembra el cultivo de cobertura, cortar la punta de dichas cebollas y dejarlas en el suelo. Estas puntas resultan bastante atractivas para las moscas (más atractivas que los residuos), sin que las larvas de las moscas puedan sobrevivir en ellas puesto que se secan antes que termine el desarrollo del insecto. De esta forma, estas puntas de las cebollas sirven para evitar que las moscas pongan sus huevos en los residuos hasta que aparece el cultivo de cobertura reduciendo drásticamente la eficiente búsqueda de las hembras. Además de esto, la rotación de cultivos reduce significativamente la cantidad de moscas que colonizan los campos con cebollas durante la primavera (Mortinson et al. 1988).

Pautas ecológicas para el manejo del agroecosistema

De acuerdo con Reijntjes et al. (1992), existen cinco principios ecológicos fundamentales para el diseño y el manejo de agroecosistemas sustentables:

1. Asegurar condiciones de suelo favorables para el crecimiento de las plantas, especialmente al manejar la materia orgánica y al mejorar la vida del suelo.
2. Optimizar y equilibrar la disponibilidad y el flujo de nutrientes, especialmente mediante la fijación de nitrógeno, el bombeo de nutrientes, el reciclaje y el uso complementario de fertilizantes externos.
3. Reducir al mínimo las pérdidas debido a los flujos de radiación solar, aire y agua, por medio de un manejo de micro-climas, manejo de aguas y control de la erosión.
4. Reducir al mínimo las pérdidas debido a las plagas y a las enfermedades causadas a las plantas y animales, por medio de la prevención y tratamiento seguros.
5. Explotar la complementariedad y el sinergismo en el uso de recursos genéticos, lo que incluye su combinación en sistemas agrícolas integrados con un alto grado de diversidad funcional.

Estos principios pueden aplicarse mediante diversas técnicas y estrategias. Cada uno de ellos tendrá diferentes efectos sobre la productividad, seguridad, continuidad e identidad dentro del sistema agrícola, dependiendo de las limitaciones y oportunidades locales (sobre todo, las restricciones en los recursos) y en la mayoría de los casos, sobre los mercados.

El grado en que los agroecosistemas aumenten su sustentabilidad ecológica, especialmente en un ambiente de suelo frágil, dependerá ampliamente de los seis elementos biológicos que siguen a continuación (NCR 1993):

1. El grado en el que los nutrientes se reciclan: la productividad dentro de un sistema está directamente relacionada con la magnitud de flujo y movilización de nutrientes. La sustentabilidad está relacionada directamente con la magnitud del uso de los nutrientes y con la reducción de sus pérdidas.
2. Hasta que punto está físicamente protegida la superficie del suelo: se debe reducir al mínimo la pérdida de suelo por el transporte de agua o la erosión eólica. Se debería proteger de la oxidación u otro deterioro químico, por medio de una cubierta protectora de plantas. El deterioro físico, la compactación y la pérdida de la estructura por las precipitaciones, pueden ser igualmente desastrosos al reducir el potencial productivo. El cultivo continuado o la cubierta de residuos del cultivo provenientes de sistemas manejados apropiadamente, es crucial para mantener el potencial productivo.

3. La eficiencia y el grado de utilización de la luz solar, el suelo y los recursos de agua: los sistemas agrícolas seleccionados deben ser manejados para un uso óptimo, incluyendo el cultivo de cobertura continuo, el potencial genético animal y de los cultivos, el daño mínimo por las plagas y el óptimo abastecimiento de nutrientes.
4. Una pequeña porción de nutrientes cosechados en relación a la biomasa total (remoción de lo cosechado): cuando los suelos están erosionados, tienen un estado nutriente pobre o son frágiles química y físicamente, la mantención de sistemas de alta biomasa es crítica.
5. Mantención de una biomasa residual alta en forma de madera, material herbáceo u otros materiales orgánicos del suelo: es de vital importancia, con el fin de sostener la biomasa en el suelo y asegurar la productividad de animales y cultivos, una fuente de carbono que aporte energía y facilite la retención de nutrientes.
6. Estructura y preservación de la biodiversidad: la eficacia del reciclaje de nutrientes y la estabilidad de plagas y enfermedades en el sistema, dependen de la cantidad y tipo de biodiversidad, como también de su organización espacial y temporal y (diversidad estructural). Los sistemas tradicionales, especialmente aquellos en ambientes de producción marginal, poseen a menudo una estabilidad y elasticidad significativa, como resultado de la diversidad estructural.

Agricultura tradicional

Alrededor del 60% de la tierra cultivada del mundo todavía se explota mediante métodos tradicionales y de subsistencia (Ruthenberg 1971). Este tipo de agricultura se ha beneficiado gracias a siglos de evolución cultural y biológica, mediante lo cual se ha adaptado a las condiciones locales (Egger 1981). Así, los pequeños agricultores han creado y/o heredado sistemas complejos de agricultura que, durante siglos, los han ayudado a satisfacer sus necesidades de subsistencia, incluso bajo condiciones ambientales adversas (en suelos marginales, en áreas secas o de fácil inundación, con pocos recursos) sin depender de la mecanización o de los fertilizantes y pesticidas químicos. Generalmente, dichos sistemas agrícolas consisten en una combinación de actividades de producción y de consumo (Figura 6.1)

La mayoría de los pequeños agricultores han empleado prácticas diseñadas para optimizar la productividad en el largo plazo, en vez de aumentarla al máximo en un corto plazo (Gliessman et al. 1981). Los insumos, por lo general, se originan en la región inmediata y el trabajo agrícola es realizado por seres humanos o animales que

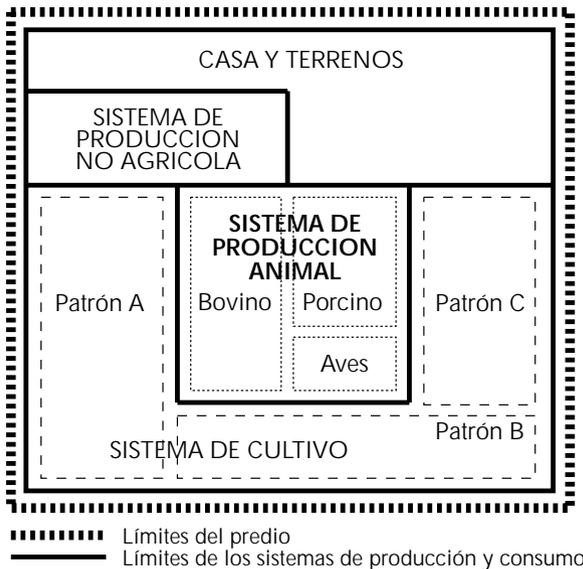


FIGURA 6.1 Esquema de un sistema agrícola pequeño con cuatro subsistemas de consumo y de producción (Zandstra et al. 1981).

se abastecen de energía proveniente de fuentes locales (Figura 6.2). Trabajar con esta energía y con este tipo de restricciones ha hecho que los pequeños agricultores aprendan a reconocer y a utilizar los recursos que existen en su región (Wilken 1977). Los agricultores tradicionales son mucho más innovadores que lo que creen los especialistas. En realidad, las comparaciones de productividad entre la Revolución Verde y los sistemas agrícolas tradicionales han sido parciales y poco justas ya que ignoran el hecho que los agricultores tradicionales valoran la totalidad del sistema productivo agrícola y no sólo los rendimientos de un solo cultivo como es el caso del sistema de la Revolución Verde (Figura 6.3). Muchos científicos de los países desarrollados están comenzando a mostrar interés en la agricultura tradicional, especialmente en los sistemas diversificados de pequeña escala, buscando formas para remediar las deficiencias de la agricultura moderna. Sin embargo, este traspaso de aprendizaje se debe dar rápidamente o esta riqueza del conocimiento tradicional práctico se perderá para siempre.

Características ecológicas de la agricultura tradicional

Muchas prácticas agrícolas, que una vez fueron consideradas como primitivas o erradas, se reconocen hoy como modernas y apropiadas por los investigadores. Debido a los problemas específicos de pendiente, inundaciones, sequías, plagas, enfermedades y poca fertilidad del suelo, pequeños agricultores de todo el mundo, han creado sistemas únicos de manejo para superar estas limitaciones (Tabla 6.1). Los agricultores tradicionales han superado las limitaciones ambientales de sus sistemas de producción de alimentos, concentrándose en algunos procesos y principios (Knight 1980):

Continuidad y diversidad espacial y temporal. Se adoptan diseños múltiples de cultivo para asegurar una producción constante de alimentos y una cubierta vegetal para la protección del suelo. Al asegurar un abastecimiento de alimentos regular y diverso, se puede garantizar una dieta variada y adecuada en cuanto a la nutrición. Una cosecha extensa de cultivos reduce la necesidad de almacenamiento a menudo, peligrosa en climas lluviosos. Una secuencia continua de cultivos también mantiene las relaciones bióticas (relación depredador/ presa, fijación del nitrógeno) que podrían beneficiar al agricultor.

Uso óptimo del espacio y los recursos. Un conjunto de plantas con diferentes hábitos de crecimiento, doseles y estructuras radiculares permiten un mejor uso de los insumos ambientales tales como nutrientes, agua y radiación solar. La combina-

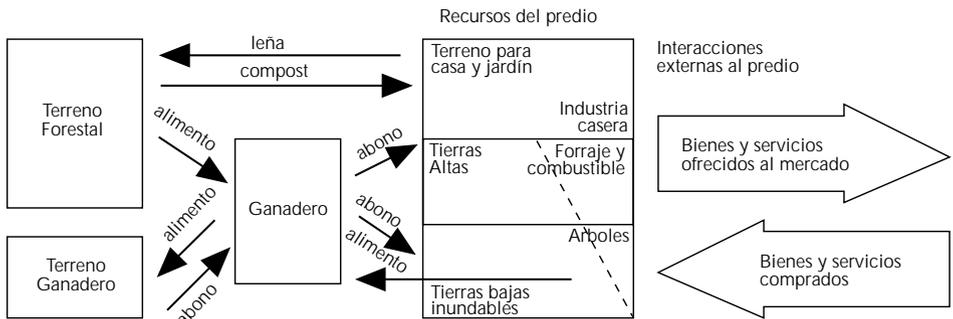


FIGURA 6.2 Modelo conceptual del sistema de producción de una ladera de Nepal (Harwood 1979).

ción de cultivos permite utilizar al máximo un determinado ambiente. En los sistemas complejos agroforestales, se puede cultivar por debajo de la copa de los árboles, si es que penetra suficiente luz.

Reciclaje de los nutrientes. Los pequeños agricultores sustentan la fertilidad del suelo, manteniendo ciclos cerrados de nutrientes, energía, agua y desechos. Así, muchos agricultores enriquecen sus suelos con la recolección de nutrientes (tales como abono y humus de los bosques) que provienen de fuera de sus campos, adoptando sistemas de barbecho o de rotación o incluyendo leguminosas en sus patrones de cultivo intercalado.

Conservación del agua. En las áreas de secano, el régimen de lluvias es el determinante principal del sistema de cultivo y, por este motivo, los agricultores utilizan sistemas de cultivo según la cantidad y distribución de las lluvias. De este modo, en las áreas con poca humedad, los agricultores prefieren cultivos resistentes a la sequía (como *Cajanus*, camote, yuca, mijo y sorgo) y las técnicas de manejo ponen énfasis en la cubierta del suelo (como la aplicación de mulch) para evitar la evaporación y el escurrimiento. En los lugares en donde las precipitaciones son más de 1.500 mm/año, la mayoría de los sistemas de cultivo se basan en el arroz. En el caso de inundaciones constantes, los agricultores, en vez de invertir en costosos sistemas de drenaje, crean sistemas integrados de agricultura/acuicultura, como las chinampas en México Central.

Control de la sucesión y protección de los cultivos. Los agricultores han creado diversas estrategias para combatir con éxito a los organismos indeseados. Mezclas

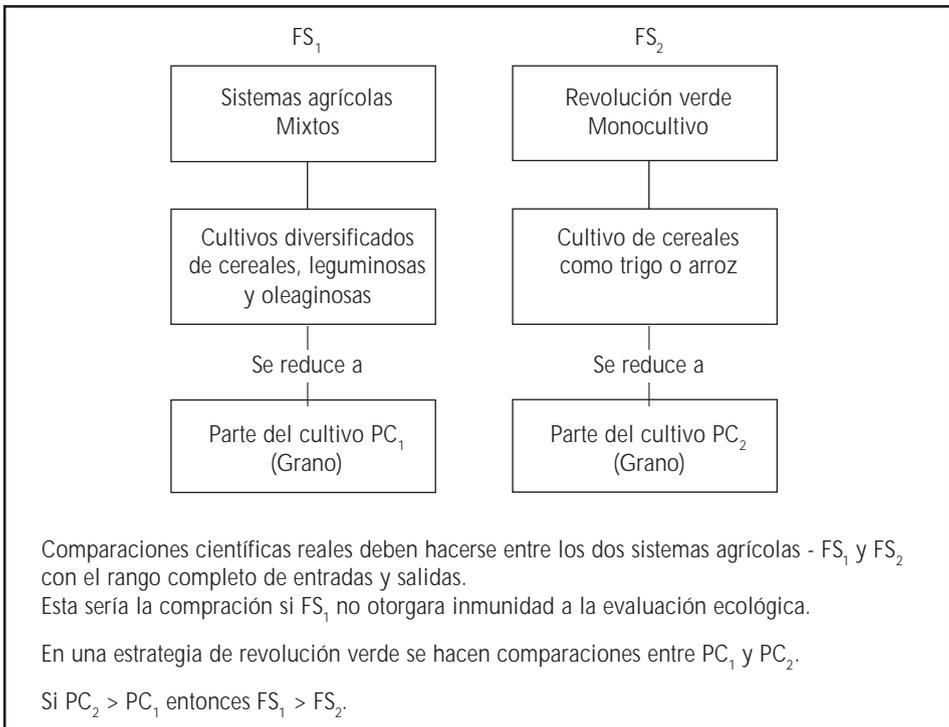


FIGURA 6.3 Comparación inadecuada entre los sistemas agrícolas tradicionales y la Revolución Verde.

de cultivos y combinaciones de variedades protegen contra los catastróficos ataques de las enfermedades y plagas. Los doseles de los cultivos pueden inhibir el crecimiento de las malezas y reducir al mínimo la necesidad de controlarlas. Además, las prácticas de cultivo como la aplicación de mulch, los cambios en la durabilidad y las épocas de siembra, el uso de variedades resistentes y el uso de insecticidas botánicos y/o repelentes, pueden reducir al mínimo la interferencia de las plagas.

Ventajas de la diversidad de los cultivos

Quizás, una de las características más sorprendentes de los sistemas tradicionales agrícolas en la mayoría de los países en desarrollo, es el grado de diversidad de los cultivos

TABLA 6.1 Algunos ejemplos de sistemas tradicionales de manejo del suelo, el espacio, el agua y la vegetación usados por agricultores tradicionales a través de todo el mundo (según Klee 1980).

CARACTERÍSTICA AMBIENTAL	OBJETIVO	PRACTICA AMBIENTAL RECOMENDADA
Espacio limitado	Utilizar al máximo los recursos ambientales	Cultivo intercalado, agroforestería, y la tierra cultivo en estratos múltiples, huertos domésticos, zonificación de cultivos según altitud, fragmentación del predio, rotación.
Laderas inclinadas	Control de la erosión y conservación del agua	Terrazas, siembra en contorno, barreras vivas pendientes y muertas, aplicación de mulch, nivelación, cubierta barbecho y/o cultivos continuos, murallas de piedra
Fertilidad marginal	Sustentar la fertilidad del suelo y reciclar la rotación del suelo	Barbecho natural o mejorado, materia orgánica cultivos y cultivos intercalados con leguminosas, recolección de humus, aplicación de compost, abonos verdes, animales pastando en campos barbechados, desechos domésticos, amontonar con azadón montones de hormigas como fuente de fertilización, uso de depósitos aluviales, uso de sedimentos y malezas acuáticas, cultivo en franjas con leguminosas, hojas labradas, ramas y otros desechos, quema de vegetación etc.
Inundación o exceso de agua	Integrar la agricultura con el suministro de agua	Agricultura de campos elevados realce (chinampas, tablones, campos con acequias, waru-warus, diques, etc.)
Exceso de agua	Dirigir y/o drenar agua disponible	Control exceso de agua mediante canales y embalses. Campos hundidos cavados hasta el nivel del agua subterránea. Regadío por splash. Regadío por estanques alimentados por pozos lagos, estanques y agua subterránea estancada.
Precipitación impredecible	Utilizar la humedad de la mejor forma posible	Uso especies y variedades de cultivo resistentes a la sequía, aplicación de mulch, indicadores meteorológicos, cultivos combinados utilizando el fin de estación lluviosa, cultivos con períodos cortos de crecimiento
Temperatura o radiación extrema	Mejorar el microclima	Intensificación o reducción de la sombra, radiación extrema espaciamiento de plantas; cultivos resistentes a la sombra; aumento de la densidad de las plantas; aplicación mulch; manejo del viento con cercas, hileras de árboles desmalezaje, arado superficial; labranza mínima; cultivos intercalados, silvicultura; cultivos en franjas, etc.
Incidencia de plagas-enfermedades	Proteger los cultivos, reducir al mínimo las poblaciones de plagas.	Sobreplantar, permitir el daño por algunas (invertebrados, plagas, observación de los cultivos, instalar vertebrados) de plagas rejas o cercos, uso de variedades resistentes, cultivos combinados, aumento de enemigos naturales, recolección, uso de venenos, repelentes, siembra en períodos de bajo potencial de plagas.

tanto en el tiempo como en el espacio. Esta diversidad se logra mediante el uso de sistemas de cultivos múltiples, es decir, policultivos. Por ejemplo, en las zonas tropicales de América Latina, el 60% del maíz se cultiva junto con otras especies.

El policultivo es una estrategia tradicional para promover la generación de una dieta diversa, la estabilidad de la producción, la reducción de los riesgos al mínimo, la disminución de la incidencia de los insectos y las enfermedades, el uso eficaz de la mano de obra, la intensificación de la producción con recursos limitados y aumento máximo de la rentabilidad con bajos niveles de tecnología (Francis et al. 1976, Harwood 1979a). Los sistemas de policultivo ofrecen muchas ventajas sobre la agricultura basada en el monocultivo, que se practica en los países modernos, como se demuestra a continuación (Ruthenberg 1971; Altieri 1983; Francis 1986):

Rendimiento. El rendimiento total por hectárea, por lo general, es mayor que la producción de un cultivo exclusivo, incluso cuando se reduce la producción de los componentes individuales. Esta ventaja en el rendimiento generalmente se expresa como el índice equivalente del uso de la tierra (LER), que expresa el área de monocultivo que se necesita para rendir la misma cantidad que una hectárea de policultivo, utilizando la misma población de plantas. Si el LER es mayor que uno, el policultivo sobreproduce. Muchas de las asociaciones maíz/frijol y las triculturas maíz/frijol/zapallo que han sido estudiadas son ejemplos de policultivos que se sobreproducen.

Utilización eficaz de los recursos. Las combinaciones tienen como resultado una utilización más eficaz de la luz, el agua y los nutrientes por parte de las plantas de diferentes alturas, estructura de doseles y necesidad de nutrientes. Se dice que las combinaciones de cultivo intercalado de larga duración tienen una ventaja cuando los nutrientes son limitados. De este modo, en los policultivos que combinan cultivos perennes y anuales, los minerales perdidos por los anuales son absorbidos rápidamente por los perennes. Por otra parte, la tendencia que tienen ciertos cultivos de «robar» nutrientes es contrarrestada por la enriquecedora adición de materia orgánica al suelo por parte de otros cultivos (como las leguminosas) que forman parte de la combinación.

Disponibilidad de nitrógeno. En las combinaciones cereal/leguminosa, el nitrógeno fijado proveniente de la leguminosa está disponible para el cereal, lo que mejora la calidad nutricional de la combinación. El maíz y los frijoles se complementan entre sí esencialmente respecto a los aminoácidos.

Disminución de las enfermedades y plagas. Las enfermedades y plagas no se pueden expandir tan rápidamente en las combinaciones debido a la susceptibilidad diferencial de las plagas y agentes patógenos y debido a la gran cantidad y eficacia de los enemigos naturales. En el Sudeste de Asia, por ejemplo, el maíz que crece en hileras distantes, dos o tres metros, y se cultiva intercaladamente con soya, maní, arroz de montaña y frijol mung, casi no presenta mildew vellosa, que normalmente, es una de las principales enfermedades del maíz. Al igual que en dicha parte del Asia, en Costa Rica, el virus clorótico y el mosaico del caupí afectan en menor grado al caupí cultivado en forma intercalada con yuca que a los monocultivos de caupí (Altieri y Liebman 1986). Los sistemas de cultivo diversificado pueden aumentar las oportunidades para los enemigos naturales y, en consecuencia, mejorar el control biológico de las plagas. Dos tercios de los estudios relacionados con los efectos que tiene la diversidad de los cultivos en las plagas de insectos mostraron que los insectos plagas disminuyeron en los sistemas diversificados en comparación con el monocultivo correspondiente. En muchos casos, esto se debió a la abundancia y eficacia

de los enemigos naturales. El pulgón de la col, la pulguilla, la polilla de la col, los gusanos del tomate y del maíz son insectos plagas que se pueden regular con combinaciones específicas de cultivos (Altieri y Letourneau 1982).

Disminución de malezas. La sombra proporcionada por los doseles de los cultivos complejos ayudan a inhibir las malezas, reduciendo, así, la necesidad y el costo que implica el manejo de las malezas. En Las Filipinas, las malezas sensibles a la sombra como el coquito y la *Imperata cylindrica* pueden ser totalmente eliminadas por una combinación como maíz/frijol mung, que intercepta el 90% de la luz después de 50 días de crecimiento.

Seguro contra la pérdida de un cultivo. Los policultivos aseguran contra la pérdida de un cultivo, especialmente en las áreas propensas a heladas, inundaciones y sequías. De este modo, cuando uno de los cultivos que forma parte de una combinación sufre un daño a principios de la temporada de crecimiento, los otros cultivos pueden compensar la pérdida. Por ejemplo, en las regiones montañosas de Tlaxcala, México, los agricultores cultivan el maíz en forma intercalada con habas, ya que el haba sobrevive a las heladas, mientras que el maíz no lo hace.

Otras ventajas. Los policultivos proporcionan una cubierta eficaz del suelo y reducen la pérdida de humedad de éste. Los cultivos mixtos aumentan las oportunidades para la comercialización y aseguran un abastecimiento parejo de una gama de productos sin tener que invertir mucho en almacenamiento, aumentando así el éxito en la comercialización. Las combinaciones distribuyen los costos de la mano de obra más equitativamente durante la época de cultivo y, por lo general, proporcionan una utilidad neta mayor por mano de obra empleada, especialmente durante los períodos de escasez de esta última. Los policultivos también pueden mejorar la dieta local: 500 gramos de maíz y 100 gramos de frijoles negros al día proporcionan alrededor de 2.118 calorías y 68 gramos de proteínas diarias.

La naturaleza del conocimiento agrícola tradicional

Los términos conocimiento tradicional, conocimiento nativo técnico, conocimiento rural y etnociencia (o la ciencia de los pueblos) han sido utilizados en forma intercambiable para describir el sistema de conocimiento de un grupo étnico rural que se ha originado local y naturalmente. Este conocimiento tiene muchas dimensiones, incluidos la lingüística, botánica, zoología, agricultura, artesanía, y proviene de la interacción directa entre los seres humanos y el medio ambiente. La información se extrae del medio ambiente a través de sistemas especiales de cognición y percepción, que seleccionan la información más útil y apropiada, y las adaptaciones exitosas se conservan y se traspasan de generación en generación a través de medios orales o empíricos. Sólo hace poco, los investigadores han descrito y escrito algo acerca de este conocimiento. Las investigaciones demuestran que la distinción más clara proviene de: (1) las comunidades donde los ambientes tienen una gran diversidad física y biológica y/o (2) de las comunidades que viven casi al borde de la sobrevivencia (Chambers 1983). También, los integrantes de más edad de las comunidades poseen un conocimiento mayor y más detallado que los más jóvenes.

Para los agroecólogos, varios aspectos son los más relevantes de estos sistemas tradicionales de conocimiento:

1. Conocimiento acerca del ambiente físico (suelos, clima, etc.)
2. Taxonomías folclóricas biológicas o sistemas de clasificación popular
3. La naturaleza experimental de este conocimiento tradicional

El conocimiento de los indígenas con respecto a suelos, clima, vegetación, animales y los ecosistemas, por lo general, resultan en estrategias multidimensionales productivas (es decir, ecosistemas múltiples con varias especies), y estas estrategias generan (dentro de ciertos límites ecológicos y técnicos) la autosuficiencia alimentaria de los agricultores y sus familias en la región (Toledo et al. 1985).

Conocimiento acerca del medio ambiente

El conocimiento nativo sobre el ambiente físico generalmente es muy detallado. Muchos agricultores en todo el mundo han creado calendarios tradicionales para controlar los programas de las actividades agrícolas. En Africa oriental, por ejemplo, muchos agricultores siembran según las fases de la luna, pues creen que existen fases lunares de las lluvias. Muchos agricultores también enfrentan a la variabilidad climática, utilizando indicadores meteorológicos basados en la fenología de la vegetación local. Por ejemplo, en Java occidental, el *Gadung* sp. es un indicador meteorológico, porque la temporada lluviosa se supone comienza poco después de que sus hojas empiezan a crecer. En la misma región, el pomelo tiene una función similar: cuando sus frutos comienzan a crecer se inicia la época propicia para el cultivo de plantas anuales (Christianty et al. 1986).

Sistemas de clasificación del uso del suelo

Los tipos de suelos, los grados de fertilidad de éste y las categorías del uso de la tierra también se distinguen en detalle por los agricultores. Los tipos de suelos se distinguen generalmente por el color, la textura e incluso, por el sabor. Comúnmente, los cultivadores migratorios clasifican sus suelos según la cubierta vegetal. En general, los tipos de clasificación del suelo hecha por los campesinos, dependen del tipo de relación entre el campesino y la tierra (Williams y Ortiz Solorio 1981). Los sistemas aztecas de clasificación del suelo eran muy complejos: reconocían más de dos docenas de tipos de suelo, los que se identificaban según la fuente de origen, el color, la textura, el olor, la consistencia y el contenido orgánico. Estos suelos también se clasificaban de acuerdo con el potencial agrícola y se utilizaban tanto en las evaluaciones del valor de la tierra como en el censo rural. Los campesinos andinos en Coporaque, Perú, reconocen cuatro clases principales de suelo. Cada tipo de suelo tiene características determinadas que definen el sistema más adecuado de cultivo (McCamant 1986). En Chambers (1983) se encuentran más ejemplos de categorías de clasificación tierra/suelo desarrolladas por comunidades rurales.

Taxonomías biológicas folclóricas

Se han documentado muchos sistemas complejos utilizados por los nativos para agrupar las plantas y animales (Berlin et al. 1973). En general, el nombre tradicional de una planta o animal usualmente revela la condición taxonómica de ese organismo. Los investigadores han descubierto que, en general, existe una buena correlación entre el taxa folclórico y el taxa científico. La clasificación de animales, especialmente de insectos y pájaros, está muy expandida entre los agricultores y los grupos indígenas (Bulmer 1965). Los insectos y los artrópodos relacionados tienen un papel principal como plagas de cultivos, como causantes de enfermedades, como alimentos y como elemento curativo, y son importantes en la mitología y el folklore. En

muchas regiones, las plagas agrícolas son toleradas, debido a que también constituyen productos agrícolas; es decir, los campesinos pueden consumir plantas y animales que, de otra forma, serían considerados plagas. En Indonesia, una plaga de langostas en el arroz se atrapa en la noche y se come (con sal, azúcar y cebolla) o se vende como comida de pájaros en el mercado. La plaga de pájaros principal en los campos de arroz en Indonesia es (*Lonchura*), esta se captura por medio de trampas con resortes y, luego, se come. Las ardillas y las termitas, que dañan los cultivos, también se consumen en Indonesia. Los cultivadores migratorios en Borneo atrapan y comen los cerdos silvestres que son atraídos por sus cultivos. En Tailandia nororiental, los habitantes rurales, por lo general, comen ratas, termitas y un cangrejo que daña el pecíolo del arroz (Brown y Marten 1986).

Las hormigas, algunas de las cuales pueden ser una plaga principal de los cultivos, son uno de los insectos que sirven como el alimento más popular que se recolecta en las regiones tropicales. Posey (1986), en sus estudios de la etnoentomología del Amazonas de Brasil, describió el conocimiento detallado de los indios acerca de los ciclos de vida de los insectos, sus usos y su manejo. El complejo manejo de las abejas sin aguijón (*Meliponinae*), para la producción de miel, demuestra un profundo conocimiento ecológico de su biología. El papel de los insectos sociales como «modelos naturales» para la organización social de los indios Kayapo es particularmente interesante; el comportamiento de estos insectos se reconoce en forma simbólica en los rituales y ceremonias (Posey 1986).

Conocimiento etnobotánico tradicional

Las etnobotánicas son las taxonomías populares que se estudian más comúnmente. El conocimiento etnobotánico de ciertos campesinos en México es tan elaborado que los Tzeltals, P'urepechas y los Mayas del Yucatán pueden reconocer más de 1.200, 900 y 500 especies de plantas, respectivamente (Toledo et al. 1985). De igual modo, las !ko bosquimanas en Botswana podrían reconocer 206 de las 266 plantas recogidas por los investigadores (Chambers 1983), y los cultivadores migratorios Hanunoo en Las Filipinas pueden distinguir más de 1.600 especies de plantas (Conklin 1979).

Los policultivos y los patrones de agroforestación no se crean al azar, sino que se basan en un entendimiento profundo de las interacciones agrícolas guiadas por complejos sistemas etnobotánicos de clasificación. Dichos sistemas de clasificación han permitido a los campesinos asignar a cada paisaje una práctica de producción determinada, obteniendo así una diversidad de productos provenientes de las plantas mediante una estrategia de uso múltiple (Toledo et al. 1985). En México, por ejemplo, los indios Huastecas administran varios campos agrícolas y de barbecho, complejos huertos domésticos y terrenos forestales, con un total de alrededor de 300 especies de plantas. Las pequeñas áreas alrededor de las casas, por lo común, tienen un promedio de entre 80 y 125 plantas útiles, principalmente plantas medicinales nativas. (Alcorn 1984). Asimismo, es común que el tradicional Pekarangan huerto familiar en Java occidental, tenga alrededor de 100 o más especies de plantas. El 42% de estas plantas proporciona materiales de construcción y madera combustible; el 18% son árboles frutales; el 14% son hortalizas y el resto constituye artículos de decoración, plantas medicinales, especias y cultivos comerciales (Christianty et al. 1985).

La naturaleza experimental del conocimiento tradicional

La fortaleza del conocimiento de la gente del campo es que está basado no solamente en una observación aguda, sino que también en un aprendizaje experimental. El método experimental se hace patente en la selección de variedades de semillas para los ambientes específicos, pero también está implícito en la prueba de los nuevos métodos de cultivo para sobreponerse a ciertas limitaciones biológicas o socioeconómicas. De hecho, Chambers (1983) indica que los agricultores, por lo general, logran una riqueza de observación y una agudeza de distinción que sólo podría ser asequible para los científicos occidentales a través de largas y detalladas mediciones y computación.

Al estudiar las langostas matizadas (*Zonocerus variegatus*) en el sur de Nigeria, Richards (1985) encontró que el conocimiento de los agricultores locales era equivalente al de su equipo de científicos con respecto a los hábitos de alimentación de las langostas, a su ciclo de vida, a los factores de mortalidad y al grado de daño que producen en la yuca, y respecto al comportamiento del desove y a los lugares en donde las hembras ponen sus huevos. El conocimiento local aumentó la información de los investigadores respecto de las fechas, la severidad y la extensión geográfica de algunos brotes de estas plagas; además dio a conocer que las langostas se comían y se vendían, y que tenían una importancia especial para los niños, las mujeres y para la gente pobre. Así, la última recomendación de control entregada por los científicos, que consistía en limpiar los lugares de desove de un conjunto de predios, no requirió que la mayoría de los agricultores aprendieran nuevos conceptos y, para algunos, la práctica no tuvo nada de nuevo.

Algunos ejemplos de sistemas de manejo tradicional

Prácticas para el manejo de la fertilidad del suelo

Los agricultores nativos han desarrollado diversas técnicas para mejorar o mantener la fertilidad del suelo. Por ejemplo, los agricultores de Zaire y de Sudán del Sur afirman que los lugares en que hay montículos de termitas son particularmente buenos para cultivar sorgo y caupí (Reijntjes et al. 1992). Los agricultores de Oaxaca, México, utilizan los desechos de la hormiga *Atta* para fertilizar los cultivos de gran valor, tales como el tomate, el chile y la cebolla (Wilken 1987).

En Quezaltenango, Guatemala, el humus se trae en grandes cantidades, de bosques cercanos con el fin de mejorar la labranza y la retención de humedad de los terrenos con hortalizas intensamente trabajados. El índice de utilización del humus varía entre 20 y 30 ton/ha/año. Se estima que una hectárea de bosque mixto de pino y roble produce alrededor de 4.000 kg. de humus al año; de este modo, una hectárea de tierra cultivada requiere la producción de humus de 5 a 10 hectáreas de bosque (Wilken 1987).

En Senegal, los sistemas nativos agrosilvopastorales sacan ventaja de los múltiples beneficios proporcionados por el *Faidherbia* (anteriormente *Acacia*) *albida*. El árbol deja caer sus hojas a comienzos de la temporada húmeda permitiendo que penetre la luz suficiente para el crecimiento del sorgo y del mijo; aunque aún proporciona la sombra necesaria para reducir los efectos del intenso calor. En la temporada seca, las largas raíces primarias del árbol capturan nutrientes más allá del alcance de las otras plantas; los nutrientes se almacenan en los frutos y en las hojas. El árbol también fija nitrógeno del aire; de esta forma, enriquece el suelo y mejora la produc-

ción de cultivos asociados. En la temporada húmeda, las hojas caídas proporcionan mulch, que enriquece la capa vegetal superior, como también, un forraje muy nutritivo. El suelo también se enriquece con el estiércol del ganado que se alimenta de las hojas del *F. albida* y de los residuos del cultivo de cereales (Reijntjes et al. 1992).

Prácticas para el manejo del microclima

Los agricultores influyen en el microclima, al retener y plantar árboles que detienen el granizo y la lluvia, reducen la temperatura, la velocidad del viento, la evaporación y la exposición directa a la luz solar. Ellos aplican el mulch de plantas que cubren el suelo o paja para reducir la radiación y los niveles de calor en las superficies recién plantadas, para inhibir la pérdida de humedad y para absorber la energía cinética del granizo y la lluvia que cae. Cuando se espera una helada nocturna, algunos agricultores queman paja u otro material de residuo para generar calor y producir humo, atrayendo la radiación saliente. Los lechos de camellones elevados que generalmente existen en los sistemas tradicionales, sirven para manejar la temperatura del suelo y para reducir la inundación por agua, mediante el mejoramiento del sistema de drenaje (Wilken 1987, Stigter 1984).

Métodos autóctonos de control de insectos plagas

Los agricultores tradicionales cuentan con una variedad de prácticas de control para enfrentar los problemas de plagas de insectos agrícolas. Se pueden distinguir dos estrategias principales: La primera consiste en la utilización de métodos directos sin productos químicos para el control de las plagas (es decir, prácticas culturales, mecánicas, físicas y biológicas) (Tabla 6.2). La segunda radica en la confianza en los mecanismos de control de plagas, inherentes a la diversidad biótica y estructural de los sistemas agrícolas complejos comúnmente usados por los agricultores tradicionales (Brown y Marten 1986). Este ensamble de prácticas culturales se pueden agrupar en tres estrategias principales, dependiendo del elemento del agroecosistema que se manipule:

Manipulación de los cultivos en el tiempo. Los agricultores generalmente manipulan la época de siembra y cosecha en forma cuidadosa y utilizan la rotación de cultivos para evitar las plagas. Estas técnicas evidentemente requieren un conocimiento ecológico considerable de la fenología de las plagas. A pesar de que dichas técnicas a menudo brindan otros beneficios agronómicos (por ejemplo, el mejoramiento de la fertilidad del suelo), a veces, los agricultores mencionan explícitamente que estas técnicas se practican para evitar el daño de las plagas. Por ejemplo, en Uganda, los agricultores siembran en la temporada pertinente para evitar los gorgojos de los tallos y los pulgones en los cereales y las arvejas, respectivamente (Richards 1985). Muchos agricultores están conscientes del hecho de sembrar sin sincronizar con los campos vecinos puede acarrear la presión fuerte de una plaga y, por lo tanto, tendrían que utilizar una especie de «saciedad de la plaga» para evitar un daño muy extenso. En la región de los Andes central, la rotación del barbecho de la papa se observa con atención, aparentemente, para evitar la acumulación progresiva de ciertos insectos y nemátodos (Brush 1982).

Manipulación de los cultivos en el espacio. Los agricultores tradicionales generalmente manipulan el tamaño del terreno y su ubicación, la densidad y diversidad de los cultivos para lograr diversos propósitos de producción; aunque muchos están

conscientes de la relación que existe entre dichas prácticas y el control de las plagas (Altieri 1993a).

1. Sobresiembr a. Uno de los métodos más comunes para lidiar con las plagas es sembrar a una densidad mayor que lo que uno espera cosechar. Esta estrategia es más eficaz para las plagas que atacan la planta durante las primeras etapas del crecimiento. Cuando se han detectado las plantas infestadas, éstas se extraen cuidadosamente mucho antes de que la planta verdaderamente muera para, así, evitar que las plantas sanas también se contagien.

2. Ubicación del terreno de explotación agrícola. En Nigeria, muchos agricultores, unidos por lazos monárquicos, edad de los grupos o amistad, ubican sus terrenos

TABLA 6.2: Estrategias para el control de plagas y prácticas específicas utilizadas por los agricultores tradicionales de los países en desarrollo.

ESTRATEGIAS	PRACTICAS
Control mecánico y físico	<ul style="list-style-type: none"> Espantapájaros, instrumentos de sonido Envoltura de frutas y vainas Troncos y carretillas pintadas con cal u otro material Dstrucción de nidos de hormigas Extracción de huevos y larvas Recolección manual Extracción de plantas infestadas Poda selectiva Aplicación de materiales (ceniza, humo, sal etc.) Quema de la vegetación
Prácticas culturales	<ul style="list-style-type: none"> Cultivo intercalado Sobresiembr a o niveles diversos de siembra Cambio de la fecha de siembra Rotación de cultivos Tiempo/épocas determinadas de cosecha Combinaciones de variedades de cultivos Desmalezaje selectivo Uso de variedades resistentes Manejo de fertilizantes Manejo del agua Técnicas para cultivar y labrar
Control biológico	<ul style="list-style-type: none"> Uso de gansos y patos Transferencia de colonias de hormigas Recolección y/o crianza de depredadores y parásitos para liberarlos al campo Manipulación de cultivos variados
Control con insecticidas	<ul style="list-style-type: none"> Uso de insecticidas botánicos Uso de plantas o partes de ellas para repeler o atraer Uso de plaguicidas químicos
Prácticas religiosas/rituales	<ul style="list-style-type: none"> Invocación de dioses y espíritus Colocación de cruces u otros objetos en el campo Fechas prohibidas para plantar

agrícolas en forma contigua, pero dejando un espacio para la expansión de cada terreno en una dirección determinada. En respuesta a esta práctica, los agricultores indicaron que todas las plagas en el área se descubrirían y se concentrarían en un sólo terreno agrícola. Los terrenos, por tanto se ubican uno cerca del otro para que el riesgo de una plaga se expanda entre los agricultores. En la región tropical de América sucede lo contrario, según lo señala Brush (1982): los agricultores deliberadamente utilizan pequeños terrenos aislados para evitar las plagas.

3. Desmalezaje selectivo. Los estudios realizados en los agroecosistemas tradicionales demuestran que los campesinos, deliberadamente, dejan algunas malezas junto a los cultivos, al no removerlas totalmente de sus sistemas de cultivo. Este desmalezaje «relajado» generalmente es considerado por los especialistas como una consecuencia de la falta de mano de obra y de la poca rentabilidad obtenida por el trabajo extra, sin embargo, si el comportamiento de los agricultores con respecto a las malezas se observa con detalle, éste revelará que las malezas se manejan e incluso se fomenta su existencia si tienen un propósito útil. En las zonas tropicales de las tierras bajas de Tabasco, México, existe una clasificación única de las malezas de acuerdo con su uso potencial, por un lado, y los efectos que producen en el suelo y en los cultivos, por otro. De acuerdo con su sistema, los agricultores reconocen 21 plantas en sus campos de maíz, clasificadas como «mal monte» (malezas dañinas) y 20, como «buen monte» (malezas benéficas) que sirven, por ejemplo, como alimento, medicina, material para las ceremonias, té y para mejorar el suelo (Chacon y Gliessman 1982).

De igual modo, los indios de Tarahumara en las Sierras de México dependen de las plántulas comestibles de las malezas (*Amaranthus*, *Chenopodium* y *Brassica*) desde el mes de Abril hasta el mes de Julio, período crítico antes de que el maíz, el frijol, las cucurbitas y los chiles maduren en los campos sembrados desde Agosto hasta Octubre. Las malezas también sirven como provisiones alternas de alimentación en las estaciones cuando las frecuentes tormentas de granizo destruyen los cultivos de maíz. En cierto sentido, los Tarahumara practican un sistema de cultivo doble de maíz y malezas, que permiten dos cosechas: la de las plántulas y la de los quelites a principios de la temporada de cultivo (Bye 1981). Algunas de estas prácticas traen consecuencias importantes para el control de las plagas, puesto que muchas especies de malezas juegan un rol importante en la biología de los insectos herbívoros y de sus enemigos naturales en los agroecosistemas. Algunas malezas, por ejemplo, proporcionan un alimento alternativo y/o un refugio para los enemigos naturales de las plagas de insectos durante la temporada de cultivo, pero, aún más importante, fuera de ésta cuando no existen las presas u hospederos.

4. Manipulación de la diversidad de cultivos. Aunque muchos agricultores utilizan el cultivo intercalado, principalmente debido a la escasez de la tierra y de mano de obra, la práctica, evidentemente, trae consecuencias para el control de las plagas (Altieri y Letourneau 1982). Muchos agricultores saben esto y utilizan el policultivo como una estrategia de juego seguro para prevenir la acumulación progresiva de plagas específicas hasta niveles inaceptables o para sobrevivir en casos de un daño masivo de una plaga. En Nigeria, por ejemplo, los agricultores están conscientes del gran daño que causa la langosta matizada en un cultivo aislado de yuca después de que se han cosechado todos los otros cultivos. Para reducir dicho daño, los agricultores deliberadamente vuelven a sembrar maíz y sorgo en el terreno de la yuca hasta la temporada de cosecha.

Manipulación de otros componentes del agroecosistema. Además de la manipulación de la diversidad espacial y temporal de los cultivos, los agricultores también manipulan otros componentes del sistema de cultivo como el suelo, el microclima, la genética del cultivo y el ambiente químico para controlar las plagas.

1. Uso de variedades resistentes. Mediante la selección consciente e inconsciente, los agricultores han desarrollado variedades de cultivos resistentes a las plagas. Probablemente, este método es uno de los más utilizados y eficaces entre todos los métodos tradicionales para controlar las plagas. Litsinger et al. (1980) encontró que el 73% de los agricultores campesinos en Las Filipinas tenían conciencia de la resistencia varietal, aun cuando ellos no la manipularon en forma consciente. En todas las variedades tradicionales existen pruebas de todas las maneras de resistencia que seleccionan los productores modernos de plantas, incluyendo pubescencia, resistencia, madurez temprana, defensa, química y vigor de las plantas.

En Ecuador, Evans (1988) descubrió que la infestación de larvas de Lepidoptera en las mazorcas en maduración del maíz eran considerablemente más altas en las variedades nuevas que en las tradicionales; factor que influyó en la adopción de nuevas variedades por parte de los pequeños agricultores.

2. Manejo del agua. La manipulación del nivel del agua en los arrozales es una práctica muy usada para el control de las plagas (King 1927). El manejo del agua también se practica en muchos otros cultivos anuales con los mismos propósitos. En Malasia, por ejemplo, el control de los gusanos nocturnos y el gusano ejército se realiza cortando la punta de las hojas infestadas en algunos de los cultivos anuales y elevando el nivel del agua, llevando las larvas hacia los bordes del campo, donde los pájaros se congregan a comérselas.

3. Técnicas de arado y cultivo. Los agricultores con frecuencia señalan que deliberadamente manejan el suelo (a veces utilizando más o menos cultivo) con el fin de destruir o evitar los problemas de las plagas. Por ejemplo, en Perú, los campesinos utilizan un *aporque alto* de papas para proteger a los tubérculos de las enfermedades y plagas de insectos (Brush 1983). En el cultivo migratorio, después de haber limpiado un pedazo de tierra, los agricultores le prenden fuego después de una o dos semanas. Los agricultores señalaron que esto se hace, entre otras razones, para reducir las poblaciones de malezas y plagas durante el primer año de cultivo (Atteh 1984).

4. Uso de sustancias repelentes y/o atrayentes. Durante muchos siglos, los agricultores han estado experimentando con varios materiales naturales encontrados en su ambiente cercano (especialmente en las plantas) y un número importante de estos materiales tienen propiedades plaguicidas. El uso de plantas o parte de ellas, ya sea que se ubiquen en el campo o aplicadas como mezcla de hierbas, para inhibir las plagas es un método muy usado. Litsinger et al. (1980) consultó a los pequeños agricultores en Filipinas acerca de los materiales que se utilizan en los campos para atraer o repeler insectos. En Alboburo, Ecuador, los pequeños agricultores dejan hojas de ricino en los campos de maíz recientemente sembrados con el fin de reducir las poblaciones de un escarabajo nocturno (Tenebrionidae). Dichos escarabajos prefieren las hojas del ricino que las del maíz, y cuando dichos insectos están en contacto con las hojas del ricino durante doce horas o más, presentan parálisis. En el campo, la parálisis impide que los escarabajos se oculten en el suelo, lo que aumenta su mortalidad por estar directamente expuestos al sol (Evans 1988). En el sur de Chile, los campesinos colocan ramas del *Cestrum parqui* en los campos de papas para repeler los escarabajos *Epicauta pilme* (Altieri 1993a). Muchas veces, una planta se cultiva

cuidadosamente cerca de las casas y su única función, aparentemente, es proporcionar la materia prima para preparar una mezcla plaguicida. En Tanzania, los agricultores cultivan *Tephrosia* spp. en los bordes de los campos de maíz. Las hojas se trituran y el líquido resultante se utiliza para controlar las plagas del maíz. En Tlaxcala, México, los agricultores «patrocinan» la existencia de plantas voluntarias de *Lupinus* en sus campos de maíz, porque dichas plantas actúan como cultivos trampa para el *Macroductylus* sp (Altieri 1993a).

Manejo de enfermedades de las plantas en la agricultura tradicional

Thurston (1992) revisó la mayoría de la literatura existente sobre las prácticas culturales utilizadas por miles de pequeños agricultores tradicionales en los países en desarrollo, y concluyó que a pesar de que algunas son intensivas en mano de obra, son sustentables y merecen mayor respeto del que reciben. Thurston consideró varios sistemas agrícolas tradicionales y los comparó con respecto a su productividad (producción de los cultivos o ingreso producido), a la sustentabilidad (capacidad para mantener el sistema en existencia durante un largo período de tiempo, incluso cuando está sometido a stress), a la estabilidad (obtener producciones consistentes y confiables tanto a corto como a largo plazo), y a la equitatividad (distribución relativa de la riqueza en la sociedad) (Tabla 6.3). Las siguientes son las recomendaciones principales que se obtienen de la investigación de Thurston:

TABLA 6.3 Sustentabilidad, insumos externos necesarios y requerimientos de mano de obra en las prácticas tradicionales seleccionadas para el control de enfermedades de las plantas (Thurston 1992).

Práctica	¿Sustentable?	Insumos	Requerimientos externos de mano de obra
Ajuste de la densidad de los cultivos	sí	bajos	baja
Ajuste de profundidad de siembra	sí	bajos	baja
Ajuste de época de siembra	sí	bajos	baja
Alteración de arquitectura de plantas y cultivos	sí	bajos	alta
Control biológico de patógenos del suelo	sí	altos	alta
Quema	sí ^a	bajos	alta
Barbecho	sí	bajos	baja
Inundación	sí	bajos	alta
Manipulación de la sombra	sí	bajos	baja
Abono con mulch	sí	altos	alta
Cultivos de estratos múltiples	sí	bajos	baja
Cultivo múltiple	sí	bajos	alta
Siembra de cultivos diversos	sí	bajos	baja
Siembra en camas elevadas	sí	altos	alta
Rotación	sí	bajos	baja
Elección del lugar	sí	bajos	baja
Labranza	no	bajos	alta
Uso de abonos orgánicos	sí	altos	alta
Control de malezas	no	bajos	alta

^a Bajo alta presión poblacional el sistema de tumba y quema no es ni estable ni sustentable.

1. Muchos sistemas agrícolas sustentables incorporan grandes cantidades de materia orgánica al suelo. Este hecho generalmente tiene como resultado un número menor de enfermedades del suelo, además de otros beneficios agrícolas importantes.

2. Algunas enfermedades se extinguen con la sombra, mientras que otras aumentan su importancia bajo la sombra. La manipulación de la sombra se debería considerar como un posible componente de los sistemas para controlar las enfermedades.

3. El uso de plantas antagonicas (cultivos repelentes y plantas trampa) para el control de los nemátodos u otros agentes patógenos de las enfermedades del suelo.

4. El uso de semillas limpias o de material de multiplicación saludable, tratado para eliminar patógenos, tiene por lo menos efectos positivos y drásticos en la salud de las plantas y en el rendimiento del cultivo.

5. Los agentes patógenos de las plantas, se transmiten a menudo cuando se corta el material vegetativo de multiplicación. Algunas prácticas importantes son la utilización de herramientas estériles para cortar el material de multiplicación y el uso del mismo que no ha sido cortado. Por ejemplo, plantar todo el tubérculo de la papa, en vez del tubérculo cortado, previene las pérdidas causadas por los hongos y bacterias que ocurren cuando se cortan los tubérculos.

6. La densidad de los cultivos o de las plantas tienen consecuencias importantes en la incidencia e intensidad de la enfermedad. Los cultivos densos de las plantas por lo general aumentan la enfermedad, pero, en algunos casos, (es decir, con algunas enfermedades virales) pueden reducirla. La densidad de los cultivos puede ser alterada al manipular la relación las plantas o el espacio entre las filas.

7. La profundidad a la cual se plantan las semillas y los materiales de multiplicación pueden influir en la incidencia o intensidad de la enfermedad, situación que debe considerarse cuando se diseñan las estrategias para controlar las enfermedades. A menudo, la siembra superficial es una práctica eficaz para el control de las enfermedades, ya que las plantas emergen rápidamente del suelo cuando no se han plantado con tanta profundidad.

8. Los períodos de barbecho a menudo son beneficiosos para reducir las pérdidas causadas por las enfermedades de las plantas, especialmente para las enfermedades del suelo. El barbechado generalmente es más eficaz si se combina con las rotaciones.

9. Por lo general, el fuego y el calor se reconocen como prácticas para el manejo de las enfermedades de las plantas. Las altas temperaturas producidas por la quema pueden eliminar el inóculo de muchos agentes patógenos.

10. La agricultura tradicional ha utilizado extensivamente la práctica de la inundación para el control de los agentes patógenos de las plantas. Por ejemplo, en el sistema de los arrozales, además de sus beneficios agronómicos diversos, desempeña un papel fundamental en la reducción de importantes enfermedades del suelo.

11. La aplicación de mulch reduce las enfermedades de las plantas, ya que disminuye que el suelo sea salpicado por las lluvias, influye en el contenido de humedad del suelo y en la temperatura del mismo, y aumenta las actividades microbiológicas, que extinguen los agentes patógenos de las plantas.

12. Es difícil generalizar, con algún grado de precisión, el manejo de las enfermedades mediante la utilización de los cultivos múltiples. Las recomendaciones respecto a los cultivos múltiples deberían probarse en forma minuciosa, ya que muchas veces será necesario hacerlas en terreno.

13. Durante siglos, los sistemas de estratos múltiples existieron en las áreas tropicales sin problemas importantes de enfermedades. La manipulación en forma com-

binada de la arquitectura de las plantas y la sombra, el uso de variedades locales, la diversidad de especies en sistemas de estratos múltiples, podrían ser ejemplos útiles para otras áreas en los trópicos.

14. Los campos elevados, las camas de realce, los canales y otros sistemas fueron ampliamente utilizados por los agricultores tradicionales durante milenios. Otros beneficios importantes de estos sistemas son: un mejor drenaje y riego, un aumento en la fertilidad y el control de las heladas. El hecho de sembrar en suelos elevados por sobre la superficie del suelo, también es una práctica importante para el manejo de las enfermedades relacionadas con los agentes patógenos del suelo.

15. El uso de la rotación se debería investigar y ser utilizado en forma cuidadosa en los esquemas diseñados para ayudar a los agricultores tradicionales, pero teniendo en cuenta que el valor de la rotación de cultivos para el manejo de enfermedades determinadas, es para una localidad específica.

Manejo y conservación in-situ de recursos genéticos de los cultivos

Los agroecosistemas tradicionales son genéticamente diversos, pues contienen poblaciones variables y adaptadas, y también especies silvestres emparentadas de los cultivos (Harlan 1976). Las poblaciones de variedades nativas consisten en combinaciones de líneas genéticas, todas las cuales están razonablemente adaptadas a la región en la cual se desarrollaron, pero que difieren en cuanto a la reacción frente a las enfermedades y a los insectos plaga. Algunas líneas son resistentes o tolerantes a algunas razas nativas de agentes patógenos y a algunas otras (Harlan 1976). La diversidad genética resultante otorga, por lo menos, una resistencia parcial a las enfermedades que son inherentes a determinadas líneas del cultivo, y permite que los agricultores exploten diferentes microclimas obteniendo usos múltiples a partir de la variación genética de una especie determinada.

Los agricultores andinos cultivan 50 variedades de papas en sus campos y tienen un sistema taxonómico especial para clasificar las papas (Brush et al. 1981). De igual modo, en Tailandia e Indonesia, los agricultores mantienen una diversidad de variedades de arroz que se adaptan a una extensa gama de condiciones ambientales. Las pruebas indican que las taxonomías populares se tornan más relevantes a medida que las áreas se vuelven más marginales y riesgosas. En Perú, por ejemplo, a medida que aumenta la altitud, aumenta también, constantemente, el porcentaje de variedades nativas de papas. En el sudeste de Asia, los agricultores siembran variedades modernas de arroz semienano durante la estación seca y siembran variedades tradicionales durante la estación del monzón; así, toman ventaja de la productividad de las modernas variedades regadas durante los meses secos, y de la estabilidad de las variedades nativas en la estación húmeda, época en la que generalmente surgen las plagas (Grigg 1974). Clawson (1985) describió varios sistemas en los que los agricultores tradicionales de las zonas tropicales siembran variedades múltiples de cada cultivo, lo que proporciona una diversidad intra e inter específica; aumentando, de este modo, la seguridad de la cosecha.

Varias plantas dentro del sistema de cultivo tradicional o cercanas a éste son especies silvestres emparentadas con las plantas de cultivo. Así, mediante la práctica de cultivo semienmalezado, los agricultores han aumentado, involuntariamente, el flujo de genes entre los cultivos y sus especies emparentadas (Altieri y Merrick 1987). Por ejemplo, en México, los agricultores permiten que los teosintes permanezcan dentro o cerca de los campos de maíz, de manera que se produzca el cruzamiento natural

cuando el viento polinice el maíz (Wilkes 1977). Mediante esta asociación continua, se han producido equilibrios medianamente estables entre los cultivos, las malezas, las enfermedades, las prácticas culturales y los hábitos humanos (Bartlett 1980). Los equilibrios son complejos y difíciles de modificar sin trastornar el balance, lo que podría provocar una pérdida de los recursos genéticos. Por esta razón, Altieri y Merrick (1987) han sostenido el concepto de la conservación in-situ de muchas variedades nativas de tierra y especies silvestres emparentadas. Ellos argumentan que la conservación in-situ de la diversidad nativa de los cultivos sólo se logra mediante la preservación de los agroecosistemas bajo un manejo tradicional, y, aún más, sólo si dicho manejo está guiado por el conocimiento local de las plantas y de sus necesidades (Alcorn 1984).

Muchos campesinos utilizan y preservan los ecosistemas naturalizados (bosques, laderas, lagos, tierras de pastoreo, pantanos, etc.) dentro o cerca de sus propiedades. Estas áreas proporcionan valiosos complementos alimenticios, materiales de construcción, medicinas, fertilizantes orgánicos, combustibles y elementos religiosos (Toledo 1980). A pesar de que la recolección, normalmente, ha sido asociada con la pobreza (Wilken 1969), pruebas recientes indican que esta actividad esta muy relacionada con una fuerte tradición cultural. Además, la recolección de la vegetación tiene una base económica y ecológica, ya que las plantas silvestres proporcionan un insumo importante para la economía de subsistencia, especialmente cuando la producción agrícola es baja, debido a desastres naturales u otras circunstancias (Altieri et al. 1987). De hecho, en muchas regiones semiáridas de Africa, los campesinos y los grupos tribales mantienen su nivel nutricional, incluso en tiempos de sequía, gracias a la recolección (Grivetti 1979). La recolección también es prominente entre los cultivadores migratorios, cuyos campos están espaciados a través del bosque. Muchos agricultores recolectan plantas silvestres para la comida familiar mientras andan por los campos (Lenz 1986). La recolección también es frecuente en el bioma desértico. Por ejemplo, los indios Pima y Papago del Desierto de Sonora abastecen la mayor parte de sus necesidades de subsistencia con más de 15 especies de leguminosas silvestres y cultivadas (Nabhan 1983). En condiciones tropicales húmedas, la obtención de recursos del bosque primario y secundario es aun más impresionante. Por ejemplo, en la región de Uxpanapa de Veracruz, México, los campesinos locales explotan alrededor de 435 especies de plantas silvestres y animales, de las cuales 229 se utilizan como alimento (Toledo et al. 1985).

Ejemplos de sistemas tradicionales de explotación agrícola

Cultivo de arrozales en el Sudeste de Asia

Bajo la simple estructura del monocultivo del arroz (sawah) subyace un complejo sistema de controles naturales inherentes y una diversidad genética de cultivos (King 1971). A pesar de que dichos sistemas prevalecen más en el Sudeste Asiático, los agricultores de arroz de las altiplanicies en las zonas tropicales de América Latina también cultivan una serie variedades de arroz sensibles a los fotoperíodos y adaptadas a las diferentes condiciones ambientales. Estos agricultores regularmente intercambian semillas con sus vecinos, por que observaron que toda variedad comienza a sufrir problemas de plagas si se cultiva en forma continua en la misma porción de tierra y durante muchos años. La diversidad temporal, espacial y genética que resulta de las variaciones de predio a predio en los sistemas de cultivo otorga,

por lo menos, una resistencia parcial al ataque de plagas. Dependiendo del grado de diversidad, las interacciones de las cadenas alimenticias entre las plagas de insectos del arroz y sus numerosos enemigos naturales en los arrozales, pueden tornarse muy complejas y, por lo general, tienen como resultado una población de insectos baja, pero estable (Matteson et al. 1984).

El ecosistema del arroz, el cual ha existido por mucho tiempo comprende también diversas especies de animales. Algunos agricultores permiten que bandadas de patos domésticos busquen afanosamente los insectos y malezas existentes en los arrozales. Muchos agricultores permiten la presencia de malezas acuáticas, las que cosechan como alimento (Datta y Banerjee 1978). Con frecuencia, se pueden encontrar arrozales en los que los agricultores han introducido algunas parejas de peces prolíferos (tales como la carpa común, *Sarotherdon mossambicus*). Cuando se deja escurrir el agua para cosechar el arroz, los peces se mueven hacia los canales o estanques cavados en las esquinas de los campos y, luego, se cosechan.

Las técnicas utilizadas para el cultivo de arroz/pez difieren considerablemente entre los países y entre las regiones. En general, la explotación de peces en los campos de arroz pueden clasificarse como de captura o de cultivo (Pullin y Shehadeh 1980). En el sistema *de captura*, los peces silvestres pueblan los arrozales inundados y se reproducen en ellos, siendo cosechados al final de la estación de cultivo de arroz. Los sistemas de captura ocupan un área mucho mayor que los sistemas de cultivo y son importantes en todas las regiones del Sudeste Asiático en donde se cultiva arroz. En el sistema *de cultivo*, el campo de arroz se siembra con peces. Este sistema, más adelante, se puede diferenciar en un cultivo *coincidente*, donde los peces se crían en conjunto con el cultivo de arroz y un cultivo *de rotación*, en donde los peces y el arroz se cultivan en forma alternada. Los peces también se pueden cultivar como un cultivo intermedio entre dos cultivos de arroz (Ardiwinata 1957).

Los agricultores tradicionales de arroz, por lo general, sólo producen un cultivo de arroz al año durante la estación húmeda, incluso cuando el agua de riego se puede utilizar en cualquier momento. Esta práctica es, en parte, un intento para evitar el daño producido por cogolleros del arroz. Por el resto del año, la tierra puede estar en barbecho y puede ser pastoreada por animales domésticos. Este barbecho anual en conjunto con el estiércol de los animales en pastoreo, las malezas y el rastrojo enterrado en el suelo son suficientes para mantener un rendimiento aceptable de arroz (Webster y Wilson 1980).

Como alternativa, los agricultores pueden seguir el cultivo de arroz con otros cultivos anuales en el mismo año, siempre que existan lluvias y agua de riego adecuadas. Es común sembrar hileras alternativas de cereales y leguminosas, ya que los agricultores creen que este sistema aprovecha los recursos del suelo en forma más eficaz. Los compost y abonos en avanzada descomposición se aplican a la tierra para que proporcionen nutrientes para los cultivos en crecimiento. Sembrar caupíes y frijoles mung en rastrojos de arroz establecidos reduce los daños producidos por la mosca del frijol, por los trips y por los saltahojas, ya que el mulch interfiere en su habilidad para encontrar a su huésped (Matteson et al. 1984).

El microambiente del sawah (arroz inundado) también ayuda al cultivador de arroz húmedo para producir constantes cosechas de cultivos en el mismo campo, año tras año. Primero, el sawah cubierto por el agua esta protegido de las altas temperaturas y del impacto directo de la lluvia y de los vientos fuertes, reduciendo, así, la erosión del suelo. Segundo, la gran cantidad de agua reduce el movimiento vertical de esta,

lo que reduce la lixiviación de nutrientes. Tercero, tanto el agua para la inundación como para el riego trae cieno en suspensión y otros nutrientes en la solución, lo que renueva la fertilidad del suelo cada año. Cuarto, el agua en los sawahs contiene *Azolla* spp. (una asociación simbiótica de helechos y algas verde azuladas), la que promueve la fijación del nitrógeno, alcanzando hasta 50 kg. por hectárea de nitrógeno.

Agricultura tradicional de Java

En Java, Indonesia, muchos sistemas agrícolas tradicionales combinan cultivos y/o animales con cultivos de árboles o frutales y/o forestales. Algunos de estos son sistemas agroforestales y se pueden agrupar en dos tipos principales (Marten 1986):

Talun-kebun. Este es un sistema agrícola indígena que pareciera haber derivado del cultivo migratorio. Por lo general, se compone de tres etapas: kebun, kebun campuran y talun; cada una de las cuales tiene un función diferente. En la kebun, primera etapa, por lo general se siembra una mezcla de cultivos anuales. Esta etapa es económicamente valiosa, ya que la mayor parte de los cultivos se venden. Después de dos años, las plántulas de los árboles han comenzado a crecer en el campo y hay un espacio menor para los cultivos anuales. En este momento, la etapa kebun evoluciona gradualmente hacia una etapa kebun-campuran, en donde los anuales se mezclan con perennes a medio crecer. Esta etapa también tiene valor económico pero también fomenta la conservación del agua y del suelo. Después de cosechar los anuales, el campo, por lo general, se abandona por dos o tres años para que sea dominado por los perennes. Esta tercera etapa es conocida como talun, y también tiene valor económico y biofísico.

Después de que el bosque se ha despejado, la tierra se puede plantar para el huma (arroz de secano) o sawah (arroz húmedo), dependiendo de si hay agua para el riego. En forma alternativa, la tierra se puede cambiar directamente a kebun mediante la siembra de una mezcla de cultivos anuales. En algunas regiones, la kebun se desarrolla después de haber cosechado el huma, cambiando el arroz de secano por cultivos anuales. Si la etapa kebun se siembra con cultivos de árboles o bambú, se torna kebun-campuran (huerto mixto), que después de varios años estará dominado por perennes tornándose luego en talun (huerto de cultivos perennes). Es usual encontrar sistemas talun-kebun con 112 especies de plantas. De estas plantas, alrededor del 42% proporciona material de construcción y madera combustible; el 18% son árboles frutales; 14% son hortalizas; y el resto constituye ornamentos, plantas medicinales, especias y cultivos comerciales.

Pekarangan (huerto familiar). El pekarangan es un sistema integrado de personas, plantas y animales con límites definidos y una combinación de cultivos anuales, perennes, y animales alrededor de una casa. El sistema talun-kebun se convierte en un pekarangan cuando una casa se construye sobre éste. En vez de sacar los árboles para cultivar, como en el tipo talun-kebun, los árboles del huerto doméstico se conservan como una fuente permanente de sombra para la casa y para el área cercana a ella, y los cultivos en el huerto familiar se siembran bajo los árboles.

Un huerto familiar típico tiene una estructura vertical de año en año, aunque pueden ocurrir algunas variaciones estacionales. El número de especies e individuos es mayor en el estrato más bajo y disminuye con la altura. El estrato más bajo (menos de un metro de altura) está dominado por plantas alimenticias como especias, camotes, taro, *Xanthosoma*, pimiento, berenjenas y leguminosas. El siguiente estrato (de uno a dos metros de altura) también está dominado por plantas alimenticias como el

ganyong (*Canna edulis*), *Xanthosoma*, la yuca y el gembili (*Dioscorea esculenta*). En el siguiente estrato (de 2 a 5 metros) predominan los plátanos, los papayos y otros árboles frutales. En el estrato de 5 a 10 metros de altura también predominan los árboles frutales como, por ejemplo, el guanábano, el manjea, el pisitan (*Lansium domesticum*), el guayabo, manzano de montaña y otros cultivos comerciales como el clavero. La capa más alta (10 metros) está dominada por los cocoteros y por los árboles para la producción maderera como *Albizzia* y *Parkia*. El efecto total es una estructura vertical parecida a un bosque natural, una estructura que optimiza el uso del espacio y de la luz solar. Las plantas más comunes en el tipo pekarangan son la yuca (*Manihot esculenta*) y el ganyong (*Canna edulis*). Ambas tienen un alto contenido calórico y son importantes como substitutos del arroz.

Existen agrupaciones determinadas de plantas en los huertos domésticos. Por ejemplo, dondequiera que exista el gadung, el petai (*Parkia speciosa*), kemlakistan y rambután, posiblemente el guayabo (*Psidium guajava*) y el suweg (*Amorphophalus campanulatus*) también estarán presentes.

Una importante asociación de plantas consiste en rambután (*Nephelium lappaceum*), kelor (*Moringa pterygosperma*), el rosal (*Rosa hybrida*), mangkokan (*Polyscias scutellaria*), gadung (*Dioscorea hispida*) y el toronjo (*Citrus grandis*). Cada una de las plantas que forma parte de la asociación le proporciona algo útil al agricultor. El fruto del rambután se vende y es comestible; el kelor se utiliza como hortaliza y también se cree que es una planta mágica; el rosal se cultiva por placer; el mangkokan se cultiva como una planta estética y, ocasionalmente, se utiliza para cercos y para tónicos capilares; el gadung es una planta alimenticia que también se puede utilizar como indicador meteorológico, pues la temporada lluviosa, por lo general, comienza poco tiempo después de que sus hojas empiezan a crecer; el toronjo tienen una función similar y cuando sus frutos comienzan a crecer, empieza la temporada de cultivo anual de plantas. Estos indicadores meteorológicos y de la temporada de siembra son importantes, pues muchos agricultores piensan que las fallas agrícolas se deben, principalmente, a las temporadas de siembra inadecuadas.

El ganado es un componente importante de este sistema de agroforestería, especialmente, las aves de corral, pero también las ovejas que pastorean libremente o aquellas que están encerradas en galpones y que son alimentadas con el forraje recolectado de la vegetación. Los animales desempeñan una función importante en el reciclaje de los nutrientes. Los estanques de peces, que son alimentados con desechos animales y humanos, también son comunes.

Huertos frutales mixtos de México

Los sistemas de árboles mixtos o huertos familiares también son comunes en las llanuras de las zonas tropicales de México, donde constituyen una forma de agricultura común, poco investigada. Dichos sistemas abarcan la siembra, el trasplante, el manejo y la protección de una variedad de especies útiles (desde los árboles de follaje de gran altitud hasta las viñas que cubren el suelo y aquellas trepadoras) para la cosecha de diversos productos forestales, incluyendo leña, alimento para la casa y para los sectores comerciales, medicinas y materiales de construcción (Gliessman 1990).

Los huertos familiares en México son pedazos de tierra que comprenden una casa rodeada o adyacente a una zona para cultivar una variedad de especies de plantas y, a veces, para criar ganado. También se los conoce como huertos de cocina, huertos

de patio de entrada, *huertos domésticos o solares*. El huerto doméstico representa las necesidades y los intereses de una familia, pues proporciona alimentos, forraje, leña, productos comerciales, materiales de construcción, medicinas y plantas ornamentales para la familia; o bien, para la comunidad local. Muchos de los árboles más comunes son aquellas mismas especies que han sido encontradas en los bosques naturales cercanos, pero se han incorporado especies nuevas como el papayo (*Carica papaya*), el guayabo (*Psidium* sp.), el plátano (*Musa* spp), el limón (*Citrus limon*) y el naranjo (*Citrus aurantium*). Una serie de especies indígenas y exóticas de hierbas, arbustos, viñas y epífitas se cultivan, ya sea en lugares con poca luz o bajo la sombra de los árboles. Las plántulas de las especies silvestres útiles traídas al huerto por el viento o por los animales, por lo general, no necesitan ser desmalezadas y, en forma subsiguiente, son integradas al sistema del huerto doméstico.

Una de las características más sorprendentes de los actuales pueblos Mayas en la Península de Yucatán es la riqueza floral de sus huertos familiares. En un estudio de estos en el pueblo de Xuilub, se encontraron 404 especies, casi un tercio de las 1.120 especies que se conocen en todo el estado. Los huertos domésticos también proporcionan ambientes diversos donde pueden vivir muchas especies silvestres de animales y plantas, a pesar de que la diversidad de especies depende del tamaño y del grado de manejo de los huertos. El promedio de los terrenos familiares varía entre los 600 m² y los 6.000 m². Considerando que la mayoría de las familias en las comunidades rurales de la Península de Yucatán tienen algún tipo de huerto, las prácticas locales tradicionales del manejo de los huertos ya han contribuido a la cubierta forestal de la península y tienen el potencial para contribuir aún más (Gliessman 1990).

Agricultura migratoria

La agricultura migratoria también se denomina agricultura de tala, tumba y quema o agricultura de corte y quema, y, por lo general, se la define como un sistema agrícola en el que parcelas desbrozadas se siembran durante algunos años con cultivos anuales o perennes de corto plazo y luego se deja en barbecho por un período mayor que el de cultivo. Las condiciones que limitan la cosecha de cultivos tales como la pérdida de fertilidad del suelo, las malezas o el brote de plagas, se superan durante la época de barbecho y, después de algunos años, la zona está lista para ser desbrozada nuevamente para su cultivo. Así, dichos sistemas abarcan unos pocos años de cultivo que alternan varios años de barbecho para regenerar la fertilidad del suelo. Comúnmente existen tres tipos de barbecho: el barbecho forestal (de 20 a 25 años), el barbecho de arbusto (de 6 a 10 años) y el barbecho de pasto (menos de 5 años).

Dentro de las zonas tropicales del Africa, el cultivo migratorio es el más importante. En Asia y en las zonas tropicales de América, se practica por personas pobres que viven en áreas rurales remotas, donde la falta de caminos impide el desarrollo de los mercados para los cultivos comerciales. En el sur y sudeste de Asia, alrededor de 50 millones de personas son cultivadores migratorios, cultivando 10 a 18 millones de hectáreas cada año. Con el desarrollo gradual del cultivo de arroz en las tierras bajas, el cultivo migratorio se ha retirado a áreas montañosas que son inapropiadas para los arrozales. En las regiones tropicales del continente americano, el cultivo migratorio se practicó desde antes del año 1.000 A.C. En las regiones más secas de las zonas tropicales de México, el cultivo se basa en maíz, frijol, calabaza; y en las llanuras más lluviosas en tubérculos, yuca y camote (Norman 1979). Las características del cultivo migratorio incluyen (Grigg 1974):

- El tamaño y número de los terrenos manejados por cada familia varía con la fertilidad del suelo, densidad de la población, duración del barbecho y el nivel de comercialización.
- Puede o no requerir un cambio de domicilio.
- La tenencia de la tierra, por lo general, es comunal y la mayoría de los agricultores tienen acuerdos cooperativos para trabajar la tierra, especialmente para desbrozar la vegetación.
- Los métodos de cultivo se basan en la fuerza animal y humana, que se caracteriza por herramientas manuales.
- El ganado no desempeña un papel fundamental.
- Una vez que los cultivos han sido sembrados, se cultivan y manejan poco.
- Por lo general, la fertilidad del suelo se mantiene con abono animal, pero, principalmente, con los nutrientes proporcionados por la ceniza y la vegetación en descomposición. En condiciones húmedas cálidas, la descomposición relativamente rápida del mulch proporciona beneficios de reciclaje de los nutrientes, mientras se protege la superficie del suelo y se aumenta la cantidad de materia orgánica del mismo (Thurston 1991).

En el cultivo migratorio, es común cortar un sector del bosque y quemarlo para liberar los nutrientes y eliminar las malezas. Una combinación de cultivos a corto plazo, a veces seguidos por cultivos perennes, se cultiva hasta que el suelo pierda su fertilidad y hasta que la competencia de las especies de plantas sucesoras sea intensa. Entonces el agricultor prepara un nuevo campo y el antiguo retorna al barbecho a largo plazo. Durante el período de barbecho, se almacenan grandes cantidades de nutrientes en la biomasa de las plantas. Dichos nutrientes se liberan cuando la vegetación de barbecho se quema para desbrozar la tierra para el ciclo de cultivo siguiente (Rutenberg 1971). Donde la tierra es abundante pero los recursos escasos, por lo general, se dice que este es un sistema muy eficaz y estable que ha sustentado a las familias agrícolas durante muchas generaciones. Debido a la reciente presión de la población, a la presión de la pobreza y a los factores como el crecimiento de la maleza y la disminución de la fertilidad del suelo, el ciclo de barbecho se ha reducido de un período muy favorable de 20 a 30 años a un período que sólo dura 5 años, lo que, muchas veces, ha causado pérdidas del suelo y un agotamiento de los nutrientes. Los ciclos a corto plazo continuarán existiendo y se desbrozará más tierra sino se producen importantes cambios sociales y económicos, entre ellos, la redistribución de la tierra.

A pesar de que durante los períodos de barbecho, por lo general, se presentan generaciones desordenadas de especies, en algunas partes de las zonas tropicales húmedas, los agricultores intencionalmente retienen algunas especies como: *Acioa baterii*, *Anthonata macrophylla* y *Alchornia* sp. Los árboles pequeños sólo se podan y las ramas grandes se guardan para que sirvan como estaca para los cultivos. Las puntas que han sido cortadas se esparcen por los suelos y se queman. Así, el barbecho de arbusto tiene una función doble: sirve como estaca y recicla los nutrientes (Nye y Greenland 1961). La distinción entre un terreno agrícola y el bosque maduro adyacente en las zonas tropicales húmedas puede que no sea tan evidente como en las regiones templadas. En vez de ser categorías diferentes de vegetación, las milpas (pequeños campos desbrozados) y las manchas forestales maduras constituyen etapas diferentes del proceso cíclico de la agricultura migratoria. Incluso la vegetación madura es parte de un sistema de manejo más extenso que comprende el ahorro de

árboles en la milpa y la protección y el cultivo de especies de plantas útiles durante el recultivo de las manchas forestales. Dichas manchas forestales, en conjunto con las otras áreas que no se han desforestado y donde la vegetación madura está protegida o donde las especies arbóreas útiles se han fomentado o trasplantado, pueden considerarse como huertos forestales, bosques manejados o bosques modificados.

Se ha especulado que los barbechos de arbustos son potencialmente valiosos para controlar los insectos. La gran diversidad de cultivos que se siembra en forma simultánea en el sistema de cultivo migratorio ayuda a prevenir la formación de plagas en las plantas relativamente aisladas de cada especie. El aumento de las poblaciones de parasitoides y depredadores, la disminución de la reproducción y colonización de las plagas, la repelencia o enmascaramiento por productos químicos, la inhibición de la alimentación de insectos por plantas no huéspedes, la prevención del movimiento de las plagas o la estimulación de la emigración de las mismas y la óptima sincronía entre las plantas y sus enemigos naturales son factores temporales y espaciales que se presumen importantes para la regulación de plagas en los policultivos. La sombra de los fragmentos forestales, que aún existen en los nuevos campos, unida con un dosel parcial de especies arbóreas de frutas, nueces, leña, medicina y/o de madera elaborada, reducen las poblaciones de malezas intolerantes a la sombra y proporcionan huéspedes alternativos para los insectos benéficos (o, a veces, nocivos). Desbrozar terrenos relativamente pequeños en una matriz de vegetación forestal secundaria permite una fácil migración de los agentes de control naturales existentes en la selva circundante (Matteson et al. 1984).

El sistema Nkomanjila de los cultivadores migratorios de Nyhia

Este es un típico sistema de cultivo migratorio y comprende un ciclo de tala y quema de un bosque, cultivo y barbecho (King 1978). Los cultivadores de Nyhia prefieren un bosque secundario o virgen, compuesto de árboles específicos tales como el *Brachystegia* spp. y la *Acacia macrothyrsa*. Al quemar el *nkomanjila*, la madera talada se estaca alrededor de los troncos de los árboles y se quema justo antes del período lluvioso. Si queda mucho material sin quemar, éste se recolecta y se vuelve a quemar. Después de un mes, tiempo durante el cual se preparan otros campos, se siembran los cultivos. Antes de la siembra, la ceniza de los árboles quemados se esparce en forma pareja con un azadón por todo el campo, y las malezas se incorporan al suelo con la misma herramienta. Las semillas se siembran al voleo y se azadonean levemente.

El *nkomanjila* debe desmalezarse, por lo general, una vez o dos veces. Las mujeres son las encargadas de desmalezar y de cosechar, mientras que los hombres talan, queman y realizan parte del azadoneo inicial. Después de la cosecha, los cultivos se secan al sol y, luego, se almacenan.

En los sistemas de cultivo intercalado, los cultivos de *nkomanjila* incluyen el mijo, el sorgo perenne, leguminosas (incluyendo *Cajanus*, frijol Lima y caupí) y cucurbitas, (incluyendo calabazas y cabalacines).

La secuencia estándar de cultivo en *nkomanjila* es la combinación de mijo/sorgo el primer año, seguido por retoño de sorgo el segundo año. Una porción del primer año se puede sembrar con una variedad de mijo de maduración temprana. El segundo año de retoño de sorgo (*lisala*) está virtualmente abandonado excepto para la cosecha. Tradicionalmente, la secuencia de cultivo terminaba aquí y el campo se abandonaba para el barbecho. Sin embargo, hoy en día, se necesitan tantas hectáreas para la

producción de alimentos que estas secuencias de cultivo tan largas ya no son posibles. La secuencia bianual del nkomanjila se pueden repetir. Por otra parte, si el rendimiento de mijo durante el primer año es bueno, se podría reiniciar el patrón básico en el segundo año. Una vez que se abandona el nkomanjila (lo que se puede deber al crecimiento de maleza o a una baja fertilidad del suelo), se permite que la tierra descanse durante cinco a siete años. Dada la densidad poblacional de Africa, el sistema nkomanjila ya no es posible, puesto que los agricultores ya no pueden sustentar largos períodos de barbecho. Como resultado del cultivo y la quema frecuente, un sistema de cultivo que comprende un terreno baldío dominado por el pasto ha reemplazado a terrenos caracterizados por una cubierta de bosque.

El sistema Nkule. El sistema *nkule* es la alternativa de pradera que existe para el sistema nkomanjila (king 1978). Las técnicas utilizadas en el cultivo *nkule*, se pueden aplicar tanto para las comunidades de pasto de terreno elevado, que tienen como resultado los campos conocidos con el nombre de *nkule* como en elevaciones mayores, donde se los conoce como *ihome*. Los indicadores del método *nkule* son los pastos altos del género *Hyparrhenia* y *Trachypogon spicatus*. La característica distintiva del sistema *nkule* es que la turba y el suelo se amontonan sobre el pasto, que luego se quema bajo el suelo aporcado. El maíz y las cucurbitáceas se siembran bajo el aporque. En Diciembre, estos aporques alrededor de dichos cultivos se azadonean. La ceniza y el suelo quemado se esparcen y luego se siembra el mijo. El campo requiere dos desyerbas, una durante la preparación de las camas para el semillero y, una segunda, durante la estación de crecimiento. El cultivo del mijo se cosecha y se guarda bajo el sistema nkomanjila. En los campos *ihombe*, los montones se forman y luego se queman; sin embargo, el mijo es el único cultivo que se siembra después de que se han esparcido los montones.

En el sistema *nkule* es importante quemar tanto la materia vegetal como la superficie del suelo. Por lo general, la pradera baldía se labra durante el período seco para romper el pasto que, luego, se incorporará mediante un azadón a los aporques. El estiércol de las vacas se pone en el lado barlovento del montón y se quema. El suelo y la turba en el aporque se esparce con azadón lentamente sobre el estiércol en llamas hasta que toda la materia orgánica se haya quemado.

La diferencia importante entre los campos *nkule* y *ihombe* es que, en el *nkule*, los cultivos, por lo general, siempre están en crecimiento; mientras que el *ihombe* sólo se utiliza durante un año y es barbechado, por lo menos, durante tres años. En los campos *nkule* de terrenos elevados, la secuencia de los cultivos es tan variada como después del nkomanjila. Sería preferible que un campo *nkule* de terrenos elevados se rotará con leguminosas/granos durante dos a cuatro años y luego se le dejara descansar durante uno o dos años. Ahora, muchos campos *nkule* se cultivan durante seis o más años. Al igual que en el nkomanjila, la secuencia del cultivo finaliza con la yuca, aunque la rotación trigo/frijoles pareciera ser viable durante un largo período de tiempo.

Ocasionalmente, un campo *ihombe* será sembrado con mijo durante el segundo año, y si está en el margen, será preparado con azadón para siembras de frijoles y maní. Si un segundo cultivo de mijo (o de otros cultivos) no tiene éxito, puede que esto se deba a una falta de micronutrientes en los campos *ihombe* o a alteraciones en la estructura del suelo. Cuando los suelos se cultivan de manera continua, se puede acumular hierro en el suelo, lo que impediría el drenaje en los años siguientes. Un barbecho de corta duración podría revertir esta situación.

Sistema del «Frijol Tapado» en América Central

El «Frijol tapado» es un sistema agrícola tradicional que se utiliza para producir frijoles en las áreas de elevación intermedia de América Central, en laderas con pendiente y donde el régimen de lluvias es alto; lugar donde se cultiva la mayoría de los frijoles. Este sistema fue originalmente ideado por los habitantes indígenas de América Central y es una de las pocas tecnologías agrícolas que ha sido traspasada a los colonizadores españoles. Para comenzar con el proceso, los agricultores eligen un terreno baldío de dos a tres años de vida, de manera que la vegetación leñosa predomine sobre los pastos. Si el período de barbecho es inferior a dos años, entonces los pastos dominarán sobre las plantas de frijoles en crecimiento y la fertilidad del suelo no se habrá restablecido totalmente desde la última cosecha. En seguida, se abren caminos a través del campo con machetes. Luego, las semillas del frijol se lanzan sobre la vegetación de barbecho o se siembran al voleo. Finalmente, la vegetación de barbecho con la semilla de los frijoles se corta con el fin de obtener un mulch, que se deja descomponer para que proporcione los nutrientes para la plántula del frijol en maduración. La cosecha se realiza aproximadamente 12 semanas después de que se ha sembrado al voleo. En Costa Rica, se calcula que entre un 60% y un 70% de los frijoles del país se cultivan mediante el sistema «Frijol tapado». Debido a los bajos costos, dicho sistema tiene una tasa de rentabilidad más alta, comparado con otros métodos que tienen un uso más intenso de mano de obra y productos químicos.

El sistema del *tapado* permite una producción de frijol tanto para el consumo doméstico como para obtener dinero, con el fin de complementar los bajos ingresos durante los duros períodos financieros. Los beneficios eficaces en función de los costos comprenden: 1) no hay necesidad de productos químicos agrícolas costosos ni potencialmente tóxicos como los fertilizantes y pesticidas y 2) exigencia de mano de obra relativamente baja. La erosión del suelo se reduce al mínimo, debido a una cubierta vegetal continua que evita la exposición del suelo desnudo a las duras lluvias.

La alternativa existente para el sistema del *tapado* es el método *espequeado*, donde los agricultores siembran los frijoles en el suelo desnudo con una vara. En comparación con el *tapado*, el sistema *espequeado* tiene un costo de producción mayor, por lo tanto, una tasa de rentabilidad menor. Dicho sistema requiere productos químicos y una mano de obra más elevada, lo que implica un gasto mayor. Los pequeños agricultores no tienen acceso al dinero y al crédito requerido para comprar los productos químicos agrícolas que se necesitan. Aún no existe una asistencia técnica apropiada. Una puesta en marcha incompleta de las pautas determinadas por los organismos agrícolas del gobierno para el sistema *espequeado*, puede tener como resultado una degradación del suelo y una baja en la productividad. Una consecuencia económica del uso parcial del sistema *espequeado* por parte de los pequeños agricultores, sería la pérdida de dinero. Los organismos agrícolas del gobierno están promoviendo este sistema por sobre el *tapado*, debido a que se calcula que el *espequeado* tienen una producción mayor por hectárea; no obstante, esto no ha sido determinado por la literatura. Además, pareciera que las plagas son un problema mayor en el sistema *espequeado*.

Los investigadores que estudian y promueven el sistema de mulch el cual es similar al frijol tapado de América Central, señalan las siguientes ventajas para los agricultores (Thurston et al. 1984):

1. El sistema de mulch puede adicionar grandes cantidades de materia orgánica al suelo. Los frijoles Velvet (*Stizilobium* spp y *Mucuna pruriens*) comúnmente producen 50 t./ha de materia orgánica cada año. Estos mulch pueden también aportar grandes cantidades de nitrógeno al suelo. Por ejemplo los frijoles Velvet pueden producir 150 kg. N/ha y *Lathyrus nigrivalvis* mucho más. La combinación de materia orgánica y nitrógeno ha significado que los agricultores usen varios sistemas de mulch y producir alrededor de 3 t./ha de maíz al año sin adicionar fertilizantes químicos.
2. Los mulch pueden reducir la cantidad de trabajo en el desmalezaje. En algunos casos se pueden eliminar las malezas secundarias y en otros eliminar las malezas para el segundo cultivo del maíz. Los agricultores en varias partes de América Central, Africa y Asia usan frijol Velvet para eliminar *Cyperus rotundus* y *Imperata cylindrica*, que son las malezas más agresivas.
3. Otra ventaja es conferida por el uso alternativo de estos cultivos. Los frijoles Velvet, el Lablab y *L. nigrivalvis* proveen un buen forraje. Los dos últimos pueden aguantar sequías y proveer alta calidad de forraje durante la estación seca. El frijol Velvet, el frijol Jack, el frijol Runner y el Lablab son altamente nutritivos, con grandes cantidades de proteínas, lo que los hacen aptos para ser consumidos por el hombre, ya que pueden ser preparados en diferentes formas. Los frijoles Velvet por ejemplo pueden ser usados para hacer café, chocolate, pan y tortillas. Los Lablab pueden ser consumidos frescos o cocidos como otras leguminosas. En muchos casos, el consumo de estos frijoles, los cuales son un subproducto de la operación inicial, ha resultado en un mejoramiento sorprendente en la nutrición de los niños.
4. Otras ventajas que se pueden obtener dependen de las especies de mulch utilizadas. Por ejemplo, los frijoles Velvet presentan un amplio espectrum contra nemátodos, lo que los hace útiles como nematicidas y las hojas del frijol Jack son utilizadas algunas veces para eliminar colonias de hormigas cortadoras de hojas.

Sistemas agropastorales

Los sistemas agrícolas que combinan la producción de animales y de cultivos varían a través de las zonas agroecológicas (McDowell y Hildebrand 1980). En las llanuras de Asia donde se cultiva arroz, los búfalos son componentes animales importantes, pues proporcionan: 1) tracción para el cultivo de los campos y 2) leche y carne para el consumo doméstico o para venderlas en el mercado. El ganado vacuno, las aves (principalmente pollos y patos) y los porcinos, por lo general, se crían en estos predios. Su alimentación comprende: residuos de cultivos, malezas, hollejo, puntas de vegetales de raíces, bagazo, vainas y otros subproductos agrícolas. En las áreas montañosas, los porcinos, las aves, los búfalos y el ganado vacuno se crían en conjunto con arroz, maíz, yuca, frijoles y granos pequeños. En los sistemas de cultivo de las zonas tropicales húmedas de Africa predominan el arroz, los ñames y los plátanos (McDowell y Hildebrand 1980, Ruthenberg 1971). Las cabras y las aves son los animales predominantes. Las ovejas y los porcinos no son tan abundantes, aunque todavía son comunes. Su alimentación está compuesta de forraje de las tierras baldías, residuos de los cultivos, tubérculos desechados y viñas. Es común que los predios pequeños de América Latina incluyan combinaciones de cultivos de frijoles, maíz y arroz (McDowell y Hildebrand 1980, Ruthenberg, 1971). El ganado vacuno es común y se conserva para obtener leche, carne y para utilizarlo como tracción. Los

cerdos y las aves se crían como alimento, o bien, para venderlos. Los pastizales, residuos de los cultivos y forraje mantienen la producción de animales.

Los sistemas agropastorales producen muchos otros beneficios. De hecho, la incorporación del ganado en los sistemas agrícolas añaden otro nivel trófico al sistema. Los animales pueden alimentarse de los residuos de las plantas, las malezas y del barbecho, lo que produce un pequeño impacto en la productividad de los cultivos. Esto es útil para convertir la biomasa inútil en proteína animal, especialmente en el caso de los rumiantes. Los animales reciclan el contenido nutritivo de las plantas, convirtiéndolo en abono y permitiendo una gama más amplia de alternativas de fertilización para el manejo de los nutrientes agrícolas. La necesidad de alimentos para los animales también amplía la base del cultivo para incluir especies que son útiles para la conservación del suelo y del agua. Las leguminosas, por lo general, se siembran para que proporcionen forraje de calidad y para que mejoren el contenido de nitrógeno en los suelos.

Además de las interacciones agroecológicas con los cultivos, los animales desempeñan otras funciones importantes en la economía agrícola. Ellos producen ingresos provenientes de la carne, leche y fibra. El valor del ganado aumenta a través de los años y se puede vender para obtener dinero en tiempos de necesidad, o bien, se puede comprar cuando hay dinero (McDowell y Hildebrand 1980).

Agricultura/acuicultura integrada

En muchas zonas de Asia, el uso productivo de los recursos de la tierra y el agua han sido integrados a los sistemas agrícolas tradicionales. Los agricultores han convertido las tierras pantanosas en estanques separados por surcos cultivables. Un ejemplo lo constituye el sistema dique-estanque que ha existido en el sur de China durante siglos. Para crear o mantener los estanques, se extrae tierra del suelo, que se utiliza para reparar los diques que se encuentran a su alrededor. Antes de que éstos se llenen con el agua proveniente de los ríos y de las lluvias, el dique se prepara para la crianza de peces mediante una limpieza, sanitización y fertilización con insumos locales de cal viva, torta de semillas y abono orgánico. Los peces almacenados en el estanque comprenden varios tipos de carpas que se crían para el consumo doméstico y para la venta. En los diques se planta morena (mulberry), la que se fertiliza con barro de los estanques y regada manualmente con el agua de los estanques, rica en nutrientes. Las hojas de la morena sirven como alimento para los gusanos de seda; las ramas se utilizan como estacas para sostener las hortalizas trepadoras y como leña. Los gusanos de seda se crían en galpones para la producción de hilo. Sus excrementos, en combinación con los residuos de las hojas de la morena, se utilizan como alimento para los peces. Las plantas de caña de azúcar en los diques proporcionan azúcar. Las hojas tiernas se utilizan para alimentar a los peces y cerdos; y las hojas viejas, como sombra para los cultivos, como paja para los techos y como combustible; las raíces también se utilizan como combustible. El pasto y las hortalizas también se cultivan en los diques, con el fin de que proporcionen alimento para los peces y la familia. Los cerdos se crían, principalmente, para que proporcionen abono, pero también para obtener carne. Estos se alimentan de las puntas de la caña de azúcar, de los subproductos de la refinación de ésta, de las plantas acuáticas y de otros desechos vegetales. Sus heces y orinas, al igual que el excremento humano, y los desechos provenientes de las casas, constituyen los insumos orgánicos principales que se arrojan al estanque de los peces (Ruddle y Zhong 1988).

Los sistemas integrados que incluyen acuicultura semi-intensiva son menos riesgosos para los agricultores de escasos recursos que las fincas intensivas de cría de peces, debido a que su eficiencia depende de los sinergismos entre los componentes del sistema, la diversidad de productos y la lógica ambiental. Muchos sistemas de acuicultura tradicional van más allá de la producción de peces y la generación de ingresos, ya que las lagunas y su biota llevan a cabo muchos servicios ecológicos, sociales y culturales en la finca integral. Por lo tanto, la acuicultura y el manejo del agua actúan como el motor que dirige la sustentabilidad del sistema de la finca.

Agricultura andina

Hace unos 3.000 y 4.000 años, una forma de vida nómada, de caza y de recolección en los Andes central fue suplantada por una economía agropastoral basada en la comunidad, sistema que aún prevalece a pesar de la competencia por la tierra entre las haciendas y las comunidades de campesinos (Brush 1982). El impacto del complejo ambiente andino en la economía humana ha tenido como resultado arreglos de colonización y sistemas agrícolas verticales (Tabla 6.4). El patrón de verticalidad proviene de las diferencias climáticas y bióticas relacionadas con la altitud y la ubicación geográfica. La adaptación más importante del patrón de cultivo a estos apremios ambientales ha sido los sistemas de subsistencia: cultivos, animales y tecnología agropastoral, diseñada para producir una dieta adecuada con los recursos locales mientras se evita la erosión del suelo (Gade 1975).

La evolución de la tecnología agraria en los Andes central ha generado un conocimiento extenso sobre el uso de los ambientes andinos. Este conocimiento afectó la división de los ambientes andinos en cinturones agroclimáticos ajustados según la altitud, cada uno caracterizado por prácticas de rotación de cultivos y campos específicos, terrazas y sistemas de riego y la selección de muchos animales, cultivos y variedades de cultivos (Brush et al. 1981). Existen alrededor de 34 cultivos diferen-

TABLA 6.4 Zonas agroclimáticas de cultivo de los Andes central (según Brush 1982).

Zona	Animales/cultivos Principales	Tecnología Agrícola	Tenencia de Tierra	Objetivo de Producción
Pastizal sobre 3800	Alpacas, llamas ovejas, ganado		Propiedad y uso comunales	Mercado (esp.lana) y subsistencia
Tubérculos 3000-4200 metros	Papas, quinoa/ canihua, cebada otros tubérculos nativos (mashua, ulluco, oca)	Azadoneo, arado, estiércol como fertilizante	Propiedad comunal con uso	Subsistencia individual
Cereales 1500-3000 metros	Maíz, trigo cucurbitas, frijoles frutas, templadas y hortalizas	Animales de tiro, alguna mecanización fertilizantes, químicos	Propiedad y uso privados	Subsistencia (granos) y mercado (frutas y hortalizas)
Frutas tropicales 500-1500 metros	Cacao, caña azúcar algodón, fruta maíz	Principalmente tropical,	Propiedad y uso agroindustrial privados	Mercado

tes: (maíz, quinoa, *Amaranthus caudatus*), leguminosas (frijoles, lupino, frijoles Lima), tubérculos (especies de papa, yuca, *Arrachocha*, etc.), frutas, condimentos y hortalizas. Los cultivos principales son: maíz, chenopodiaceae (*Chenopodium quinoa* y *C. pallidicaule*) y papas. Cada agricultor cultiva una gran cantidad de variedades de papas en sus campos, alrededor de 50, y sólo en una comunidad se pueden encontrar hasta 100 variedades con nombres locales. La mantención de esta amplia base genética es adaptable, puesto que reduce la amenaza de que se puedan perder los cultivos, debido a plagas y agentes patógenos específicos del cultivo (Brush 1982).

Patrones de cultivo en los cinturones agroclimáticos. Los habitantes locales reconocen entre tres a siete cinturones agroclimáticos, los que se distinguen según altitud, humedad, temperatura, vegetación, tenencia de tierra, conjunto de cultivos y tecnología agrícola (Tabla 6.4). Existe una variación regional importante con respecto a los patrones de cultivo de cada cinturón. Por ejemplo, en las comunidades Amaru y Paru-Paru en el Cuzco, Perú, se pueden distinguir tres cinturones principales (Gade 1975). Los terrenos en el cinturón de maíz son levemente inclinados y se ubican entre los 3.400 y 3.600 metros. Dichos terrenos son regados y explotados en tres rotaciones alternativas de cuatro años: 1) maíz/haba, frijol/maíz/barbecho; 2) maíz/maíz/papa o barbecho; y 3) papa y cebada/haba, frijol/maíz/maíz. El cinturón papa/haba/cereales está compuesto por terrenos con pronunciadas laderas, los que se ubican entre los 3.600 y los 3.800 metros. Las papas se cultivan intercaladamente con cebada, trigo, habas y arvejas. En las zonas de secano existen dos rotaciones principales de cuatro años: 1) haba/frijoles/trigo/arvejas/cebada y 2) *Lupinus mutabilis*/cebada/haba/barbecho. En las áreas de regadío, las rotaciones comunes son: 1) papa/trigo/habas/cebada y 2) papa o *C. quinoa*/cebada/arvejas/barbecho. El cinturón papas amargas/pastizal es un cinturón frío ubicado sobre los 3.800 metros. Las rotaciones de secano en este cinturón, por lo general, comprenden un período de barbecho de cuatro a cinco años después de una secuencia de cuatro años de papa/*Oxalis tuberosa* y *Ullucus tuberosus*/U. *tuberosus* y *Tropaeolum tuberosum*/cebada.

Sistemas agrícolas tradicionales de Chile Mediterráneo

Los pequeños agricultores (campesinos) de Chile Mediterráneo hacen hincapié en la diversidad para utilizar los escasos recursos en forma más eficaz. Los sistemas agrícolas, por lo general, son empresas a baja escala e intensivas o empresas semicomerciales más extensivas.

Sistemas intensivos a baja escala

Estos sistemas, rara vez, exceden una hectárea en tamaño; por lo tanto, generalmente no satisfacen todas las necesidades de alimentación en la familia. Todos los productos obtenidos se utilizan en el predio y las otras necesidades se compran con los ingresos provenientes del trabajo no relacionado con el predio. Es común que los campesinos produzcan una gran cantidad de cultivos y animales, y es usual, también, encontrar por lo menos 10 cultivos arbóreos, 10 a 15 cultivos anuales y 3 a 4 especies animales en un sólo predio.

Dichos predios, por lo general, comprenden un parrón para obtener sombra y frutas, hierbas, plantas medicinales, flores, cultivos anuales para alimentación y cultivos arbóreos. Los animales más comunes en estos predios son conejos, pollos, que deambulan libremente, y patos; ocasionalmente se pueden encontrar unos pocos cer-

dos que se alimentan de los desperdicios de la cocina y de los residuos de los cultivos. Por lo general, un cultivo anual intensivo utiliza sistemas sencillos de cultivo (se cultiva sólo durante la primavera y el verano); o bien, una secuencia de cultivo es aún más común (sembrar un segundo cultivo después de haber cosechado el primero). En ambos sistemas de cultivo, los campesinos pueden practicar la siembra intercalada. Los sistemas comunes de siembra intercalada suponen maíz/frijol/ajo y/o cebolla en combinación con lechuga y col, y maíz/papas.

La Figura 6.4 describe un sistema muy complejo en la zona de la costa central. La tierra, que se caracteriza por un 25% de laderas, se divide en dos secciones. Una parte de ella se utilizó para cultivos anuales y para hierbas que se siembran en hileras paralelas al contorno del cerro. La otra para árboles frutales, diversas variedades de uvas, algunos árboles como el pino (*Pinus radiata*), el aramo (*Acacia* spp.), *Datura* spp. y un pequeño rodal de bambú y cactus (*Opuntia* spp.). Un cerco vivo de cipreses separa las dos secciones. Los pollos y conejos se crían en cajas ubicadas en el huerto; su abono, en conjunto con el aserrín, se utiliza para fertilizar los cultivos y los árboles. Además de los árboles frutales, se plantan *Eucalyptus* spp. para que sirvan como cerco vivo en la frontera más baja y para obtener leña y palos. Sin embargo, se recolecta más leña de los «espinos» nativos (*Acacia cavens*) que crecen de manera natural en las laderas sobre la propiedad.

Bajo los árboles del huerto crecen algunas hierbas que se utilizan para fines medicinales o para mantener sanos a los pollos, como es el caso de la Ruda (*Ruda tracteosa*). Según algunos campesinos, la presencia de esta planta en la zona de los pollos previene las enfermedades infecciosas de las aves. El Hinojo (*Hinojo officinallis*) se deja crecer libremente en los límites de las propiedades y, más tarde, su bejuco se utiliza para construir rejas o pequeñas rucas. El agua para el riego se obtiene desviando el flujo del canal que corre a lo largo del límite superior de la propiedad. Los campesinos plantan sauces (*Salix* spp.) a lo largo del canal con el fin de «sostener el suelo y prevenir que éste se deslice». Los sistemas de raíces penetrantes, en conjunto con el denso dosel de los otros árboles, proporcionan una buena protección del suelo en estos sectores de laderas.

Sistemas semicomerciales extensivos. El tamaño de los predios semicomerciales varía entre las 5 y 20 hectáreas. Estos sistemas también varían; sin embargo, las combinaciones de cultivos y animales están diseñadas para aumentar la producción, pues así se obtiene un excedente comercializable. Al tener más tierra, el campesino dedica mucho de ésta a otras actividades más extensas como pastizales para el ganado y el cultivo de granos. La tierra adicional también proporciona más espacio para plantar árboles madereros. De esta forma, la mayoría de las necesidades domésticas se obtienen del predio.

Es usual que los campesinos siembren cultivos según las preferencias de la comunidad local, con propósitos comerciales. Dichos cultivos, sin embargo, pueden ocasionar riesgos relativamente altos. Por este motivo, se protegen de este riesgo sembrando diversos cultivos menos variables o riesgosos como frijoles, zapallo, papas o maíz entre hileras de árboles frutales muy valiosos como duraznos, cerezos o manzanos.

La Figura 6.5 muestra el diseño de una explotación agrícola de 12 hectáreas, alrededor de 10 kilómetros al este de Temuco, en el sur de Chile, donde el campesino equilibra su campo para obtener alimentos, vestuario, vivienda y capital. El predio consiste en una zona interplantada con cultivos anuales y árboles frutales, un huerto combinado con árboles frutales, con alrededor de cinco hectáreas de pastizal, dos a

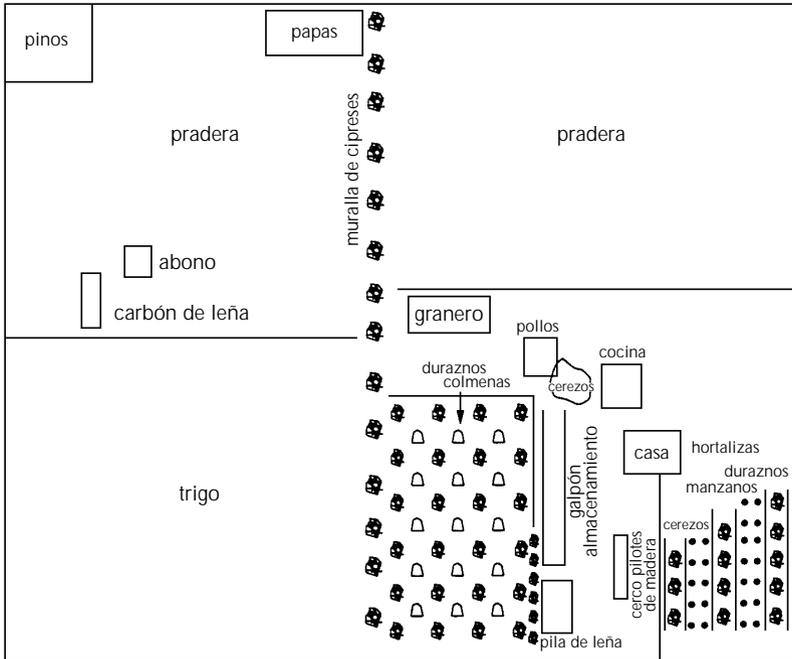


FIGURA 6.5 Diseño estructural de un sistema semi-comercial de 12 ha en el sur de Chile (Altieri y Farell 1984).

tres hectáreas de trigo y un rodal de pinos (*Pinus radiata*). El campesino cosecha aproximadamente 280 kg. de miel anuales proveniente de 26 colmenas; obtiene entre 10 y 12 litros de leche diaria de las tres vacas; de sus pollos recolecta entre 10 y 11 huevos al día; y del trigo obtiene toda la harina para hacer el pan. Los pinos se plantan para que proporcionen madera. La madera, de rápida combustión, también se utiliza para la construcción de la casa y de los graneros. El guano de los animales y los residuos de los cultivos se recolectan y apilan en un montón de compost para, más tarde, utilizarlos como fertilizante.

Agricultura en campos elevados

La agricultura en campos elevados es un antiguo sistema para la producción de alimentos, utilizado extensivamente por los Aztecas en el Valle de México y sus prevalentes en la zona de Mixquic cerca de la ciudad de México, aunque también se utilizaba en China, Tailandia y otras regiones para explotar los pantanos que rodeaban los lagos.

Estas «islas» o plataformas de realce (desde 2,5 hasta 10 metros de ancho y hasta 100 metros de largo), también denominadas «chinampas» en la región azteca, eran construidas por lo general, con el barro que sacaban de los pantanos cercanos o de los lagos con poca profundidad. Los aztecas construían sus plataformas de hasta una altura de 0,5 hasta 0,7 metros sobre el nivel del mar y reforzaban los costados con columnas entrelazadas con ramas y árboles plantados a lo largo de las orillas (Armillas 1971).

El suelo de las plataformas se enriquecía constantemente con la materia orgánica producida por la gran cantidad de plantas acuáticas, así como también con sedimentos y lodo del fondo de los canales. Una fuente principal de materia orgánica es, hoy en día, el jacinto de agua (*Eichornia crassipes*), capaz de producir hasta 900 kg. de materia seca al día por hectárea. Las chinampas, complementadas con cantidades relativamente pequeñas de abono animal, pueden autosustentarse. Los animales como los cerdos, pollos y patos se guardan en pequeños corrales y se alimentan de la basura o del exceso de producción de las chinampas. Su abono se vuelve a incorporar en las plataformas (Gliessman et al. 1981). Los agricultores concentran la producción de sus cultivos alimenticios principales en las chinampas. Esto incluye el policultivo tradicional de maíz/frijol/zapallo, el de yuca/maíz/frijol /pimientos/amarantos y el de los árboles frutales asociados con diversos cultivos de cobertura, arbustos o viñas. Los agricultores también fomentan la crianza de peces en los cursos de agua.

En Asia, la agricultura de los campos elevados consiste en sistemas agrícolas de ganado/aves/peces. La vegetación acuática sirve de alimento para los animales y, a su vez, sus desechos se utilizan como fertilizante para los estanques de los peces. Un sistema agrícola común es el del cerdo/pez, donde se producen entre 2.00 y 5.000 kg. de pescado por hectárea cada seis meses. Existen alrededor de 60 cerdos por hectárea y la cantidad de peces varía entre los 25.000 y los 30.000 por hectárea (Pullin y Shehadeh 1980).

Conclusiones

Todos los agroecosistemas tradicionales descritos anteriormente han probado ser sustentables en su contexto histórico y ecológico (Cos y Atkins 1979). A pesar de que los sistemas evolucionaron en épocas y zonas geográficas muy distintas, éstos comparten las siguientes características estructurales y funcionales (Beets 1982, Marten 1986):

Combinan una diversidad estructural y de especies en el tiempo y en el espacio, mediante arreglos verticales y horizontales de los cultivos.

Explotan toda la capacidad de los microambientes, que difieren en cuanto al suelo, al agua, a la temperatura, a la altitud, a las laderas y a la fertilidad, existentes en un campo o una región.

Mantienen ciclos de materiales y desechos mediante prácticas eficaces de reciclaje.

Se basan en las interdependencias biológicas que proporcionan una disminución de las plagas biológicas.

Se basan en los recursos locales, además, en la energía humana y animal, utilizando poca tecnología.

Se basan en variedades locales de cultivos e incorporan animales y plantas silvestres. La producción, por lo general, es para el consumo local.

El nivel de los ingresos es bajo, de manera que la influencia de los factores no económicos en la toma de decisiones es bastante importante.

A pesar de la embestida de los cambios económicos y de la modernización, aún sobreviven varios sistemas tradicionales de conocimiento y manejo agrícola. Dichos sistemas poseen elementos importantes de sustentabilidad a saber: se adaptan bien a sus ambientes específicos, se basan en los recursos locales, son descentralizados y en pequeña escala, e intentan conservar la base natural de los recursos. Por este motivo, dichos sistemas comprenden un legado neolítico de gran importancia; sin embargo,

la estabilidad de esta herencia se ve constantemente amenazada por la agricultura moderna. El estudio de los agroecosistemas tradicionales puede acelerar, en forma considerable, el surgimiento de los principios agroecológicos, que son muy necesarios para desarrollar agroecosistemas más sustentables tanto en los países industrializados como en los países en desarrollo. En realidad, necesitamos modelos agrícolas sustentables que combinen los elementos del conocimiento tradicional y los del conocimiento científico moderno. Complementando el uso de insumos y de variedades convencionales con la probada tecnología ecológica garantizará una producción agrícola más sustentable y asequible.

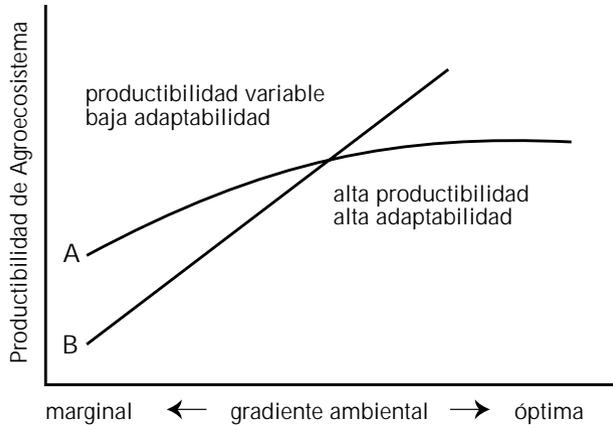
1. En este libro, los términos tradicional, campesino, pequeña escala y predio pequeño se utilizan como sinónimos para describir los sistemas que se basan en la fuerza humana y animal y en los recursos localmente existentes (Wilken 1977).

2. $LER = P_x/K_x + P_y/K_y$, donde K_x y K_y representan el área de rendimiento por unidad cuando los cultivos se siembran en un sistema de monocultivo; y P_x y P_y representan la producción de las dos especies de cultivo en un sistema de policultivo (Vandermeer 1981).

Programas de desarrollo agrícola con base agroecológica

La crisis de la mayoría de las economías de los países en desarrollo han tenido grandes costos sociales y ambientales. Pese a los numerosos proyectos de desarrollo patrocinados a nivel nacional e internacional, los problemas de pobreza, escasez de alimentos, desnutrición, el deterioro de la salud y la degradación siguen expandiéndose (Altieri y Maserá 1993). En la medida que los países en desarrollo son introducidos a las disposiciones internacionales existentes estos cambian sus políticas para cumplir con una deuda sin precedentes, y los gobiernos adoptan cada vez más modelos económicos neoliberales que promueven la agro-exportación. A pesar de que este modelo de hecho parece tener éxito en algunos países a nivel macroeconómico, la deforestación, la erosión del suelo, la contaminación por industrias y plaguicidas, y la pérdida de la biodiversidad (donde se incluye la erosión genética) exhiben tasas alarmantes y no se incluyen en los indicadores económicos. Hasta donde se sabe, no existe un sistema claro que evalúe los costos ambientales de dichos modelos.

La crisis ha demostrado que las estrategias convencionales de desarrollo están fundamentalmente limitadas en su capacidad de fomentar un desarrollo equitativo y sustentable (Altimir 1982, Annis y Hakim 1988). Al final, el resultado de la mayoría de los programas de desarrollo ha sido lo que se ha denominado «crecimiento con pobreza». En el ámbito de la agricultura, la modernización ha seguido su curso en ausencia de una distribución eficaz de tierra, y los programas de investigación/desarrollo han dado énfasis a la producción con altos niveles de insumos, factores que contribuyeron a los problemas ambientales en la región (Redclift 1989). Un importante problema tecnológico de los proyectos de desarrollo es aquél relacionado con las recomendaciones globales que frecuentemente demuestran ser inadecuadas para las condiciones de ciertos predios campesinos (de Janvry 1981). Las diversas formas de agricultura existentes en los países del tercer mundo son la resultante de las variaciones locales del clima, del suelo, del tipo de cultivos, de factores demográficos, de las organizaciones sociales y también de otros factores económicos directos: precio, mercado y disponibilidad de capital y crédito. Se requiere un método integrado que responda a estas complejas interacciones. Los sistemas de cultivo y las técnicas adaptadas a agrosistemas específicos darán por resultado una agricultura más diferenciada, basada en variedades genéticas mejoradas y tradicionales junto con las técnicas e insumos locales y con cada combinación encajando en el correspondiente nicho ecológico, social y económico. Sin embargo en vez de insistir con paquetes tecnológicos, que son específicamente localistas, se debieran desarrollar técnicas agroecológicas, adaptables a una amplia gama de entornos agrícolas heterogéneos y circunstanciales que realmente ofrezcan opciones y beneficios (Figura 7.1). Es difícil llevar a cabo un desarrollo agrícola sustentable, porque los arreglos instituciona-



les, las fuerzas del mercado, las políticas y los esfuerzos en la investigación no fomentan este desarrollo. Por lo tanto, el principal desafío es la creación de una nueva política que reduzca los costos agrícolas en los recursos y promueva una sustentación social y ecológica. Aún cuando las nuevas políticas son un requisito importante para la promoción del desarrollo rural sustentable (SRD) en la región, todavía no es suficiente. Otros problemas, como la deuda externa, la pobreza, la distribución poco equitativa de recursos, la ausencia de políticas internacionales y tecnologías apropiadas, constituyen obstáculos importantes para el SRD. Cualquier estrategia básica para lograr el asentamiento del SRD se debe adecuar a las principales prioridades de desarrollo de la región (Gallopin et al. 1989, LACDE 1990):

- Reducción de la pobreza.
- Autosuficiencia y abastecimiento de alimento apropiado.
- Conservación de los recursos naturales.
- Capacitación de las comunidades locales y participación real de los pobres rurales en el proceso de desarrollo.

Los principales programas básicos de desarrollo patrocinados a nivel nacional e internacional deben dar prioridad a estos puntos; dado que no llegan a los pobres ni solucionan el hambre y la desnutrición. Por tal motivo, el gran desafío es crear una nueva estructura política que incremente el desarrollo agrícola sustentable y los esfuerzos de conservación a través de la promoción de tecnologías agroecológicas que se dirijan a:

- aumentar la productividad agrícola de la tierra y mano de obra para satisfacer las necesidades de alimentación, incrementar los ingresos rurales y controlar el avance de las fronteras agrícolas;
- introducir la racionalidad ecológica en la agricultura para racionalizar el uso de insumos químicos, complementar programas de cosecha de aguas, y conservación de suelos, planificando la agricultura según la capacidad de uso del suelo de cada región y fomentar el uso eficaz de agua, bosques y otros recursos no renovables;
- coordinar las políticas agrícolas y ambientales/económicas relacionadas con los precios, la política de los impuestos, la distribución y el acceso a los recursos, a la asistencia técnica, etc.

Enfoques de programas para el desarrollo rural

El fracaso de los métodos principales de desarrollo legitimó el papel de las organizaciones no gubernamentales (ONG) como nuevos actores en el desarrollo rural del tercer mundo. Las experiencias rurales de desarrollo llevadas a cabo a nivel local por las ONGs, abrieron nuevos caminos para enfrentar directamente la pobreza. Las ONGs pusieron a prueba la afirmación de que el desarrollo social sólo se podría realizar, desde la cúpula gubernamental. Estas organizaciones representan también un acuerdo institucional que enriquece la sociedad civil al abrir nuevos espacios para la participación social. La necesidad urgente de combatir la pobreza rural y de regenerar la deteriorada base de recursos de pequeños predios, estimuló a varias ONGs del mundo en desarrollo, a buscar activamente nuevos tipos de estrategias de manejo de recursos y de desarrollo agrícola que, conforme a la participación, experiencia y recursos locales, incrementen la productividad y, al mismo tiempo, conserve los recursos. El conocimiento de los agricultores locales acerca del ambiente, las plantas, los suelos y los procesos ecológicos tiene un significado sin precedentes dentro de este nuevo enfoque agroecológico (Altieri y Yurjevic 1991). La agroecología ha ayudado a las ONGs a definir una nueva aproximación agrícola al proceso productivo de los campesinos que difiere radicalmente de la Revolución Verde o de otros enfoques de altos insumos (Tabla 7.1).

Se ha logrado un considerable progreso gracias a la aparición de dos nuevos procedimientos de evaluación: técnicas de evaluación rural rápida (RRA) y contabilidad de los recursos naturales (NRA). Las técnicas NRA incorporan las externalidades ambientales dentro de un análisis convencional de costo beneficio y pueden usarse para evaluar las utilidades de los sistemas alternativos de producción agrícola cuando se contabilizan con recursos naturales (Faeth et al. 1991). Las técnicas RRA constituyen un paso importante hacia el diseño de procedimientos alternativos de evaluación de abajo hacia arriba. Estas técnicas ponen énfasis en la presentación y reunión informal de información para ayudar al proceso de participación entre los investigadores y residentes locales. Además, son evaluadas de acuerdo a criterios muy generales sobre las preocupaciones sociales, económicas y ambientales, como lo han expresado los residentes locales (Conway y Banbier 1990).

Pese a dicho progreso, se han hecho sólo muy pocos intentos para cuantificar los impactos de las estrategias agroecológicas. Este hecho refleja la falta de interés y capacidad que tienen las instituciones de investigación existentes en la región. Las ONGs se dedican más a actuar en lugar de investigar, y funcionan con el mínimo de fondos en comparación con las instituciones gubernamentales o internacionales. Sin embargo, diversas ONGs han realizado esfuerzos modestos para investigar, y han entregado importante información acerca de cómo y por qué funcionan sus técnicas y qué beneficios logran. Muchas ONGs también están conscientes de la necesidad de mejorar sus capacidades metodológicas y técnicas. Por eso también reconocen lo importante que es educar y capacitar a nivel regional. Ya han surgido algunas redes de trabajo para apoyar los esfuerzos en este aspecto (CLADES) (Altieri y Yurjevic 1989).

Los esfuerzos de las ONGs no están libres de obstáculos y limitaciones. Estas organizaciones también difieren bastante en cuanto a objetivos, tamaños, estructuras internas, experiencias sociales y técnicas. Para aquellas ONGs comprometidas en la realización de propuestas agroecológicas, el mayor desafío es promover alternativas de producción que no sólo sean ecológicamente acertadas, sino además, económicamente beneficiosas. Los ingresos de las familias no sólo dependen de lo que los

TABLA 7.1 Comparación entre la revolución verde y las tecnologías agroecológicas.

CARACTERISTICAS	REVOLUCION VERDE	AGROECOLOGIA
TECNICAS		
Cultivos afectados	Trigo, maíz, arroz y otros pocos.	Todos los cultivos.
Areas afectadas	Areas sin riego y tierras, en su mayoría, planas.	Todas las áreas, especialmente marginales (colinas elevadas, drenadas).
Sistema preponderante de cultivo	Monocultivos, genéticamente uniformes	Policultivos, genéticamente heterogéneos.
Insumos preponderantes	Productos agroquímicos, maquinaria; gran dependencia de insumos externos y combustibles fósiles.	Fijación del nitrógeno, control biológico de plagas, abonos orgánicos, gran confiabilidad en recursos locales renovables.
AMBIENTALES		
Daños y efectos en la salud	Medio a alto (contaminación química, erosión, resistencia a los plaguicidas, etc.). Al aplicar plaguicidas, riesgo en la salud; residuos de plaguicidas en los alimentos.	Bajo a medio (lixiviación de nutrientes a partir del abono).
Cultivos reemplazados	Mayoritariamente, variedades tradicionales y clases de suelos.	Ninguno.
ECONOMICAS		
Costo en capital para investigación	Relativamente alto.	Relativamente bajo.
Necesidad de capital	Alto. Todo los insumos deben adquirirse en el mercado.	Bajo. La mayoría de los insumos se encuentran disponibles en el lugar.
Utilidades	Alta. Rápidos resultados. Gran productividad de mano de obra.	Media. Se necesita tiempo para lograr el más alto rendimiento.
INSTITUCIONALES		
Desarrollo de tecnología	Sector casi público, compañías privadas.	En general, intervención del sector público; gran participación de las ONGs.
Consideración de propiedades	Variedades y productos patentables y protegidos por intereses privados.	Variedades y tecnologías bajo el control del agricultor.
SOCIO CULTURALES		
Necesidad de investigación	Producción convencional de siembras y otras ciencias agrícolas disciplinarias.	Experiencia acerca de la ecología y las otras disciplinas.

campesinos o las ONGs puedan hacer, sino que principalmente en las macro condiciones generales con que funciona la producción campesina; bajo las cuales podría servir de ejemplo a otros como un proceso de difusión tecnológico gota a gota . Los agroecologistas enfatizan en el sentido de que si realmente deseamos que el desarrollo vaya hacia arriba se debe comenzar con aquellos agricultores pobres en recursos, ubicados en la parte inferior de la gradiente (Figura 7.2).

El enfoque agroecológico es culturalmente compatible, dado que se basa a partir del conocimiento agrícola tradicional, combinándolo con los elementos de la ciencia agrícola moderna. Las técnicas resultantes son ecológicamente acertadas, pues no transforman ni modifican de manera radical el ecosistema del campesino, pero sí identifican los elementos tradicionales y/o nuevos del manejo que, una vez incorporados, optimizan la unidad de producción. Enfatizando el uso de los recursos locales hace que las tecnologías agroecológicas sean económicamente más viables (Altieri 1987).

En términos prácticos, la aplicación de los principios agroecológicos se ha traducido en cientos de programas de ONGs que ponen énfasis en:

Mejorar la producción de los alimentos básicos, abarcando los cultivos tradicionales de éstos (*Amaranthus*, *Quinoa*, *Lupino*, etc.) y la conservación del germoplasma nativo del cultivo.

Recuperar y reevaluar la tecnología y el conocimiento del campesino.

Promover el uso eficaz de los recursos locales (tierra, mano de obra, subproductos agrícolas, etc.).

Aumentar la diversidad de cultivos y animales mediante los policultivos, los sistemas agroforestales, los predios integrados de cultivo-ganado, para reducir al mínimo los riesgos.

Mejorar la base de los recursos naturales a través de las prácticas de regeneración y conservación del suelo y del agua.

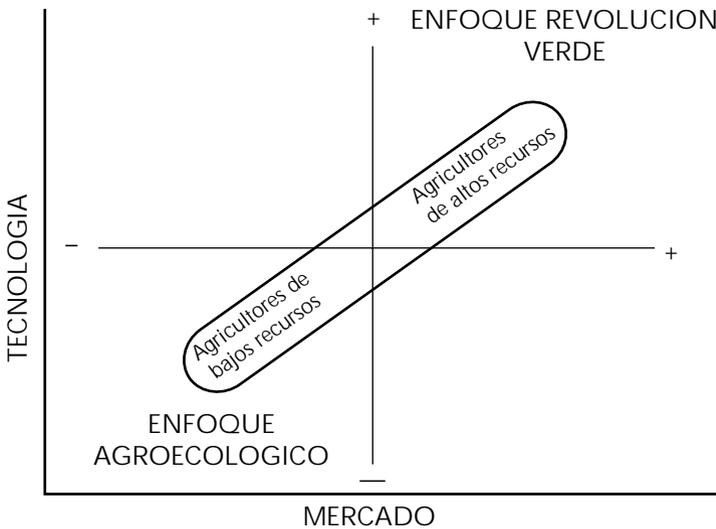


FIGURA 7.2 Un gradiente típico de agricultores de una región particular con más o menos acceso a los mercados y tecnologías de altos insumos.

Reducir el uso de insumos químicos externos mediante el desarrollo de pruebas e implementación de técnicas de agricultura orgánica y otras de bajos insumos.

Determinación de los impactos del enfoque agroecológico

Pese a la falta de información agrícola suficiente y, en algunos casos, confiable, las primeras evaluaciones cualitativas de algunos programas de las ONGs muestran que los esquemas agroecológicos se han traducido en beneficios tangibles para las poblaciones locales, dado que la producción de alimento ha aumentado, la calidad de los recursos naturales ha mejorado y aún regenerado y, además, a los recursos locales se han empleado con mayor eficacia (Tabla 7.2). El nivel de éxito de los programas mencionados es loable, dadas las restricciones biofísicas y socioeconómicas bajo las cuales funcionan las ONGs. Estas restricciones varían, desde la falta de oportunidad de acceder a tierras y a los bajos ingresos de las familias campesinas, hasta las limitaciones biofísicas de los agroecosistemas tales como sequías, heladas, suelos marginales, etc. Al determinar los impactos de los programas agroecológicos, una limitación principal es la ausencia de una metodología apropiada de evaluación y una serie de indicadores socioeconómicos adecuados para juzgar el éxito, la durabilidad, la adaptabilidad y la viabilidad del proyecto. Existe una urgente necesidad de indicadores que señalen cuáles son las decisiones claves para mejorar, reorientar y/o expandir los esfuerzos actuales. Tales indicadores deberían permitir que los proyectos de desarrollo fueran contrastados en términos de capacidad productiva, mejoramiento de la calidad de los recursos locales, la preservación ambiental, satisfacción de las necesidades humanas, equidad en los beneficios y el crecimiento de la autosuficiencia regional o local, entre otros criterios de relevante importancia. El éxito a largo plazo de estas ONGs dependerá de la creación de las condiciones socioeconómicas correctas requeridas para una replicabilidad masiva de las estrategias agroecológicas (Altieri y Yurjevic 1991).

A pesar de los diversos adelantos, los esfuerzos de desarrollo rural para aliviar la pobreza se han logrado con relativo éxito. Una razón principal es que han intentado contrarrestar un ambiente en el cual sus constituyentes tienen poco acceso a los recursos políticos y económicos y, además donde los sesgos institucionales prevalecen contra la producción campesina. Es difícil llevar a cabo el desarrollo rural donde la tenencia de tierras es muy soslayada, o donde los acuerdos institucionales (es decir, crédito, asistencia técnica, etc.) y los factores del mercado, favorecen al sector agrícola empresarial (de Janvry et al. 1987). Las políticas plantean muchos obstáculos que impiden a los campesinos competir adecuadamente en el mercado, limitando las oportunidades para que la estrategia agroecológica sea adoptada a nivel familiar. La eliminación de estas restricciones políticas debe ocurrir al menos en 3 áreas:

Eliminación de las propensiones institucionales a prohibir el acceso de los campesinos a créditos, investigaciones y consejos técnicos

Eliminación de la eterna subinversión social en las comunidades campesinas en educación, salud e infraestructura

Eliminación del subsidio al capital intensivo y a la agricultura basada en agroquímicos.

Además, será importante crear un clima político que mejore las condiciones de comercialización para la producción campesina, otorgando competencia a los intermediarios monopolistas, y que permita a los campesinos captar las bondades que una agricultura campesina sustentable puede producir. Este cambio requerirá definir políticas adecuadas de impuestos para combatir a aquellos intermediarios que sacan

ventaja de los esfuerzos de los campesinos. Este tipo de política económica podría ayudar a crear subsidios para motivar a los campesinos a adoptar prácticas agrícolas sustentables (de Janvry et al. 1987).

Ejemplos de programas

Cultivo en callejones en Africa

En el Africa tropical húmeda, aún dominan los sistemas de cultivo migratorio y barbecho de arbustos (Capítulo 6). El aumento de la población y el desarrollo de una agricultura más sedentaria ha conducido a acortar los períodos de barbecho, provocando una rápida disminución de la fertilidad del suelo y el rendimiento del cultivo. Con el fin de restablecer la fertilidad del suelo, estas áreas requieren sistemas de cultivo basados en el uso de especies leguminosas. En Nigeria, Wilson y Kang (1981) desarrollaron un sistema de cultivo en callejones, un método avanzado de barbecho en el cual se plantan especies de árboles o arbustos leguminosos seleccionados asociados con cultivos alimenticios a fin de acelerar la regeneración de los nutrientes del suelo, acortando el período de barbecho. En el sistema de callejones, los árboles y arbustos proporcionan abono verde para los cultivos asociados y el material de la poda sirve de mulch y sombra durante el barbecho para evitar las malezas. Dicho material sirve también, como alimento para los animales, como estacas y como leña (Kang et al. 1984). Es así que el cultivo en callejones es un sistema de uso múltiple.

En estos sistemas, los cultivos crecen en callejones (de cuatro metros de ancho) constituidos por árboles o arbustos. Las pruebas en que se intercaló *Leucaena leucocephala* con maíz mostraron aumentos sustanciales en la producción del cultivo. El nitrógeno de las hojas proveniente de la poda de *Leucaena*, puesto o incorporado al suelo, contribuyó a un significativo incremento del 23 % en el rendimiento del maíz, después de el control. Las hileras simples y dobles de *Leucaena* agregaron a las plantas de maíz, un promedio de 100 y 162 Kg. de nitrógeno por hectárea respectivamente. Un seto bien establecido de *Leucaena* puede producir de 15 a 20 toneladas de material fresco de poda (5 a 6,5 toneladas de materia seca) por hectárea cinco veces al año. Tres podas produjeron más de 160 Kg. de nitrógeno, 15 Kg. de fósforo, 150 Kg. de potasio, 40 Kg. de calcio y 15 Kg. de magnesio por hectárea al año.

Las evaluaciones del cultivo en callejones indican que para una estabilización adecuada de los sistemas de cultivo migratorio es necesario permitir un descanso efectivo o barbecho, acompañado por una serie de mejoras durante el período de cultivo que disminuyan la erosión y ayuden a mantener el suelo fértil.

Otros intentos por estabilizar los sistemas de cultivo migratorio a nivel mundial sugieren el siguiente bosquejo para alcanzar la sustentabilidad (NRC 1993):

1. Respeto al conocimiento local sobre las prácticas de cultivo, el empleo de variedades locales, el uso del fuego, el manejo del suelo y la manipulación del período de barbecho.

2. Desarrollo de sistemas que se adhieran estrictamente a las prácticas de cultivo y barbecho que mantienen la fertilidad del suelo. La cantidad de tiempo que se requiere para volver a sembrar un área depende de las condiciones locales, tales como precipitaciones, condiciones del suelo y el tipo de cultivo, pudiendo variar desde unos pocos años hasta 30 ó 40 años.

3. Desarrollo y perfeccionamiento de las prácticas de manejo de la materia orgánica que mejoran la conservación del suelo y del agua durante el período de cultivo

TABLA 7.2 Proyectos agroecológicos en América Latina

ONG	Características del Area Intervenido	Restricciones Agroecológicas y Socioeconómicas	Objetivo de la Estrategia Agroecológica	Componentes Técnicos de la Estrategia	Impacto y/o Resultados
INDES (Argentina)	Area seca subtropical (600 mm.) Algodón y existencia de cultivos (maíz, calabaza, yuca).	Sequía temperaturas altas, erosión eólica, baja fertilidad del suelo. Pobreza, desempleo, falta de crédito.	Auto suficiencia de alimentos. Optimizar el uso de recursos locales.	Racionalizar las rotaciones de algodón. Mejorar la cobertura del suelo para evitar la erosión. Uso de variedades adaptadas de cultivos.	Los esquemas de diversificación introdujeron nuevos cultivos en la producción desafiando el predominio del algodón.
SEMTA (Bolivia)	Provincia de Pacajes, Altiplano, (3500 3800 m.s.n.m) Papas, cereales, cultivos andinos, bovino/ovino, alpacas.	Heladas, fertilidad del suelo, erosión, deforestación, sequía. En general, pobreza, poco acceso a crédito, servicios públicos y mercados.	Proceso de degradación ambiental lento y regeneración del potencial productivo.	Invernaderos construidos de barro para producir orgánicamente hortalizas. Rotaciones de cultivos para el control de la erosión. Reforestación con especies nativas. Mejoramiento/manejo de los pastos nativos.	Producción prematura de hortalizas que resultó en sobreprecio en mercados cercanos a La Paz, aumentando los ingresos de los agricultores participantes.
CIED (Puno- Perú)	Altiplano (3500 m.s.n.m). Patos naturales (ichu), cultivos andinos, papas, ganado, camélidos.		Autosuficiencia alimenticia, conservación de la base de los recursos naturales, rescatando las tecnologías tradicionales.	Rehabilitación de Waru-warus terrazas (Andenes). Rotaciones de cultivos. Reintroducción de la alpaca. Mejor sanidad y manejo del ganado.	Waru-waru aseguran la producción durante las heladas, reduciéndose así, los riesgos en la producción de alimentos.
IDEAS (San Marcos - Perú)	Valles interandinos de Cajamarca (18°C, 450 mm de lluvia). Papas, maíz, cereales, ganado	Laderas inclinadas, erosión, sequía de temporada. Pobreza, poco acceso a buena tierra.	Diseñar el sistema del predio de auto suficiencia. Rescatar y enriquecer la tecnología tradicional. Conservación del suelo y del agua.	Diseño del predio con rotación y policultivos. Manejo orgánico del suelo. Manejo de aves y mamíferos pequeños.	Producción de cultivos orgánicos muestra rendimientos posibles y estables sin el uso de productos químicos tóxicos.

ONG	Características del Area Intervenido	Restricciones Agroecológicas y Socioeconómicas	Objetivo de la Estrategia Agroecológica	Componentes Técnicos de la Estrategia	Impacto y/o Resultados
PTA/CTAQ (Brasil)	Noreste de Brasil, áreas tropicales semiáridas. 8 11 meses secos. Frijol, maíz y algodón perennes.	Fotodescomposición rápida de la materia orgánica, baja producción biomasa, baja fertilidad, hardpan y salinidad. Pobreza, poco acceso a la tierra, problemas de mercado.	Mejorar el sistema de cultivos migratorios (rozado). Ofrece nuevas opciones productivas para diversificación vegetal, frutícola y animal. Conservación y cosecha de aguas. Mejor manejo de animales, conservación in-situ del germoplasma local.	Manejo agrosilvopastoral de catinga (vegetación natural xeric). Diseño de rotaciones, esquemas agropastoriles y policultivos.	Técnicas de cosecha de aguas y diseño de sistemas tolerantes de cultivos han mejorado potencial productivo en áreas semiáridas.
CPCC (Paraguay)	Serranía subtropical (600 800 m.s.n.m.). Yuca, maíz, maní, frijol, algodón, caña de azúcar y arroz.	Sequía subtropical (4-6 meses), baja fertilidad del suelo. Ingresos bajos, tenencias de tierras pequeñas.	Diseñar sistemas agroforestales, conservación del suelo y diversificar la producción.	Reserva forestal de la comunidad. Enriquecimiento forestal, conservación en laderas manejo del suelo orgánico.	Sistemas agroforestales aumentaron la producción de recursos múltiples y revirtieron el proceso de de-forestación.
CETEC (Colombia)	Sudoeste del Valle del Cauca (1500 mm de lluvia). Yuca, árboles tropicales de fruta.	Suelos ácidos y erosivos, enfermedades y plagas del cultivo, interferencia de malezas. Bajos ingresos, no acceso a crédito o asistencia técnica. Precios bajos en productos agrícolas.	Diversificar la producción con tecnologías de bajos insumos. Conservación de recursos naturales. Pesticidas alternativos.	Mejores sistemas de cultivo de yuca. Sistemas de conservación del suelo. Huertos domésticos. Control de plagas con parásitos y productos botánicos.	Se redujo la erosión del suelo y se demostró que las alternativas de pesticidas son eficaces.
CET (Chile)	La Isla de Chiloé, Sur de Chile (2000 2500 mm de lluvias). Papas, trigo, pastos.	Heladas, suelos ácidos, deficiencia de fósforo, sobrepastoreo de pastos, erosión genética. Pobreza, problema del mercado.	Mejorar y estabilizar los sistemas productivos mediante la diversificación, el uso de recursos naturales, el rescate de tecnologías y variedades tradicionales y la conservación del suelo.	Programas de conservación in-situ de papas en la comunidad. Rotaciones de cultivos de pastos. Sistemas rotatorios de pastoreo. Sistema silvopastorales.	Se rescataron más de 150 variedades tradicionales de papas con la participación de alrededor de 56 familias en los programas de conservación in-situ.

con el propósito de reducir la pérdida de fertilidad, aumentar el rendimiento de los cultivos y acelerar la recuperación del sistema durante el siguiente periodo de barbecho. La clave para alcanzar el éxito radica en mantener una continua cubierta del suelo durante todo el ciclo de cultivo. Esto se puede lograr mediante la labranza mínima, la aplicación de mulch, el cultivo de cobertura y el cultivo múltiple.

4. Diversificación de los sistemas de cultivo con el fin de intensificar la producción de especies útiles, disminuyendo así la necesidad de plantaciones adicionales. Dicha diversificación se puede lograr mediante variados arreglos en los cultivos múltiples.

5. Desarrollo de sistemas de barbecho dirigido, mediante la introducción -intencional de plantas de barbecho que acumulan nutrientes en su biomasa a un ritmo mayor que el barbecho natural, permitiendo la cosecha de materiales útiles o comestibles provenientes de la segunda crecida.

Al estabilizar los sistemas de cultivo intercalado a un nivel de producción capaz de sustentar los rendimientos, de satisfacer las necesidades poblacionales locales y respetar la importancia de un barbecho adecuado, se obtienen beneficios tanto ecológicos como sociales. Se reduce al mínimo la erosión del suelo, la pérdida de fertilidad y la invasión de malezas, lo que incentiva a los habitantes de una localidad a permanecer en ella.

Promoviendo sistemas de agricultura integrada en Bangladesh

En proyectos fomentados por ICLARM (Centro Internacional de Manejo de los Recursos Acuáticos Vivientes) los científicos ayudaron a las instituciones locales en Bangladesh a desarrollar tecnologías de acuicultura sustentable concordantes con los recursos de las familias campesinas y con los sistemas agrícolas existentes. Las tecnologías permitieron ciclos de acuicultura cortos (4 a 6 meses) en pequeños estanques estacionales (100 - 200 m²) usando peces del tipo *Puntius gonionotus* y *Oreochromis niloticus* integrados al sistema productivo agrícola actual.

Los agricultores han expresado su satisfacción por la integración de la acuicultura con otros trabajos del predio y piensan continuar y divulgar estas prácticas. Sus razones para hacerlo así van más allá del dinero o del alimento. El esparcimiento y la relación social impulsaron el sistema entre los campesinos, como también la provisión de ingresos para otras empresas y el retorno rápido y creciente del negocio del pescado. Los campesinos pueden producir peces a un precio levemente inferior al del mercado, US\$ 0,12 - 0,30 el Kg. Algunos campesinos con acequias estacionarias de tan sólo 170 m² puedan llegar a producir 25 a 30 Kg. de pescado en los 4 a 6 meses que se puede contar con agua. Un estanque de unos 300 m² le puede dar a una familia de 6 personas en consumo anual de pescado equivalente a 7.9 Kg. per cápita.

Este trabajo está ayudando ahora a las ONG, como por ejemplo el Comité de Avance Rural de Bangladesh (BRAC) en la ciudad de Proshika, a asesorar a más de 30.000 piscicultores, de los cuales cerca de un 60% son mujeres que han usado en forma negligente los tanques de temporada y las acequias. La aceptación femenina de la acuicultura integrada no sólo potencia a la mujer campesina sino que también mejora el aspecto nutricional de la familia. Un 98% de tasa de rescate del crédito prueba su éxito (Lightfoot et al. 1992).

Empleo del estiércol en la agricultura Andina Boliviana

Al igual que en la mayoría de las regiones andinas, la dieta principal de la población rural Boliviana consiste en papas y maíz. La colonización española y la reciente

reforma agraria han cambiado radicalmente el sistema agrícola incaico. El empleo de fertilizantes importados en el cultivo de papas se extiende cada vez más, lo que implica que las papas se siembran con más frecuencia y la tierra se deja en barbecho por menos tiempo. Todo esto puede provocar una mayor incidencia de nemátodos y enfermedades de las plantas, aumentando, como consecuencia, el uso de pesticidas. El promedio de la producción de papas disminuye, a pesar del 15 por ciento de aumento anual en el empleo de fertilizantes químicos. Debido al incremento en el costo de los fertilizantes, los agricultores papeiros deben producir más del doble de papas que en años anteriores para comprar la misma cantidad de fertilizantes importados (Augstburger 1983).

De este modo, los campesinos Bolivianos dependen cada vez más de los productos químicos agrícolas. Los miembros del Proyecto de Agrobiología de Cochabamba, ahora denominado AGRUCO, intentan revertir esta tendencia, ayudando a los campesinos a recuperar su autonomía productora. Con el fin de reemplazar la utilización de fertilizantes y satisfacer los requerimientos de nitrógeno de las papas y cereales, se han diseñado sistemas de rotación y de cultivo intercalado que emplean las especies nativas *Lupinus mutabilis*. Los experimentos han revelado que *L. mutabilis* puede fijar anualmente 200 kg. de nitrógeno por hectárea, lo que resulta parcialmente disponible para los cultivos de papas asociados o subsiguientes, reduciendo por tanto de manera significativa la necesidad de fertilizantes (Augstburger 1983). El cultivo intercalado de papa/lupino y papa/frijol superó el rendimiento correspondiente de los monocultivos de papas y redujo además sustancialmente la incidencia de enfermedades virales.

En experimentos llevados a cabo en suelos neutros, se obtuvo un mayor rendimiento con abono que con fertilizantes químicos. En Bolivia los abonos orgánicos son deficientes en fósforo. AGRUCO recomienda entonces la roca fosfórica y la harina de hueso, que se pueden obtener localmente y a bajo costo, para aumentar el contenido de tal elemento en los abonos orgánicos.

El proyecto Minka en Perú

Un grupo de sociólogos bajo el nombre de Grupo Talpuy, creado por la Fundación de Tecnología Andina, se ha dedicado a estudiar y recopilar información acerca de las prácticas y sistemas agrícolas tradicionales utilizados por los campesinos en los Andes peruanos (Brush 1982). La principal actividad del Grupo consiste en rescatar y registrar las prácticas agrícolas locales como el cultivo combinado, la fertilización y control de plagas tradicionales, las rotaciones de cultivo, el empleo de plantas y variedades de cultivo tradicionales, material que luego publican en una revista de bajo costo llamada Minka que circula en las áreas rurales (Minka 1981). El grupo también entrevista a agricultores, agentes de difusión, etc. sobre temas específicos.

Cada edición de Minka trata un tema diferente basado en estudios de un mes realizados en terreno, con un lenguaje sencillo e ilustrado con figuras y gráficos. Entre los temas abordados se cuentan el cultivo combinado, los cultivos andinos, la medicina botánica local, la conservación del suelo, las herramientas agrícolas y la construcción de viviendas a bajo costo. La revista promueve la idea de que muchas tecnologías eficientes originadas y utilizadas a nivel local, se pueden hacer extensivas a agricultores de otras zonas. El objetivo es hacer que los recursos, especialmente el conocimiento, sean ampliamente accesibles. Minka pone énfasis en la importancia de los recursos locales que se pueden utilizar sin un conocimiento espe-

cializado. De esta manera, los agricultores pueden optar por técnicas o prácticas que han resultado útiles para otros campesinos con niveles similares de capital, tierra y recursos naturales. Estudios posteriores realizados por el Grupo Talpuy revelaron un gran índice de adopción e intercambio de tecnología (M. Salas, comunicación personal).

Evidentemente, la difusión de tecnología de campesino a campesino evita algunos de los efectos dañinos asociados a la transferencia de tecnología externa (degradación ambiental, interrupción de los patrones de subsistencia y relaciones sociales). No todos los componentes productivos tradicionales son efectivos o aplicables, y el Grupo Talpuy está consciente de la posible necesidad de realizar modificaciones o adaptaciones; sin embargo, consideran que las bases del desarrollo deben permanecer nativas.

Difusión de las tecnologías IPM entre los pequeños agricultores arroceros

En Asia, la FAO (Food and Agriculture Organization) está auspiciando programas de desarrollo para el arroz en ocho países. Indonesia, China, Bangladesh, India, Tailandia, Vietnam, Filipinas, Sri Lanka y Malasia. Estos programas han sometido a entrenamiento a cientos de miles de agricultores con los métodos IPM y han ahorrado millones de dólares en pesticidas, para no mencionar los beneficios relacionados con la salud y el medio ambiente (Stone 1992).

La propuesta consiste en crear Escuelas Agrícolas de Campo los cuales ayudan a los agricultores a controlar sus operaciones, enseñándoles acerca de la agroecología del arroz. Esto los ayuda a tomar, por sí solos decisiones agrícolas de más peso liberándolos de la dependencia del agente de extensión agrícola.

Los agricultores asisten a la escuela de campo una vez a la semana durante el ciclo completo de la cosecha, de 10 a 12 semanas, a fin de identificar plagas y depredadores, estudiar sanidad vegetal, manejo de aguas, y los efectos del tiempo sobre el ciclo de las plagas. Usando estos conocimientos y sus experiencias, cada grupo administra un predio experimental en donde se pueden aplicar y evaluar los métodos de IPM.

La respuesta de los agricultores hacia los colegios ha sido entusiasta. En realidad el IPM ha llegado a ser un conocimiento social entre los agricultores arroceros, dando a conocer sus técnicas de persona a persona, método sin precedente en otros programas de extensión. Por ejemplo en Bangladesh, muchos líderes de aldeas y funcionarios públicos se han adscrito abiertamente al programa. Los agricultores que reciben el entrenamiento del IPM, gastan un 75% menos en pesticidas que sus contrapartes no capacitadas, produciendo un 13.5% más de arroz.

Los éxitos mencionados con antelación han animado a las ONGs y a otros grupos activistas a ejercer algún tipo de influencia sobre las políticas de pesticidas nacionales. En 1991, la República Dominicana dio respuesta a nueve años de campaña antipesticida prohibiendo el uso de 24 peligrosos pesticidas, mientras que en 1992 se tomó acción en las Filipinas prohibiendo el uso de cuatro de los más conocidos tóxicos químicos.

En Indonesia, el presidente promulgó un decreto prohibiendo 57 de los 67 pesticidas usados para el arroz, eliminando en dos años los subsidios de los pesticidas e invirtiendo parte de este dinero en fundar el programa IPM para Indonesia, incluyendo un gran programa de extensión agrícola educativo.

Un diseño de agricultura orgánica para la Sierra Peruana

En la provincia de San Marcos de Cajamarca, Perú, los pequeños agricultores practican en los valles interandinos una variedad de cultivos que incluyen el maíz, lentejas, papas, ulluco, trigo, yuca, frijoles, avena, etc. Los sistemas agrícolas tradicionales han resultado radicalmente modificados por los elementos de la agricultura convencional y la influencia urbana, lo que ha originado una agricultura de monocultivo orientada hacia el comercio, que favorece los cultivos rentables en lugar de los andinos.

El Centro IDEAS, una ONG agrícola, ha puesto en marcha una propuesta de agricultura orgánica con el fin de revertir el proceso descrito anteriormente, planteando una estrategia de desarrollo rural más adecuada que rescate los elementos de la agricultura tradicional local y asegure la autosuficiencia alimentaria, como también la preservación de los recursos naturales (Chavez et al. 1989).

Los aspectos básicos de la propuesta son:

- Uso racional de los recursos locales, potenciación de recursos naturales y uso intensivo de mano de obra humana y animal.
- Gran diversidad de cultivos nativos (andinos), hierbas, arbustos, árboles y animales desarrollados dentro de los patrones de policultivos y rotaciones.
- Creación de microclimas favorables mediante el empleo de cinturones de protección y cercos vivos, y la reforestación con frutales nativos y exóticos.
- Reciclaje de residuos orgánicos y óptimo manejo de animales pequeños.

Esta propuesta se aplicó en un predio modelo de 1,9 has inserto en un área con condiciones similares a las que enfrenta el campesino promedio de la región. El predio se dividió en 6 parcelas, cada una de las cuales seguía un modelo de rotación determinado (Tabla 7.3). Luego de tres años de funcionamiento, los resultados presentaron las siguientes tendencias:

- El contenido de materia orgánica aumentó de niveles bajos a medios y altos, y se incrementaron levemente los niveles de N. Se requirió la aplicación adicional de fertilizantes naturales para mantener los niveles óptimos de materia orgánica y nitrógeno.
- El fósforo y el potasio aumentaron en todas las parcelas.
- Los rendimientos de los cultivos variaron en todas las parcelas; sin embargo, en aquellas que contaban con buenos suelos (parcela 1) se obtuvieron altos rendimientos de maíz y de trigo.

TABLA 7.3 Diseño Rotacional de un predio modelo.

Parcela	Año 1	Año 2	Año 3
1	Maíz, frijoles, quinua, kiwis, zapallo y chiclayo	Trigo	Cebada
2	Cebada	<i>Lupinus</i> y lentejas	Linaza
3	Trigo	Haba y avena	Maíz, frijoles, quinua, kiwis, zapallo y chiclayo
4	Centeno	Trigo	Lentejas
5	<i>Lupinus</i>	Maíz, frijoles, quinua, kiwis, zapallo y chiclayo	Trigo
6	Barbecho	Linaza	Cebada y lentejas

- Los policultivos superaron siempre a los monocultivos.
- Para la explotación de 1 ha del predio modelo fue necesario hacer uso de 100 horas/hombre, 15 horas/buey y alrededor de 100 kg. de semillas.

Estos resultados preliminares parecen indicar que el diseño propuesto aumenta la diversidad de cultivos alimenticios disponibles para la familia, incrementa los ingresos debido a una mayor productividad y mantiene la integridad ecológica de la base de recursos naturales.

Un sistema sustentable para pequeños agricultores en Chile

En Chile, donde virtualmente se ha eliminado el crédito subvencionado y se ha privatizado la asistencia técnica para los agricultores, el Centro de Educación y Tecnología (CET) ayuda a los campesinos a lograr una autosuficiencia alimenticia de bajo costo y para todo el año. El enfoque del CET ha sido establecer varios predios modelos de media hectárea cada uno, capaces de satisfacer la demanda alimenticia de una familia con escasez de capital y tierras. En este sistema, la diversidad es el factor crítico para utilizar eficazmente los pocos recursos. De esta manera, los cultivos, animales y otros recursos del predio se integran en diseños combinados de rotación para optimizar la eficiencia productiva, ciclo de nutrientes y protección del cultivo (CET 1983).

El predio está constituido por diversas combinaciones de cultivos y forraje, hortalizas frutales y forestales, y animales. Los componentes principales son:

1. Hortalizas: espinaca, col, tomate, lechuga.
2. Chacras: maíz, frijoles, papas, arvejas, habas.
3. Cereales: trigo, avena, cebada.
4. Forraje: trébol, alfalfa, Reygrass.
5. Frutales: uvas, naranjos, duraznos, manzanos.
6. Forestales: *Robinia negra/melosa*, sauces.
7. Animales domésticos: una vaca lechera, pollos, cerdos, patos, cabras y abejas.

La familia consume las hortalizas, frutas y productos de la chacra. Los cultivos de forraje y algunos de la chacra sirven como alimento para los animales. El forraje también se puede incorporar bajo tierra como abono verde. Las habas proporcionan proteína para las aves de corral. El trigo y la avena se utilizan para hacer el pan. Todos los residuos vegetales y el estiércol se convierten en compost. El abono se puede aplicar directamente alrededor de la base de los frutales. Los rastrojos del cultivo (paja del trigo y tallos del maíz) se pueden dar como alimento a los animales o se pueden dejar como mulch sobre el suelo.

Los árboles no frutales se emplean para forraje, madera, combustible o materiales de construcción. Las especies arbóreas de acacia (*Robinia pseudoacacia*) fijan nitrógeno y producen madera resistente a las plagas, apropiada para cercos. El follaje de la acacia negra (*Gleditsia triacanthus*) y de las *Salix* spp. se puede utilizar como forraje. El olivo ruso silvestre también fija nitrógeno y proporciona un hábitat de vida silvestre.

Las plántulas crecen en un invernadero solar el cual consiste en un gran hoyo en el suelo de tres por tres metros a metro y medio de profundidad, cubierto con plástico transparente. La mayoría de las hortalizas se producen en lechos de realce con mucho compost. El resto de las hortalizas, los cereales, las leguminosas y las plantas forrajeras se producen en un sistema de rotación de 7 años, descrito en la Figura 7.3. Para lograr una producción relativamente constante se divide la tierra en tantas par-

celas con capacidades productivas equivalentes, como años tenga la rotación, lo que equivale a seis toneladas anuales de biomasa útil para 13 especies diferentes de cultivo. La rotación fue diseñada para producir la máxima variedad de cultivos básicos en seis parcelas, sacando ventaja de las propiedades restauradoras del suelo al rotar. De esta manera, cada parcela recibe tratamientos específicos a lo largo de los siete años que dura el período (Tabla 7.4).

Los cultivos se pueden sembrar en diseños temporales y espaciales (como el cultivo en franjas, cultivo intercalado, cultivo combinado, cultivos de cobertura, mulch orgánico) dentro de cada parcela optimizando el uso de los recursos limitados y aumentando los atributos de auto sustentación y de conservación del sistema. Una consideración importante al diseñar la rotación es la estabilidad de los sistemas de cultivo, tanto en términos de la fertilidad del suelo como de la regulación de las plagas.

Fertilidad del suelo. Se acepta el hecho de que la rotación de granos con leguminosas forrajeras proporciona más nitrógeno y rendimientos mucho mayores en la

- 1 Árboles frutales 2 Riego 3 Parronal de uva 4 Berries en espaldera
- 5 Hortalizas 6 Casa 7 Pollos, leña 8 Pozo de agua
- 9 Horno 10 Vacas 11 Cerdos 12 Pila de compost
- 13 Árboles 14 Colmenas

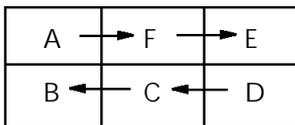
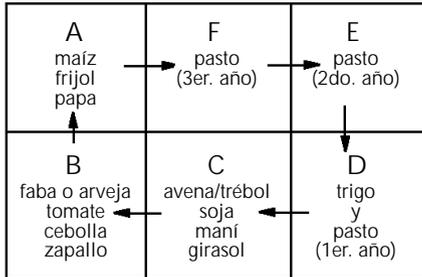
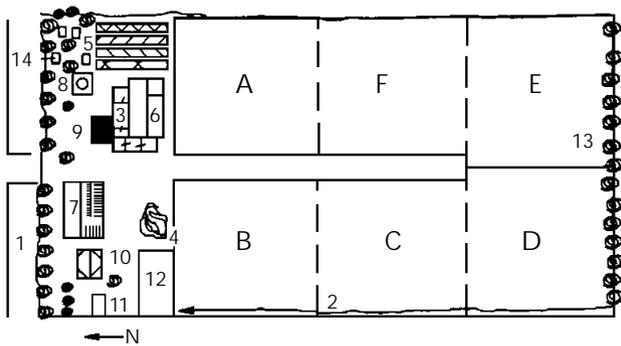


FIGURA 7.3 Diseño modelo de un sistema agrícola autosuficiente basado en un esquema de rotación de 7 años, adaptable a ambientes mediterráneos (adaptado de CET 1983).

TABLA 7.4 Sistema de rotaciones diseñado para la producción de cultivos básicos.

Cultivos	Rotaciones	Período
Chacras	Maíz/frijol/papas	Primavera, verano - Año 1
Chacras de invierno	Arveja y habas	Otoño, invierno - Año 2
Hortalizas	Tomates, cebollas, zapallo, etc.	Primavera, verano - Año 2
Pastos suplementarios	Avena, trébol, ryegrass	Otoño, invierno - Año 2
Cultivos industriales	Soya, maní, girasol	Primavera, verano - Año 3
Pastos permanentes	Trigo, trébol, alfalfa, ryegrass	Otoño, invierno, primavera - Año 4
Pastos perennes	Trébol, alfalfa, ryegrass	Verano - Año 5 Otoño - Año 7

cosecha subsiguiente de granos que los que se obtienen con los monocultivos (Capítulo 11). La producción de granos dependerá de la capacidad de las leguminosas para proporcionar nitrógeno. Cuando se desea un efecto nitrógeno-fertilizante, generalmente se incorpora al suelo un gran tonelaje de materia vegetal. Los tejidos incorporados al suelo deben estar maduros. La incorporación inicial de paja verde o abono verde con altos índices de carbono/nitrógeno se traduce en la fijación de nitrógeno soluble del suelo en las células de los microorganismos en descomposición. Como resultado, se pueden requerir cantidades adicionales de nitrógeno (Troeh et al. 1980). Las investigaciones han demostrado que las leguminosas como el trébol dulce, la alfalfa y la algarroba pueden producir entre 2,3 y 10 toneladas de materia seca por hectárea y fijar de 76 a 367 Kg. de nitrógeno por hectárea, cantidad suficiente para la mayoría de los cultivos agronómicos y de hortalizas (Palada et al. 1983).

El abono se puede aplicar a los terrenos en primavera o en otoño. Si se aplica en otoño, puede quedar inmovilizado el tiempo suficiente como para tener un efecto residual en los cultivos de verano. La paja del trigo sobre el campo puede inmovilizar el nitrógeno mineral durante el crecimiento vegetativo de los frijoles al año siguiente, estimulando la fijación de nitrógeno en las leguminosas. Los residuos se descomponen durante los primeros meses, aún cuando la descomposición se puede ver retardada por un suministro inadecuado de nitrógeno (Troeh et al. 1980). Los rastrojos del cultivo también proporcionan la sombra suficiente para mantener más fresco un suelo con mulch que un suelo desnudo, efecto que se requiere durante el verano en zonas con clima mediterráneo.

Regulación de plagas. El esquema de rotación proporciona una cubierta vegetal prácticamente continúa que ayuda a controlar las malezas anuales. En los terrenos de pastos al sembrar subterráneamente el trébol dulce con trigo ayuda a mantener las malezas bajo control una vez que se ha cosechado el trigo. Se ha demostrado que la incorporación de cultivos leguminosos de cobertura en cultivos anuales como maíz, col o tomates mediante siembra superficial y rotaciones de pastos, reduce significativamente las malezas (Palada et al. 1983). Aunque es posible que estos sistemas no mejoren los rendimientos al compararlos con los cultivos puros, ellos ofrecen un gran potencial para los agricultores que cultivan en laderas, dado que reducen la erosión y conservan la humedad (Capítulo 10).

La rotación de cultivos también tiene un profundo impacto en las poblaciones de plagas de insectos. Por ejemplo, en un monocultivo continuo de maíz se encuentran más (*Diabrotica* spp.) que en los campos de maíz asociados con soya, trébol, alfalfa

u otros cultivos. La plaga tiene una generación al año y prefiere ovar en los maizales. De tal manera que sería conveniente que el medio ambiente para una plaga determinada y sus enemigos naturales mejorara su sincronía. Un cultivo invernal compatible puede resultar responsable de la invernación exitosa de un gran número de parásitos. Las malezas que crecen en los límites del campo cumplen una función similar. Su importancia radica en el mantenimiento de un equilibrio entre la plaga y sus enemigos naturales durante el período en que el cultivo no se encuentra disponible. De este modo, el desmalezaje anual de los límites del campo puede destruir los sitios de invernación de importantes enemigos naturales (van den Bosch y Telford 1964).

La presencia de alfalfa en el esquema rotacional puede aumentar la abundancia y diversidad de los depredadores y parásitos del predio. La siega de la alfalfa obliga a los depredadores a trasladarse de la alfalfa a otros cultivos. Si se corta la alfalfa con insectos benéficos y se esparce por el predio, también aumenta la población de enemigos naturales (van den Bosch y Telford 1964). La aplicación de residuos de cereales en forma de mulch de paja en los cultivos subsiguientes puede reducir significativamente las poblaciones de mosca blanca (*Bemisia tabaci*) portadora de virus, al afectar su capacidad para atraer y posarse (Palti 1981).

Las infestaciones del maíz con el gusano perforador de otoño (*Spodoptera frugiperda*) y de frijoles con *Empoasca* spp. (saltarillas) y *Diabrotica* spp. (Coleóptero defoliador) se pueden reducir significativamente mediante la siembra intercalada de ambos cultivos (Capítulo 10).

Se han propuesto numerosas rotaciones a largo plazo (tres a seis años) para reducir las poblaciones de patógenos en el suelo, aunque las rotaciones a corto plazo también pueden ser efectivas. Las arvejas, por ejemplo, reducen las poblaciones de *Gaeumannomyces solanacearum* que se forman durante un cultivo previo al trigo. La incorporación a la superficie del suelo de paja de cebada mediante la labranza con arado rotatorio puede reducir de manera radical las poblaciones de *Verticillium albo-atrum*. Si se incorporan leguminosas maduras o heno como abono verde, también pueden afectar a las poblaciones fungales y nemátodos del suelo. Los abonos verdes de nabos, arvejas o leguminosas de pastos mixtos reducen en el trigo las poblaciones de *Gaeumannomyces graminis* mediante la estimulación antagónica (Palti 1981).

Evaluación del Módulo. El personal del CET ha vigilado de cerca el funcionamiento de este sistema agrícola integrado. A lo largo de los años ha mejorado la fertilidad del suelo (los niveles de P^2O^5 que inicialmente eran limitados, se incrementaron de 5 a 15 ppm.) y no se han notado problemas serios de plagas o enfermedades. Los frutales de los huertos y aquellos de los terrenos en rotación producen cerca de 843 Kg. de fruta/año (uvas, membrillos, peras, ciruelas, etc.). La producción de forraje alcanza cerca de 18 toneladas/0,21 ha al año; la producción lechera, un promedio de 3200 lts. al año; y la de huevos, un nivel de 2531 unidades. Un análisis nutricional del sistema basado en la producción de varios componentes vegetales y animales (leche, huevos, carne, frutas, hortalizas, miel, etc.) muestra que el sistema produce superávits del 250% en proteína, 80% y 550% en vitaminas A y B respectivamente, y del 330% en calcio. Un análisis económico-doméstico indica que dada una lista de preferencias, el balance entre los superávits de venta y las demandas de productos da como resultado un ingreso neto de US \$790. Si la producción total del predio se vende a precios de mayorista, la familia podría generar un ingreso neto de US\$ 1,637, equivalente a un ingreso mensual de US\$ 136, 1.5 veces mayor que el salario mínimo legal mensual en Chile (Yurjevic 1991).

Capacitación de campesinos chilenos. Grupos de agricultores (especialmente líderes de comunidades) provenientes de áreas locales y distantes, viven en predios del CET durante períodos variables de tiempo para capacitarse mediante su participación en la planificación, administración y evaluación de los sistemas orgánicos de producción. Luego del entrenamiento, los agricultores reciben un paquete de semillas que utilizarán para iniciar un sistema similar. Regresan a sus comunidades para enseñar los nuevos métodos a sus vecinos y aplicar el modelo en sus propias tierras. Evaluaciones complementarias del programa en comunidades rurales revelaron que muchos campesinos han adoptado algunos o todos los diseños agrícolas (P. Rodrigo, comunicación personal). En muchos casos, los campesinos han modificado las técnicas de acuerdo con sus propios conocimientos y recursos. Por ejemplo, en el Sur de Chile, un grupo de campesinos en lugar de compost, prefirieron utilizar humus proveniente de los bosques de acacias cercanos para fertilizar sus cultivos, como es tradicional.

El sistema modular en las tierras bajas de Tabasco

Se sabe que los indígenas originarios de Tabasco, México, han utilizado varias formas de agricultura de subsistencia consideradas altamente productivas (Gliessman et al. 1981). La agricultura de tala, tumba y quema fue empleada para la producción básica de granos (maíz, frijoles), mientras que los *huertos familiares*, compuestos básicamente de cultivos arbóreos y vides, arbustos y yerbas asociadas agregaba una gran variedad a la dieta local. El cacao se producía en estos huertos familiares como elemento de reserva, cultivo que se ha expandido considerablemente con un sistema de plantación que usa leguminosas como árboles de sombra.

En los últimos años, el énfasis agrícola en las tierras bajas de Tabasco se ha alejado de la agricultura de subsistencia y se ha acercado a la agricultura comercial y a la ganadería. Junto con este giro hacia las actividades comerciales se encuentra un abandono gradual de las variedades y prácticas agrícolas tradicionales. Como parte de un programa para restablecer la diversidad y estabilidad del nivel productivo característico de los agroecosistemas tradicionales, Gliessman et al. (1981) instaló unidades de producción conocidas como sistemas modulares. Estos sistemas fomentan la aplicación a la agricultura de principios ecológicos mediante la incorporación del conocimiento empírico existente en la región.

Cada unidad de producción consiste en cinco a quince hectáreas controladas por varias familias como parte de sus otras actividades agrícolas. Dependiendo de la estructura social de la comunidad, las familias pueden vivir en el módulo o bien, en una comunidad cercana (*ejido*) y trabajar en el módulo durante el día. Así, la producción de cada módulo puede ser consumida por las familias que lo habitan, o ser distribuida a los miembros de la *ejido*. Cualquier excedente de producción se encuentra disponible para la venta o el intercambio.

Cada unidad de producción cuenta con una banda de vegetación exterior que consiste básicamente de especies del bosque natural de la región (Figura 7.4). Esta banda sirve simultáneamente como cortina rompeviento, como fuente de depredadores y parásitos para el control biológico y como fuente de leña y materiales de construcción. Simultáneamente, estos cinturones de protección sirven como reservas biológicas de bancos de germoplasma para parte de las plantas y animales que normalmente están presentes en los ecosistemas tropicales. El enriquecimiento de las especies selectivas con especies arbóreas frutales y forestales hace posible la aplicación

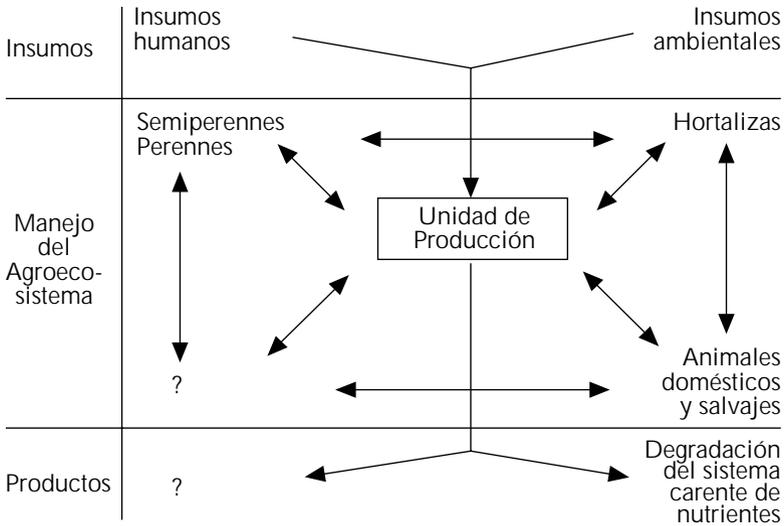


FIGURA 7.4 Diagrama de un sistema modular que hace hincapié en el equilibrio de insumos y productos mediante varias prácticas de manejo ecológico.

de prácticas de manejo agrosilvícolas, aumentando así el valor a largo plazo del cinturón de protección.

El interior de cada unidad modular se construye sobre la base de la diversidad topográfica del terreno. En la parte central más baja ubicable del módulo se construyen grandes estanques para recolectar la materia orgánica, los nutrientes y partículas del suelo disueltos en el escurrimiento. En dichos estanques se producen peces, patos y otros animales acuáticos, mientras que las plantas acuáticas y sedimentos sirven para fertilizar otras partes del módulo. Con frecuencia, a partir del estanque central se construyen pequeños canales para ayudar a capturar el escurrimiento excesivo. Con el propósito de prevenir la total inundación del terreno, se puede construir un canal central con miras a la eliminación del exceso de agua, o en algunos casos, para proporcionar agua en épocas de bajas precipitaciones.

Alrededor del estanque central o a lo largo de los cursos de agua, se construyen plataformas de realce (de 2,5 a 10 metros de ancho y hasta 100 metros de largo), a menudo con el material extraído de las cuencas colectoras, formando un sistema de «chinampas tropicales» para la producción intensiva de hortalizas. Las chinampas se describen más detalladamente en el Capítulo 6.

Sistemas de agricultura/acuicultura en Veracruz

En un proyecto mexicano similar, en el estado de Veracruz se establecieron predios integrados con el fin de ayudar a los agricultores a mejorar el uso de los recursos locales (Morales 1984). En diseños únicos basados en las chinampas y en los sistemas acuícolas asiáticos, se integró la producción vegetal, animal y de peces, mediante el manejo y reciclaje de la materia orgánica. El cultivo intensivo del maíz, frijol y zapallo para el consumo local, y el de hortalizas de alto valor como la acelga, col, cilantro y chile proporcionaron abundantes desechos y recortes vegetales que se uti-

lizaron como alimento para el ganado y los caballos. Todos los desechos animales se emplearon como fertilizantes para el campo y para los estanques de peces.

El impacto de los programas de conservación del suelo en las colinas de América Latina

América Central

Tal vez el mayor desafío agrícola que enfrenta América Latina es el de diseñar sistemas de cultivo en laderas para mantener los rendimientos y reducir la erosión del suelo. Una de las ONGs que ha aceptado este desafío es Loma Linda en Honduras, que ha desarrollado un sistema simple de no labranza para la producción de cultivos en laderas empinadas.

Inicialmente, las malezas en un área de barbecho se cortan con machete u otra herramienta apropiada, sin remover el suelo. Con un azadón o un pequeño arado se abren surcos cada 50-60 cm, siguiendo el contorno. Las semillas y el compost y/o abono avícola se colocan en los surcos y se cubren con tierra. A medida que el cultivo crece, se mantiene desmalezado para evitar una competencia excesiva, con la biomasa de malezas dejada dentro de la hilera de cultivo en forma de mulch de cobertura o como insumo de materia orgánica. Sin fertilizantes químicos, se pueden obtener excelentes rendimientos, y más importante aún, sin experimentar importantes pérdidas de suelo (Altieri 1991).

En un proyecto similar en Guinope, Honduras, la organización voluntaria World Neighbors (Vecinos Mundiales), comenzó un programa de entrenamiento y desarrollo agrícola para controlar la erosión y restablecer la fertilidad del suelo. El programa introdujo prácticas de conservación del suelo tales como zanjas de contorno y drenaje, barreras de pasto y paredes de roca, e hizo hincapié en los métodos orgánicos de fertilización tales como el abono avícola y la siembra intercalada de leguminosas. En el primer año, los rendimientos se triplicaron o cuadruplicaron de 400 Kg. por ha a 1.200-1.600 Kg. Esta triplicación de granos por hectárea en la producción ha asegurado a las 1.200 familias participantes en el programa una provisión abundante de granos para el año siguiente. En los últimos cinco años, otras 40 localidades han solicitado entrenamiento en las prácticas de conservación del suelo (Bunch 1988). El incremento de la productividad por hectárea ha significado que la mayoría de los agricultores cultiven actualmente menos tierra que antes, lo que permite una mayor utilización de tierra para la reforestación del pino, para pasturas, frutales o café. El resultado neto es que cientos de hectáreas utilizadas anteriormente para una agricultura erosiva se encuentran ahora cubiertas de árboles.

Región Andina

En Perú, varias ONGs como también organismos gubernamentales han iniciado programas para restaurar las terrazas abandonadas y construir otras nuevas en varias regiones del país. Por ejemplo, en el Valle Colca, al sur de Perú, el PRAVTIR (Programa de Acondicionamiento Territorial y Vivienda Rural) auspicia la reconstrucción de terrazas ofreciendo a las comunidades campesinas préstamos con bajos intereses, o semillas y otros insumos con el propósito de restaurar grandes áreas (hasta 30 has) de terrazas abandonadas. Las principales ventajas de las terrazas radican en su capacidad para reducir al mínimo los riesgos en épocas de heladas y/o sequía,

disminuir la pérdida de suelo, ampliar las opciones de cultivo gracias al microclima, a las ventajas hidráulicas, y mejorar los rendimientos del cultivo. Los datos de los rendimientos del primer año pertenecientes a las nuevas terrazas indicaron un incremento de 43-65% en papas, maíz y cebada, comparándolos con los rendimientos de estos mismos productos cultivados en laderas (Treacey 1989). Una de las principales restricciones a esta técnica es el uso altamente intensivo de mano de obra. Se estima que se necesitarían 2.000 hombres-día para completar la reconstrucción de 1 hectárea, aunque en otras áreas de Perú se ha comprobado que la reconstrucción de terrazas requiere una mano de obra significativamente menor, es decir, 350-500 hombres-día/ha.

República Dominicana

En la cordillera central de República Dominicana, la mayoría de los habitantes son agricultores de escasos recursos dedicados a la agricultura de subsistencia, actividad que, combinada con otros fenómenos sociales, conlleva a la erosión del suelo. El cultivo migratorio de barbecho breve, *conuco itinerante*, es el sistema predominante, que rara vez se revierte a bosque, sino más bien, dada la concentración de tierra y los problemas de presión poblacional, suele transformarse en tierras de pastoreo o manejadas con prácticas improductivas de conservación.

Hace aproximadamente 10 años, el Plan Sierra, un proyecto de ecodesarrollo, se planteó el desafío de romper el círculo entre la pobreza rural y la degradación ambiental. La estrategia consistía en desarrollar sistemas alternativos de producción para los conucos altamente erosivos utilizados por los agricultores locales. El controlar la erosión en la Sierra no sólo es importante para mejorar la vida de estos campesinos, sino que también representa un potencial eléctrico para la zona y 50.000 hectáreas más de tierra con regadío a lo largo del Valle Cibao.

El principal objetivo de la estrategia agroecológica del Plan Sierra lo constituía el desarrollo y difusión de sistemas de producción que significarían rendimientos sustentables sin degradar el suelo, asegurando de esta manera la productividad y autosuficiencia alimenticia de los agricultores. Más específicamente, los propósitos eran permitir a los agricultores un uso más eficiente de los recursos locales como la humedad y los nutrientes del suelo, los residuos animales y vegetales, la vegetación natural, la diversidad genética y la mano de obra familiar. De esta forma sería posible satisfacer las necesidades domésticas básicas de alimentación, leña, materiales de construcción, medicinas, ingresos, etc.

Desde un punto de vista de manejo, la estrategia consistía en una serie de métodos agrícolas integrados de varias maneras :

1. Prácticas de conservación del suelo como terrazas, labranza mínima, cultivo en callejones, mulch, etc.
2. Empleo de árboles y arbustos leguminosos como *Gliricidia*, *Calliandra*, *Canavalia*, *Cajanus* y *Acacia*, plantados en callejones, para la fijación de nitrógeno, producción de biomasa, abono verde, producción de forraje y captura de sedimento.
3. Uso de fertilizantes orgánicos basados en la óptima utilización de los residuos animales y vegetales.
4. Combinación y manejo adecuados de los policultivos y/o rotaciones sembradas en contorno, en fechas y densidades óptimas de cultivo.

5. Conservación y almacenamiento de agua, mediante el empleo de mulch y técnicas de cosecha de agua.

En varios predios, todos los animales, cultivos, árboles y arbustos se encuentran integrados como muestra la Figura 7.5, dando como resultado múltiples beneficios tales como la protección de suelo, la producción diversificada de alimentos, madera combustible, mejoramiento de la fertilidad del suelo, etc.

Puesto que más de 2.000 agricultores han adoptado algunas de las prácticas mejoradas, una tarea importante del Plan Sierra era determinar el potencial de los sistemas propuestos para reducir la erosión. Esto resultó difícil, ya que la mayoría de los métodos disponibles para calcular la erosión no sirven para medir la pérdida de suelo en sistemas agrícolas manejados por agricultores de escasos recursos en condiciones marginales. Dado la falta de recursos financieros e infraestructura de investigación del Plan Sierra, fue necesario desarrollar un método simple que utilizara estacas de medición para calcular la pérdida de suelo en una serie de conucos, entre los que se contaban aquellos tradicionalmente manejados por agricultores, y los «perfeccionados», desarrollados y promovidos por el Plan Sierra.

Sobre la base de los datos recopilados en 1988-89, la Figura 7.6 representa los índices acumulativos de erosión de tres sistemas agrícolas tradicionales y uno mejorado. Aunque los índices de erosión resultaron inaceptablemente altos en todos los sistemas, el sistema alternativo propuesto por el Plan Sierra (conuco PMA) mostró una pérdida de suelo considerablemente inferior a la de los monocultivos migratorios tradicionales de yuca y guandul. El positivo rendimiento del Conuco PMA parece estar relacionado con la provisión continua de cobertura del suelo gracias al cultivo intercalado, al empleo de mulch y a las rotaciones, así como también al corte de la pendiente y a la captura de sedimento dado por el cultivo en callejones y a los cercos vivos.

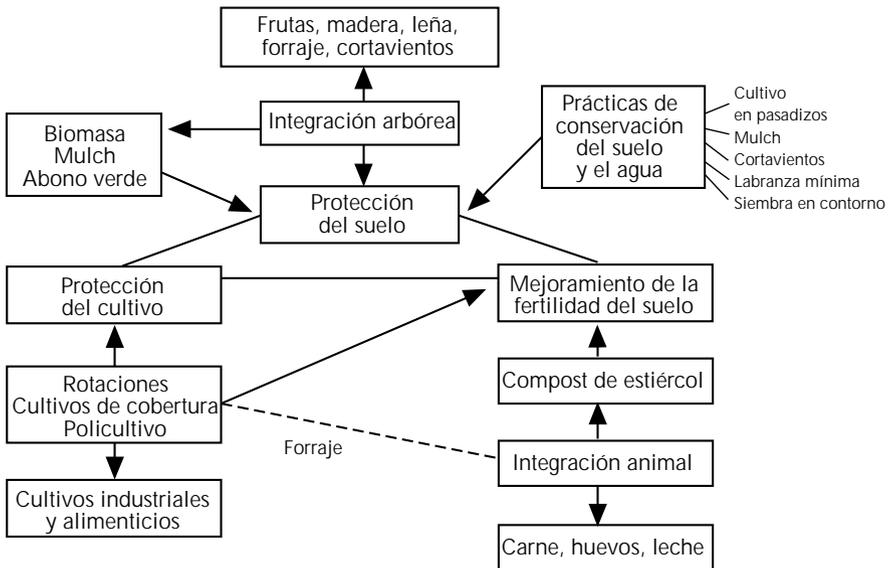


FIGURA 7.5 Interacciones complementarias en sistemas de cultivo diversificado que se traducen en un aumento de la protección y fertilidad del suelo y la protección biológica del cultivo.

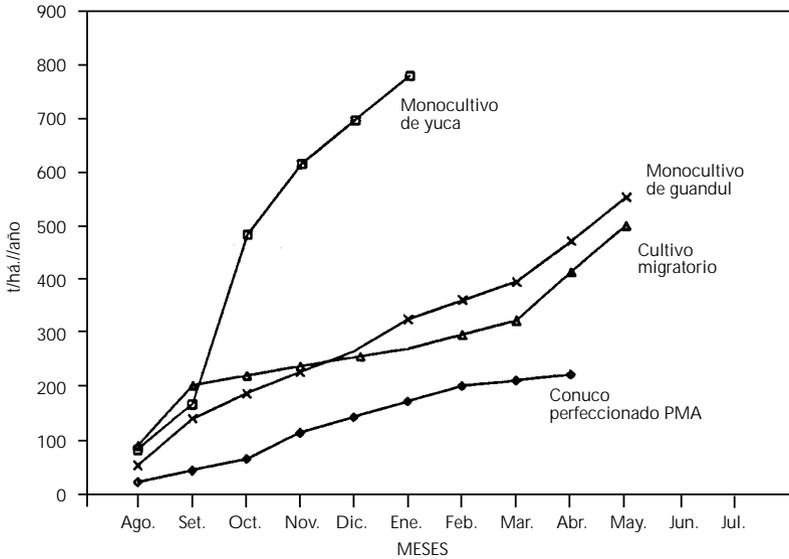


FIGURA 7.6 Tendencias acumulativas de pérdida de suelo de tres conucos (sistemas de cultivo de campesinos) manejados sin prácticas de conservación del suelo, y de un conuco perfeccionado (PMA), manejado de acuerdo a principios agroecológicos.

Los métodos del Plan Sierra, simples pero efectivos para estimar la pérdida de suelo bajo el manejo de los agricultores, proporcionan datos sobre el potencial erosivo de varios sistemas de cultivo, y los efectos de las prácticas de conservación del suelo. Dada la heterogeneidad ecológica del área en términos de suelo, microclima y vegetación, resulta difícil generalizar a partir de los datos de los sistemas.

Recreación de la agricultura incaica en los Andes Peruanos

En Perú, el reciente entusiasmo por las técnicas milenarias llegó a rescatar un ingenioso sistema de campos elevados que evolucionó en el altiplano de los Andes peruanos hace cerca de 3.000 años. Estos *waru-warus*, que consistían en plataformas de suelo rodeadas por acequias, llenas de agua, eran capaces de producir abundantes cosechas aún en presencia de inundaciones, sequías, y de las devastadoras heladas, tan comunes a casi 4.000 metros de altura. Alrededor del Lago Titicaca, aún se pueden encontrar vestigios de más de 80.000 hectáreas de ellos.

En 1984, varias ONGs y agencias estatales crearon el Proyecto Interinstitucional de Rehabilitación de Waru-Warus en el Altiplano (PIWA) para ayudar a los agricultores locales a reconstruir los antiguos predios (Sánchez 1989). La combinación de lechos de realce y canales ha demostrado tener efectos ambientales extraordinariamente avanzados. Durante las sequías, la humedad proveniente de los canales asciende lentamente hasta las raíces mediante la acción capilar y, durante las inundaciones, los surcos drenan el escurrimiento excesivo. Los *waru-warus* también reducen el impacto de las temperaturas extremas. El agua en los canales absorbe el calor del sol durante el día y lo irradia nuevamente por la noche, ayudando de esta manera a proteger los cultivos de las heladas. En los camellones, las temperaturas nocturnas

pueden ser varios grados superiores que en la región circundante. El sistema además mantiene la propia fertilidad del suelo. En los canales, el légamo, los sedimentos, las algas, y los restos vegetales y animales se descomponen, produciendo un humus rico en nutrientes que pueden removerse en cada estación y añadirse a los camellones. El análisis del suelo realizado en muestras provenientes de los reconstruidos waru-warus, mostraron niveles elevados de nitrato de nitrógeno, fósforo y potasio, como también un pH de 4,8-6,5, óptimo para el cultivo de papas (Erickson y Chandler 1989).

Todos estos efectos ambientales determinan la mayor productividad de los waru-warus, en comparación con aquellos de suelos de la pampa fertilizados químicamente. En el distrito de Huatta, los campos elevados reconstruidos produjeron cosechas impresionantes, mostrando un rendimiento sostenido de papas de 8-14 ton/ha/año. Estas cifras se contrastan favorablemente con el promedio de las cosechas de papas en Puno de 1-4 ton/ha/año (Erickson y Chandler 1989). En Camjata, el rendimiento de papas alcanzó las 13 ton/ha/año y los rendimientos de quinua, las 2 ton/ha/año en los waru-warus reconstruidos por los agricultores locales en una zona de aproximadamente 12 has. con la ayuda de las ONGs y Centros de Investigación, Educación y Desarrollo (CIED).

Esta antigua tecnología está resultando ser tan productiva y barata que se está promoviendo activamente a lo largo del Altiplano, en lugar de la agricultura moderna. No requiere herramientas o fertilizantes modernos; el gasto principal es el de la mano de obra para cavar canales y construir las plataformas. Las necesidades de mano de obra son sumamente variables, fluctuando desde 200-1.000 trabajadores día/ha.

Organización de agricultores para la conservación in-situ de las papas nativas en Chile

El Archipiélago de Chiloé, un grupo de islas en el Sur de Chile, es considerado uno de los centros originarios de la papa *Solanum tuberosum* L. Las expediciones de recolección realizadas por varios investigadores durante años, determinaron una gran diversidad de variedades nativas de papas. En 1975, los botánicos chilenos recolectaron 146 muestras diferentes de variedades nativas, prevaleciendo las llamadas *michunes coloradas* y *moradas*, y las *clavelas* (Montaldo y Sanz 1962). Estas variedades nativas están sumamente adaptadas al margen de condiciones ecológicas encontradas en la región y tienen una importancia clave para la subsistencia productiva (Contreras 1987).

Desde principios de los años cuarenta, el gobierno Chileno realizó diversas introducciones de variedades europeas y norteamericanas (algunas de las cuales habían sido desarrolladas a partir del material chilote). En zonas cercanas a centros urbanos y comerciales (especialmente en la isla grande) los agricultores han abandonado la mayoría de las variedades nativas y han adoptado estas nuevas variedades introducidas, como por ejemplo: «Desiree», «Industrie», «Condor», «Ginecke», etc. que actualmente tienen una mayor demanda comercial.

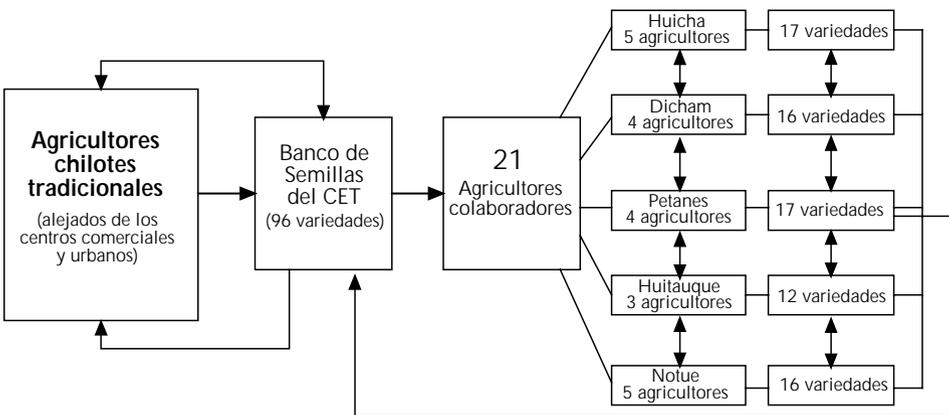
La introducción de nuevas variedades no sólo contribuyó a la extinción de variedades nativas, sino que también a las enfermedades que venían junto con las primeras. Alrededor de 1950, *Phytophthora infestans* devastó la mayoría de los campos de papas, afectando principalmente a las variedades nativas que nunca habían sido expuestas al exótico agente patógeno y, como consecuencia, por falta de la necesaria tolerancia genética.

En un esfuerzo por retardar la erosión genética y recuperar algo del germoplasma de la papa nativa, el Centro de Educación y Tecnología (CET) inició un programa de conservación in-situ en su centro de capacitación para campesinos en Notuco, cerca de Chonchi y en varias comunidades vecinas.

En 1988, los técnicos del CET inspeccionaron varias zonas agrícolas de Chiloé y recolectaron cientos de muestras de papas nativas que aún eran cultivadas por algunos pequeños agricultores a lo largo de la Isla Grande. En 1989, el CET estableció una colección in-situ (banco de semillas) de 96 variedades de papas nativas en su centro de Notuco, cada una sembrada en hileras de 5-10 plantas en una zona de terreno de 1/2 hectárea. Estas variedades se cultivan año tras año y están sujetas a la selección y a un mejoramiento de la semilla.

En 1990, los técnicos del CET iniciaron un programa de conservación in-situ que incluía a 21 agricultores en cinco comunidades rurales diferentes (Dicham, Petanes, Huitauque, Notue y Huicha). A cada agricultor se le da una muestra de cinco variedades nativas diferentes, que ellos se comprometen a sembrar dentro de sus campos de papas. Luego de la cosecha, los agricultores devuelven parte de la producción de semillas al CET (para el banco), intercambian semillas con otros agricultores o siembran las semillas nuevamente para la producción adicional de material genético. La Figura 7.7 describe la dinámica de conservación e intercambio de las 96 variedades mantenidas en el banco de semillas del CET y cultivadas por los 21 agricultores que colaboraron.

Se espera que más agricultores participen en el proyecto y que el CET sea capaz de seleccionar variedades, basándose en las propiedades deseables y en las necesidades de los agricultores. Las variedades seleccionadas se difundirán y distribuirán entre los agricultores participantes. El exceso de semillas podría también venderse a otros agricultores o intercambiarse por semillas de variedades tradicionales que aún no están disponibles en el banco del CET. Esta estrategia permitirá un suministro continuo de semillas valiosas para la subsistencia de agricultores pobres en recursos, pero también como un depósito de diversidad genética vital para futuros programas de mejoramiento de cultivos regionales.



Implicancias para el futuro

Los desafíos contemporáneos de la agricultura del Tercer Mundo han evolucionado de meramente técnico a los más económicos y ambientales. Durante los años noventa, la lucha contra la pobreza rural incluye dos nuevas, aunque cruciales, dimensiones: el manejo ecológico de los recursos agrícolas de los campesinos y la transformación de las comunidades campesinas en protagonistas de su propio desarrollo. En gran medida, docenas de ONGs que han estado promoviendo enfoques fundamentales de desarrollo rural dirigidos a los campesinos más pobres en las zonas de mayor diversidad agroecológica de América Latina, ya han incorporado estas dimensiones.

Un análisis de la mayoría de los proyectos de las ONGs que aplican conceptos agroecológicos como base para sus intervenciones técnicas, indican que las tecnologías propuestas y/o diseños agrícolas son sumamente productivas y sustentadoras, socioeconómicamente apropiadas y culturalmente compatibles. En ambientes marginales (laderas, zonas semiáridas, altiplano, etc.), la gran productividad de los sistemas agroecológicos, en contraste con la «moderna» tecnología agrícola, parece estar mejorando mucho la base de recursos como también el bienestar nutricional y a menudo económico, de las comunidades campesinas locales.

No cabe duda que dentro del margen de circunstancias agrícolas en el mundo, y dada la estructura actual de la extensión e investigación agrícola, las técnicas agroecológicas son más apropiadas y se adaptan mejor que aquellas de la Revolución Verde, en situaciones donde los recursos naturales y socioeconómicos son marginales. Evidentemente, mientras más pobre es el agricultor más importantes son los métodos de bajos insumos, dado que los agricultores pobres tienen pocas opciones, excepto utilizar sus propios recursos. Con mejores condiciones biofísicas (buenos

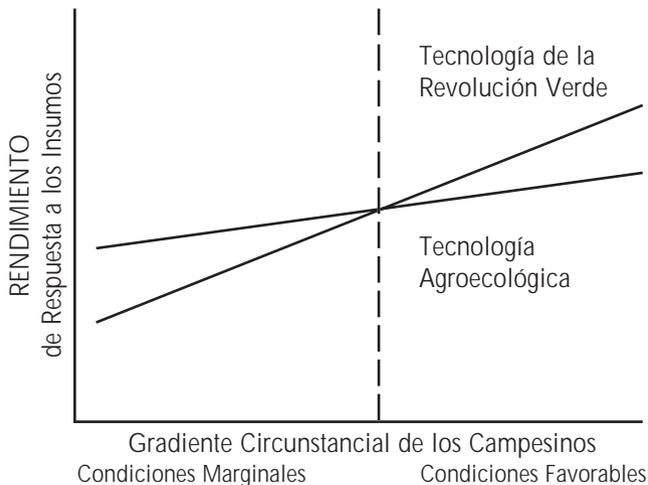


FIGURA 7.8 La realización potencial de la tecnología de la Revolución Verde (agricultura de altos insumos) y tecnología agroecológica (agricultura de bajos insumos) a lo largo de una gradiente de recursos naturales y condiciones socioeconómicas que afectan a los sistemas agrícolas campesinos (Altieri y Anderson 1986).

suelos, disponibilidad de agua) y condiciones económicas (crédito, asistencia técnica), las técnicas de la Revolución Verde pueden ser más atractivas para los agricultores, es que son capaces de superar a las estrategias agroecológicas a corto plazo, o proporcionar soluciones más rápidas a problemas que limitan el rendimiento (Figura 7.8). Esta brecha no existiría si los métodos de bajos insumos fueran respaldados y subsidiados por los gobiernos, como ha ocurrido con la tecnología de altos insumos.

Muchos sistemas agrícolas tradicionales de los países en desarrollo contienen un tesoro informativo acerca de la producción eficaz de cultivos bajo graves restricciones biológicas, socioeconómicas y de recursos. Características notables de estos sistemas incluyen su capacidad para enfrentar el riesgo y las combinaciones simbióticas de cultivos temporales y espaciales que generalmente resultan en un reciclaje eficaz de nutrientes y en un control biológico de las plagas. Es necesario comprender los mecanismos que son la base en la aversión al riesgo, a las combinaciones estables de cultivos, a rendimientos sostenidos, al ciclaje eficaz de nutrientes, a la regulación de las plagas y otras características deseables para incorporarlas a los sistemas de cultivos diseñados para los pequeños agricultores. Los sistemas recomendados deberían mejorar la capacidad de los agricultores para enfrentar los cambios locales y externos, como precios de insumos, impuestos y políticas gubernamentales (Alcorn 1984).

Los proyectos de desarrollo que ponen énfasis en la tecnología de altos insumos y uso intensivo de capital (mecanización, productos agroquímicos, semillas importadas, etc.) han resultado ser ecológicamente inadecuadas y además socialmente desiguales al beneficiar principalmente a una pequeña parte de las poblaciones locales. Al promover la tecnología de la Revolución Verde en el Tercer Mundo, es importante recordar que los agricultores pierden su autonomía en la medida que se hace dependientes de la industria productora de semillas y otros insumos. De este modo, los sistemas de producción de las comunidades rurales han sido administrados por instituciones distantes sobre las cuales tienen poco control (Pearce 1975).

Los datos que demuestran que los proyectos agroecológicos descritos en este capítulo han mejorado la producción, la distribución de ingresos o empleo, han surgido lentamente, principalmente debido a que las urgencias en el campo demandan más tiempo para la acción que para la investigación y las publicaciones. No obstante, los sociólogos y biólogos deben colaborar al medir el éxito o fracaso de los proyectos agroecológicos. Se necesita más que un análisis sobre el uso de la mano de obra, de la tierra y la participación en el mercado. Los investigadores deben desarrollar un medio para medir los logros de los proyectos rurales que buscan mejorar la nutrición y el bienestar al compartir el alimento y al tener labores agrícolas comunales, conservando los valiosos recursos naturales y protegiendo a los campesinos del desalojo de sus tierras y de su explotación como mano de obra barata.

Gliessman et al. (1981) y Augstburger (1983) evaluaron las relaciones biológicas y la estabilidad ecológica de los agroecosistemas tradicionales y la manera de como los agricultores mejoraron su productividad total. El diseño de predio del CET en Chile proporciona un ejemplo creativo acerca de cómo asegurar la producción continua de alimento, organizando eficazmente el espacio limitado. Los estudios posteriores han revelado que los campesinos que adoptan los diseños y las prácticas agrícolas recomendadas, experimentan menor escasez alimenticia o de mano de obra, en particular en zonas donde los campesinos están organizados en actividades que refuerzan la reciprocidad y la ayuda mutua.

En resumen, los pocos ejemplos de programas de desarrollo rural y ascendente descritos aquí, indican que el desarrollo y la difusión de la tecnología apropiada para los campesinos debe:

- Comenzar con el conocimiento de las necesidades de los campesinos de la forma en que ellos las perciben.
- Utilizar tecnología indígena.
- Centrarse en la aldea, haciendo participar a los campesinos.
- Poner énfasis en los recursos locales y autóctonos (Alcorn 1984).

Capítulo 8

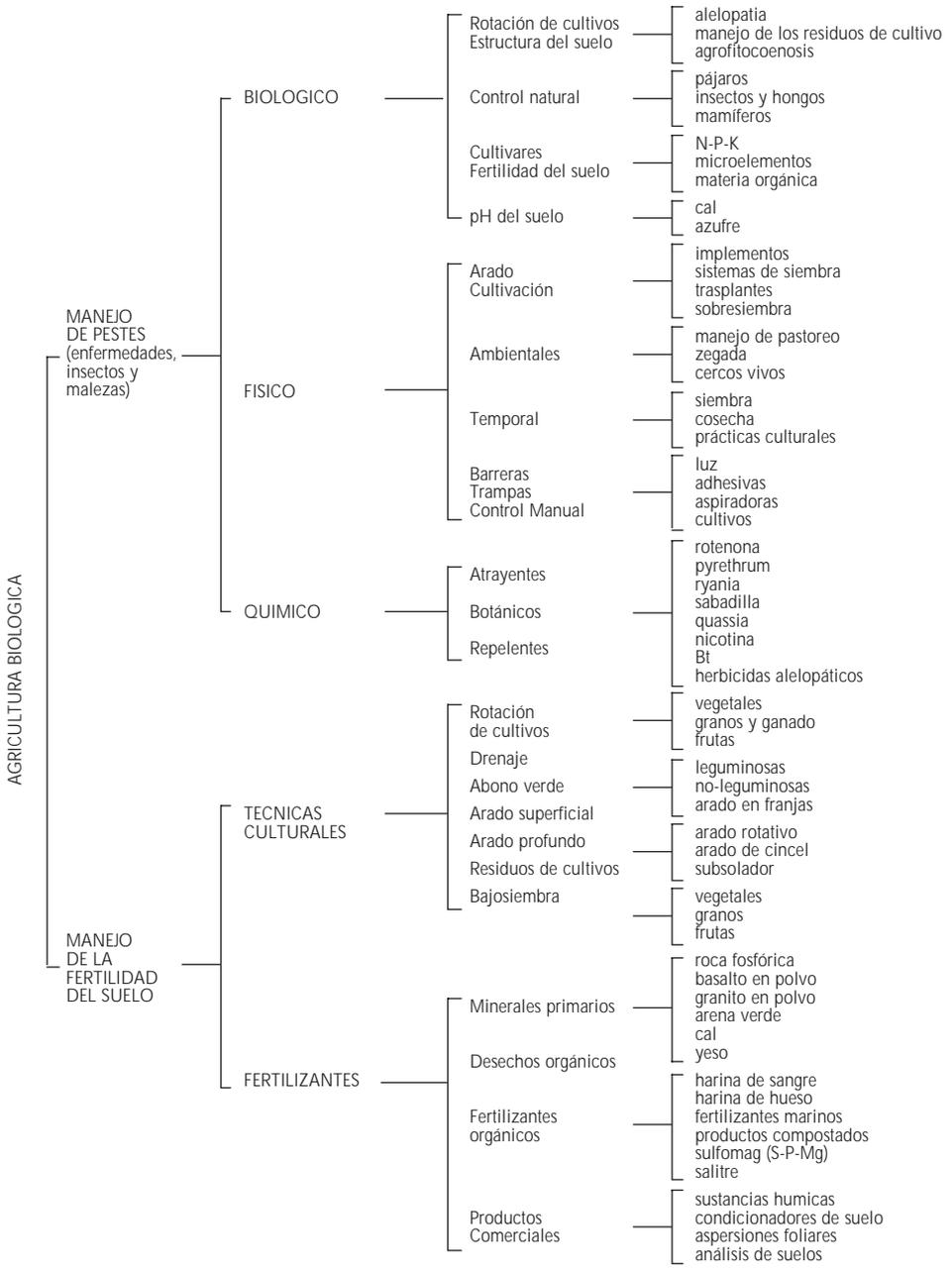
Agricultura orgánica

La agricultura orgánica es un sistema productivo que propone evitar e incluso excluir totalmente los fertilizantes y pesticidas sintéticos de la producción agrícola. En lo posible, reemplaza las fuentes externas tales como sustancias químicas y combustibles adquiridos comercialmente por recursos que se obtienen dentro del mismo predio o en sus alrededores. Dichos recursos internos incluyen la energía solar y eólica, el control biológico de las plagas, el nitrógeno fijado biológicamente y otros nutrientes que se liberan a partir de la materia orgánica o de las reservas del suelo. Las opciones específicas que fundamentan la agricultura orgánica son la máxima utilización de la rotación de cultivos, rastrojos vegetales, abono animal, leguminosas, abonos verdes, desechos orgánicos externos al predio, cultivo mecanizado, rocas fosfóricas, y aspectos del control biológico de plagas con miras a la mantención de la fertilidad del suelo y su estructura; suministro de nutrientes vegetales y el control de los insectos, malezas y otras plagas. (Tabla 8.1) (USDA 1980).

Como resultado de ello, los sistemas de agricultura orgánica se pueden diferenciar considerablemente uno de otros, puesto que cada uno adapta sus prácticas para satisfacer necesidades ambientales y económicas específicas. Sin embargo, hoy en día se acepta ampliamente que la agricultura orgánica no representa un retorno a los métodos previos a la revolución industrial, sino más bien combina las técnicas agrícolas conservacionistas tradicionales con tecnologías modernas. Los agricultores que aplican este sistema usan equipos modernos, semillas certificadas, prácticas de conservación del suelo y agua y las últimas innovaciones relacionadas con la alimentación y cría de ganado. Los elementos más comunes de los sistemas de cultivo orgánico son los siguientes (Roberts 1992):

1. La acumulación de materia orgánica en el suelo
2. La eliminación de productos químicos potencialmente tóxicos como pesticidas, herbicidas y fertilizantes
3. El uso de leguminosas como principal fuente de nitrógeno
4. La aplicación de fertilizantes naturales
5. El uso de la rotación de cultivos para reducir al mínimo el daño producido por plagas y malezas
6. La incorporación de una diversa gama de cultivos con el fin de alcanzar mayor estabilidad
7. La integración del cultivo arbóreo con la explotación ganadera para lograr un sistema natural equilibrado
8. El almacenamiento de agua con el objeto de utilizar las precipitaciones y evitar así el escurrimiento innecesario.

Tabla 8.1. Esquema de prácticas agrícolas alternativas disponibles (adaptado de Coleman 1989).



Características de la agricultura orgánica

La diferencia más importante entre la agricultura orgánica y la convencional radica en que los agricultores orgánicos evitan o restringen el uso de fertilizantes y pesticidas químicos en sus prácticas agrícolas, mientras que los agricultores convencionales pueden usarlos extensivamente (Oelhaf 1978). De hecho, los agricultores orgánicos utilizan maquinaria moderna, las variedades de cultivo recomendadas, semilla certificada, manejo perfecto del ganado, las prácticas recomendadas para la conservación del suelo y del agua e innovadores métodos de reciclaje de desechos orgánicos y manejo de residuos.

Los programas de investigación sobre los sistemas de cultivo orgánico fueron muy limitados hasta comienzos de la década de los ochenta. Estudios pioneros realizados por Oelhaf (1978), Lockeretz et al. (1978, 1981), Pimentel et al. (1983) y USDA (1980) referentes a la agricultura orgánica en Estados Unidos proporcionan la comparación más detallada entre los sistemas agrícolas orgánicos y los convencionales. Dichos estudios concluyeron que:

1. En los predios orgánicos las cosechas de maíz y soya fueron inferiores a las de los predios convencionales en cerca de un 10% y un 5% respectivamente. En condiciones de crecimiento muy favorables, las producciones convencionales resultaron considerablemente mayores que las orgánicas. Sin embargo, en condiciones más secas, los agricultores orgánicos obtuvieron resultados similares o mejores que sus contrapartes convencionales. Una vez que se estableció la rotación de cultivo (3 ó 4 años), las producciones de los predios orgánicos comenzaron a aumentar, de manera que se acercaron a las de los métodos convencionales.

2. Los predios convencionales consumieron una cantidad de energía considerablemente mayor que los predios orgánicos, debido más que nada al mayor uso de sustancias petroquímicas. Además, desde el punto de vista del consumo energético, los predios orgánicos fueron mucho más eficientes que los convencionales. Los investigadores concluyeron que en los predios orgánicos seleccionados en 1974 y 1975, la tasa de energía de entrada/salida (eficiencia) para la producción de maíz fue de 13 y 20 respectivamente, mientras que en los convencionales fue de 5 y 7 respectivamente. Entre 1974 y 1978 la energía que consumieron los predios orgánicos para producir una cosecha valorizada en dólares alcanzó sólo cerca de un 40% de las convencionales. Aunque los predios orgánicos obtuvieron rendimientos menores que los convencionales, sus costos operacionales también fueron inferiores de manera que resultaron casi equivalentes desde un punto de vista monetario. Como resultado de lo anterior, los ingresos netos de producción en ambos tipos de predios fueron casi iguales todos los años excepto uno. El uso de nitrógeno fijado biológicamente y desechos orgánicos reciclados por parte de los agricultores orgánicos redujo considerablemente el consumo de energía en la producción agrícola orgánica. Sin embargo, parte de ese ahorro, incrementado por la reducción en el uso de fertilizantes, se puede ver compensado por el mayor uso de combustible y maquinaria en las labores de abono y cultivo. Un estudio comparativo en cuanto al uso de la energía fósil, la mano de obra y los insumos externos para la producción de maíz, trigo, papas y manzanas mediante el uso de tecnologías orgánicas y convencionales dio como resultado que la eficiencia energética en ambos sistemas de producción varió de acuerdo con el sistema de cultivo que se utilizó (Pimentel et al. 1983). Dichos resultados indicaron que la producción de maíz y trigo orgánicos fue entre 29% y 70% más eficiente energéticamente que la producción convencional. Por el contrario, las téc-

nicas orgánicas resultaron entre un 10% y un 70% menos eficientes desde un punto de vista energético que las técnicas convencionales para producir papas y manzanas. La pérdidas por plagas y enfermedades también aumentaron cuando no se aplicaron pesticidas a los cultivos.

3. Muchos predios orgánicos se encuentran altamente mecanizados y sólo requieren un poco más mano de obra que los predios convencionales. Los requerimientos de mano de obra alcanzaron un promedio de 3,3 horas-hombre por acre en los predios orgánicos y 3,2 horas-hombre por acre en los convencionales. No obstante, de acuerdo con el valor de la cosecha producida, los predios orgánicos requirieron un 11% más de mano de obra, puesto que su producción fue inferior (Lockeretz et al. 1978, 1981). En este estudio, las necesidades de mano de obra de los agricultores orgánicos resultaron similares a las de los agricultores convencionales para el maíz y los granos pequeños, pero mayores para la soya, ya que fue necesario más desyerbe manual. Otros estudios (Oelhaf 1978, Lockeretz et al. 1975) indican que los predios orgánicos generalmente necesitan más mano de obra que los convencionales, aunque de hecho hay excepciones. La cantidad de mano de obra que se requiere para cultivar orgánicamente constituye una limitación crucial para la expansión de algunos predios orgánicos y un importante factor disuasivo para aquellos agricultores convencionales que consideran la posibilidad de adoptar los métodos orgánicos.

De todas maneras, el cultivo orgánico conserva los recursos naturales y protege más el medio ambiente que la agricultura convencional. El aumento de la presión pública en cuanto a la conservación del suelo y agua y la protección del medio ambiente ha generado un aumento del interés mundial por las prácticas de cultivo orgánico.

Se han llevado a cabo estudios y evaluaciones más recientes sobre la agricultura orgánica, entre los cuales se cuentan el informe del National Research Council (NRC 1984) sobre Agricultura Alternativa y el texto de Lampkin (1992) sobre Agricultura Orgánica. La principales conclusiones del NRC fueron:

1. Los sistemas agrícolas bien manejados casi siempre utilizan menos fertilizantes, antibióticos y pesticidas químicos sintéticos por unidad de producción en comparación con los predios convencionales. El uso reducido de estos insumos disminuye tanto los costos de producción como la posibilidad de efectos ambientales y salubres adversos de la agricultura, pero sin necesariamente reducir (en algunos casos los aumenta) los rendimientos de los cultivos por acre y la productividad de los sistemas de manejo de ganado.

2. Las prácticas alternativas de cultivos por lo general requieren más información, entrenamiento, tiempo y habilidades de manejo por unidad productiva que la agricultura convencional.

3. Muchas políticas gubernamentales desalientan la adopción de sistemas y prácticas alternativas y penalizan económicamente a aquellos que adoptan rotaciones, aplican ciertos sistemas de conservación del suelo o intentan reducir las aplicaciones de plaguicidas.

Sistemas de cultivo

La mayoría de los sistemas de cultivo orgánico incluyen una rotación basada en las leguminosas utilizadas como abono verde o cultivos de cobertura (Parr et al. 1983). Las pautas para la planificación de secuencias de cultivos en la rotación se basa en la selección de cultivos balanceados que sean:

- Apropriados para el tipo de suelo local
- Cultivados con éxito en el área
- Cosechados fácilmente con equipo disponible

La selección de la proporción deseada de cultivo invierno: verano y la siembra de leguminosas en suelos con baja concentración de nitrógeno son esenciales para una buena rotación. Luego de las leguminosas o el barbecho, se siembran cultivos ricos en proteína. Se toma en consideración la micorriza de cada cultivo en la secuencia, y en regiones templadas se recomienda no volver a cultivar trigo durante 5 ó 6 años en presencia de nemátodos. La práctica usual consiste en alternar un cultivo tipo abono verde con un cultivo que requiera mucho nitrógeno (maíz, trigo, sorgo).

Por ejemplo, en la zona maicera de Estados Unidos, la rotación típica de un predio orgánico consistiría en 3 años de alfalfa, 1 año de maíz (o trigo), 1 año de soya, 1 año de maíz, 1 año de soya y luego nuevamente alfalfa. Las leguminosas forrajeras proporcionan una fuente de nitrógeno fijado biológicamente para el sistema orgánico. Luego, el forraje se da como alimento a los animales en lugar de comercializarlo directamente, reduciendo de esta manera al mínimo la salida de nutrientes fuera del predio. La productividad del suelo también es incrementada mediante la reincorporación a la tierra del abono animal junto con los rastrojos del cultivo.

Otro ejemplo lo constituye una rotación típica de siete temporadas compuesta por tres temporadas de alfalfa y su incorporación al suelo, seguida de cuatro temporadas de cultivos cosechables: una de trigo, luego una de soya, otra de trigo y finalmente una de avena. Luego, el ciclo puede comenzar nuevamente. En la primera temporada de cultivo, el trigo al crecer absorberá una parte del nitrógeno producido por la alfalfa; la soya, dado que es una leguminosa, agotará mucho menos el nitrógeno del suelo. Se deja la avena para el final del ciclo, porque requiere menos nutrientes que el trigo.

Prácticas culturales

La mayoría de los agricultores orgánicos utilizan arados de disco o de cincel, que tienden a mezclar el suelo en lugar de invertirlo. Además, practican la labranza superficial (6 a 10 cm de profundidad), que tiende a retener los residuos del cultivo y los abonos en o cerca de la superficie del suelo. Con la labranza superficial, los residuos del cultivo protegen la superficie del suelo, de manera que fomenta la infiltración y el almacenamiento de agua y reduce la erosión del suelo y el escurrimiento de nutrientes. Los agricultores orgánicos que han logrado éxito acentúan la importancia de la labranza y siembra oportuna con miras al manejo de malezas y la mantención de un buen mullimiento del suelo. Algunos agricultores orgánicos recurren a la siembra tardía para controlar las malezas y aumentar la mineralización de la materia orgánica y la liberación de nutrientes vegetales (Parr et al. 1983).

La adición regular al suelo de rastrojos, abono y otros materiales orgánicos es otra característica básica de la agricultura orgánica. La materia orgánica mejora la estructura del suelo, aumenta su capacidad para almacenar agua, intensifica la fertilidad y mejora el mullimiento o condición física del suelo. Mientras mejor sea el mullimiento, más se facilita la labranza y con mayor facilidad emerge la plántula y se entierran las raíces. La infiltración del agua resulta más expedita en los suelos bien mullidos, reduciendo al mínimo el escurrimiento superficial y la erosión del suelo. La materia orgánica también sirve de alimento a las lombrices de tierra y a los microorganismos del suelo (Reganold et al. 1987).

En los predios orgánicos, las malezas e insectos son controlados principalmente con métodos no químicos, pero con diferentes grados de eficacia (USDA 1980). Los agricultores orgánicos de California combinan técnicas de cultivos tales como la cultivación, rotación de cultivos, cultivos inundados, cultivos trampas, el riego y la solarización (mulch con cubierta plástica), con un programa balanceado de manejo de suelo con materia orgánica y uso de agentes biológicos de control para manejar las plagas y enfermedades (Altieri et al. 1983a).

Las malezas son generalmente un problema mayor que los insectos. Los métodos orgánicos de control de malezas incluyen rotaciones de cultivos, labranza, segado, praderas, cultivos competitivos, cultivos intercalados, siembra y trasplante oportuno, espaciamiento intensivo de cultivos y algo de desmalezaje manual. En McLeod y Sweezy (1980) se presenta una descripción de los métodos utilizados por los agricultores orgánicos de California para el control de malezas. En cultivos en hileras, las malezas son controladas por medios mecánicos y/o animales tanto antes como después de la siembra. La mayoría de los agricultores están familiarizados con los ciclos vitales de sus cultivos y el tiempo de su cultivación con el objeto de aumentar al máximo el estrés de la maleza. En el Valle Anderson al norte de California, un agricultor obtuvo cosechas aceptables de maíz dulce, manteniéndolo libre de malezas sólo durante las primeras cuatro semanas posteriores a la emergencia del cultivo. Varios horticultores han descubierto la utilidad del transplantador con inyección hidráulica Hydro-Synchron para establecer una cama libre de malezas (Altieri et al. 1983a).

La siega y/o rastra mecánica son los métodos más comunes utilizados para el control de malezas en huertos y viñedos en condiciones de secano. Algunos agricultores han obtenido resultados estimulantes mediante el uso de segadores articulados. Otros agricultores siembran alfalfa u otros tipos de cultivos de cobertura a modo de cubierta permanente del huerto, que siegan una o dos veces al año (Altieri et al. 1983a).

En muchos cultivos agrícolas, los agricultores orgánicos han controlado adecuadamente los insectos en muchos cultivos mediante rotaciones selectivas y la liberación de depredadores naturales de insectos. Algunos agricultores han experimentado grandes dificultades para controlar con métodos no químicos a los insectos en los cultivos de hortalizas y frutales. Los agricultores generalmente favorecen las combinaciones de insecticidas orgánicos con métodos biológicos de control de plagas (USDA 1980). Entre los insectos benéficos que se liberan generalmente se encuentran Crisopas, avispas *Trichogramma*, ácaros depredadores, coccinélidos, parásitos de la mosca blanca de los invernaderos *Encarsia formosa*, depredadores de plagas del maíz, parásitos de escamas negras y rojas y parásitos del gusano rosado del maíz y del algodón, que se adquieren en los insectarios locales.

Los insecticidas más usados son los agentes microbiológicos, insecticidas botánicos, aceite, jabones y tierra de infusorios. Los insecticidas microbiológicos tales como *Bacillus thuringiensis* (BT), *Nosema locustae* y el virus de la polyedrosis nuclear (NPV) atraen a los agricultores debido a su selectividad. El BT se utiliza contra larvas de lepidópteros que se alimentan de hojas y frutos, por ejemplo, el gusano del tomate, el gusano del repollo, la polilla de la col, las larvas de los esfíngidos, el gusano de la manzana y muchos otros. La enfermedad causada por *Nosema* se produce en las langostas. El NPV se utiliza contra el gusano del algodón y el gusano del tabaco. En algunos huertos orgánicos de manzanas se ha probado con resultados

alentadores el uso del virus granuloso para controlar al gusano de la manzana (Falcon et al. 1968). Los insecticidas botánicos incluyen rotenona, piretrina, irania, sulfato de nicotina, cebadilla, neem, cuasia y ajeno. Se prefiere su utilización antes que a las sustancias químicas sintéticas, porque son naturales, menos tóxicos y se descomponen relativamente rápido en el medio ambiente.

Muchos agricultores usan aceites minerales para asfixiar los huevos de varios insectos. Los aceites minerales y la rotenona han sido utilizados contra la polilla del manzano. Recientemente se han probado contra este gusano fórmulas a base de jabón, con diversos resultados. La mayoría de los fruticultores usan trampas de feromona para vigilar las poblaciones de plagas de polillas adultas, o contratan expertos en el manejo de plagas para realizar reconocimientos y vigilancia de plagas en el campo.

Los fungicidas se pueden utilizar para prevenir enfermedades. Incluyen el azufre, caldo de bordes, minerales de extracción como cobre y carbonato de calcio, y otras formulaciones hechas a base de ajo, corregüela y cal hidratada. Los horticultores consideran que la aplicación de un pulverizador foliar a base de emulsión de pescado justo antes de que las hojas caigan ayuda a su descomposición y a prevenir la aparición de sarna de las manzanas y otras enfermedades cuyas esporas invernan en las hojas. La sarna y el mildiú blanco de las cucurbitáceas también se pueden prevenir mediante la aplicación de carbonato de azufre/calcio antes y durante las lluvias de primavera.

La mayoría de los agricultores orgánicos también expresan que una alta proporción de humus en el suelo fomenta la resistencia del cultivo frente a plagas y agentes fitopatógenos de las plantas, puesto que las plantas cultivadas orgánicamente son más sanas que las fertilizadas con productos comerciales, y por lo tanto, son más resistentes a los ataques (Bezdicsek y Powers 1984). Se ha llevado a cabo muy poca investigación para comprobar esta teoría, pero Culliney y Pimentel (1986) encontraron que las densidades poblacionales tardías en la temporada, de pulguitas, pulgones alados y larvas en coles fertilizadas con sedimento de aguas servidas fueron significativamente inferiores que en coles fertilizadas químicamente.

Nutrición de las plantas y materia orgánica del suelo

La clave para mantener la fertilidad del suelo en un sistema orgánico radica en el aumento de la eficiencia del flujo de nutrientes de un estado fijo a uno soluble. De esta manera, los agricultores obtienen nitrógeno adecuado y mantienen un alto nivel de materia orgánica del suelo para asegurar la máxima productividad del suelo. La principal fuente de nitrógeno en los sistemas agrícolas orgánicos la constituye el nitrógeno atmosférico fijado por bacterias asociadas con leguminosas. En algunos casos se utilizan fuentes de abono u otros desechos orgánicos provenientes del exterior del predio. Cualquier déficit de nitrógeno es disminuido principalmente mediante el nitrógeno residual del suelo, el reciclaje de abono animal y rastrojos vegetales, y la mineralización de materia orgánica del suelo. Los materiales que tienen poca solubilidad en el agua, como la roca fosfórica o la arenisca verde (glauconita), son las fuentes preferidas de fósforo y potasio respectivamente. Las fuentes de fosfato acidulado se utilizan en ocasiones cuando no existe la roca fosfórica.

Un estudio realizado por el USDA (1980) indica que un gran número de agricultores orgánicos aplican a las hojas de muchos cultivos productos a base de emulsión de pescado y algas marinas con la esperanza de que estos productos proporcionen por vía estomacal elementos esenciales para el crecimiento, protección de las plantas y para incrementar las cosechas.

La mayoría de los agricultores orgánicos consideran que la cantidad de materia orgánica del suelo se encuentra estrechamente relacionada con la productividad del suelo y el control de la erosión. De manera que aplican frecuentemente abono animal y usan abonos verdes y cultivos de cobertura para mantener la materia orgánica del suelo. El estiércol en ocasiones es transformado en compost, dispuesto en hileras al aire libre o en pilas estáticas anaeróbicas. Los agricultores que cultivan manzanas en California por lo general agregan a sus huertos dos toneladas de compost y media tonelada de caliza por acre al año (Altieri et al. 1983a). Mientras que la incorporación al suelo de residuos del cultivo es una práctica común en la mayoría de los predios, algunos agricultores incluso cambian los rastrojos de un lugar a otro del predio para aumentar el nivel de materia orgánica donde haga falta.

Debido a la gran diversidad de técnicas, clima, suelo, prácticas de control, sistemas de cultivo y otros factores, a menudo resulta difícil hacer una comparación entre el ciclo del nitrógeno en sistemas orgánicos y convencionales. Sin embargo, es posible sacar algunas conclusiones generales (Power y Doran 1984):

- Las técnicas agrícolas orgánicas tienden a conservar el nitrógeno en el sistema suelo/planta, lo que da como resultado la formación de nitrógeno orgánico del suelo.
- Los suelos manejados orgánicamente poseen más microorganismos y recientes niveles de nitrógeno potencialmente mineralizable.
- La tasa neta de mineralización de nitrógeno en los suelos orgánicos a menudo es más lenta, lo que frecuentemente da como resultado una leve carencia de nitrógeno en períodos de rápida captación del elemento.
- La presencia de residuos orgánicos ayuda a reducir las pérdidas de nitrógeno del agroecosistema orgánico.
- Los efectos de la agricultura orgánica sobre el ciclo del nitrógeno son más notorios en la superficie del suelo.

Estudios de caso de la agricultura orgánica en California

Producción de arroz orgánico

Los mejores ejemplos de producción de arroz orgánico en California son los predios de los hermanos Lundberg y el de los Harters cerca de Chico. Los Lundberg dedicaron cien acres a la producción de arroz orgánico en los que se practica una rotación de dos años que alterna arroz con veza morada (*Vicia benghalensis*) y barbecho. La semilla de arroz seca es sembrada directamente en el suelo hasta que se disponga de la humedad necesaria para germinar, momento en el cual se efectúa un «flushing» (regado breve y rápido).

Después de la germinación, y hasta que el arroz alcance una altura de 5 a 10 cm aproximadamente, los Lundberg dejan que el suelo se seque un poco. Cuando el arroz comienza a mostrar una inminente falta de humedad, el campo es regado nuevamente. Una vez que las plantas de arroz se han estabilizado totalmente (7,5 a 13 cm de alto), los campos se mantienen inundados hasta que se drenan como preparación para la cosecha (3 a 4 semanas antes), de manera que el suelo se seque lo suficiente para soportar la maquinaria cosechadora.

Durante el año de barbecho no se obtiene cosecha alguna. En lugar de ello, la veza morada se siembra el otoño siguiente a la cosecha del arroz y se vuelve a sembrar el otoño siguiente al año del barbecho. Normalmente la veza crece bastante lento du-

rante el otoño y permanece latente durante las frías temperaturas del invierno, pero alrededor de Abril o Mayo generalmente ha formado bastante follaje que constituye un excelente abono verde o mulch. La veza proporciona cerca de 60 a 65 Kg. de nitrógeno por acre. En la primavera del año de barbecho la veza es segada e incorporada al suelo junto con la paja de arroz ya bastante descompuesta. Luego, el campo es nivelado con láser e inundado y labrado superficialmente de manera alternada, con una herramienta para controlar malezas. En algunos años, dependiendo de la población de malezas, un barbecho puede ser tratado con incluso tres ciclos de inundación y labranza.

En la primavera del año en que corresponde sembrar el arroz, se corta el follaje de las leguminosas, y junto con la paja de arroz en avanzada descomposición, deja una capa protectora sobre el suelo. Luego se utiliza una pesada perforadora de no labranza para sembrar semilla de arroz en dicha capa. La perforadora deja el suelo desnudo sobre las hileras angostas (cerca de 20 cm de distancia) en la que se siembra la semilla de arroz. Las áreas entre las hileras de arroz permanecen cubiertas con el mulch, lo que ayuda a controlar las malezas.

La razón fundamental para estas prácticas de manejo se basa en el control de malezas y plagas y en el mejoramiento de la fertilidad del suelo. Se supone que la capa protectora inhibe la germinación de las semillas de maleza y compensa así la desventaja de la siembra en seco (emergencia tardía de los cultivos de arroz), en comparación con la práctica convencional. La siembra en la capa de mulch seguida de la inundación intermitente en las primeras etapas del crecimiento y desarrollo del arroz, interrumpe también los ciclos vitales de las plagas acuáticas tales como la *Cecidomia*, el cangrejo o el renacuajo acuático del arroz, que necesitan del riego continuo para sobrevivir.

El pudrimiento del tallo (*Sclerotium oryzae*), una enfermedad fungosa que afecta al arroz en el norte de California no constituye un problema severo debido a los métodos que se usan para facilitar la descomposición de la paja y su incorporación al suelo. El daño producido por los gorgojos se previene mediante el riego intermitente durante las primeras etapas del crecimiento del arroz, un proceso que retarda la etapa anaeróbica de la irrigación (inundación permanente) hasta después que las plantas de arroz han alcanzado una altura de 15 a 20 cm aproximadamente. En esta etapa el gorgojo no daña el arroz. Las principales malezas como el pasto acuático se manejan mediante prácticas culturales y de rotación.

Este método orgánico de producción arrocera, que aún es experimental y que practican actualmente los Lundberg, tiene la ventaja de interrumpir el ciclo reproductivo de varias malezas y otras plagas y agentes patógenos, y elimina el uso de pesticidas. Su desventaja es que produce rendimientos (44,0 quintales por acre) y rentabilidades económicas significativamente más bajas, incluso en comparación con predios de todo el estado (73,5 quintales por acre), al ajustar los efectos de la rotación (Academia Nacional de Ciencia 1989).

Los Harter utilizan un sistema similar sólo que se basan en la veza lanuda (*Vicia dasycarpa*) para la rotación. Sólo producen arroz en 150 a 200 acres anualmente y reservan por dos años los 500 acres restantes de suelo cultivable para la formación de materia orgánica con la siembra de vezas. Aunque sus rendimientos son inferiores a los de los sistemas convencionales, sus ganancias superan las de los agricultores convencionales en US\$ 65 por acre aproximadamente, debido al mayor precio que obtienen por el arroz orgánico.

Producción de uva orgánica

Los Pavich tienen dos viñedos orgánicos en California: uno de 467 acres en Délano y otro de 142 acres en el Condado de Kern. Los Pavich aplican anualmente cerca de 2.000 toneladas de estiércol vacuno a todo su predio, proporcionando alrededor de 47 kg de nitrógeno, 43 kg de fósforo (P^2O^5) y 69 kg de potasio (K_2O) por acre. El compost es esparcido por pequeños carros que se mueven entre las hileras de las parras, lo que se traduce en cerca de 2,5 a 3,0 toneladas de uva por acre.

Para los microelementos, los Pavich se basan en una preparación especial, una mezcla producida por enzimas compuesta por materiales de desecho de pescado provenientes de una fábrica de pescado, más kelp (alga marina), mezcla que tiene una composición de 5-1-1 de NPK junto con calcio y micronutrientes. La mezcla es aplicada con un pulverizador foliar por lo menos una vez al año, con aplicaciones extras cuando las viñas se encuentran atacadas por plagas. Para el control de malezas, los Pavich usan métodos de no labranza con *Lolium perenne* y cultivo protector formado por malezas nativas cortadas periódicamente. También se utiliza el desyerbe manual entre las parras. Además, el cultivo de cobertura mantiene poblaciones de diversos insectos benéficos que se alimentan de las plagas en las viñas.

La principal plaga de sus viñedos es la saltarilla de la uva (*Erythroneura elegantula*), que a menudo es controlada por el parásito natural *Anagrus*. Desafortunadamente, este insecto es mucho menos eficaz contra una especie cercana de la saltarilla de la uva, la saltarilla jaspeada (*Erythroneura variabilis*), que en algunas zonas de California se está convirtiendo en una seria plaga de las uvas frescas. La mano de obra corresponde a cerca del 55% de los costos de producción previos a la cosecha de los Pavich, que alcanza un total de US \$2,20 por caja aproximadamente. Cerca de un 3% de sus uvas se venden en locales de alimentos naturistas, recibiendo entre un 12% y un 25% de sobreprecio. Es evidente que su producción orgánica de uvas es financieramente exitosa.

Conversión de la producción comercial de fresas al método orgánico

Al igual que muchos otros cultivos en California, la producción convencional de fresas ha enfrentado una serie de problemas. Una plaga importante, la arañita roja, *Tetranychus urticae*, ha desarrollado resistencia a la mayoría de los acaricidas registrados. Al mismo tiempo, están aumentando las restricciones reguladoras que afectan la disponibilidad y frecuencia del uso de controles químicos. Los agricultores siguen dependiendo de la fumigación del suelo y de la aplicación de nutrientes inorgánicos altamente solubles. Los costos de producción continúan en aumento.

Sin embargo, algunos productores de fresas han encontrado incentivos económicos y ambientales que los estimulan a convertir sus sistemas de producción de altos insumos en prácticas que dependan menos de los insumos externos. Dichos estímulos incluyen la sobrevalorización de los productos sin residuos por parte de los consumidores, menos restricciones reguladoras sobre los insumos orgánicos, e inferiores costos de producción de los sistemas orgánicos.

El equipo de investigación interdisciplinario de la Universidad de California en el Programa de Agroecología de Santa Cruz, ha desarrollado estudio de evaluación comparativa y simultánea de las variables que afectan el rendimiento en sistemas convencionales y en conversión orgánica (Gliessman et al. 1990).

Ellos iniciaron un estudio comparativo de muchos años sobre el proceso de conversión a prácticas agrícolas de bajos insumos para fresas.

Trabajando con un agricultor fresero a pequeña escala con experiencia en producción convencional, pero que también ha comenzado exitosamente la conversión a la producción orgánica legalmente certificada, en el otoño de 1987 los investigadores establecieron una producción anual de fresas en una parcela de 0,5 acres con un diseño en bloques de dos tratamientos con seis repeticiones : (a) manejo convencional y recomendado por la Extensión Cooperativa de la Universidad de California; (b) manejo sin insumos derivados de productos sintéticos de acuerdo con el Código de Salud y Seguridad de California y las disposiciones obligatorias de Certificación de los Agricultores Orgánicos de California. Los resultados del primer año de experimentación arrojaron las siguientes tendencias:

1. Los niveles de materia orgánica del suelo a una profundidad de 15 cm no fueron significativamente diferentes en ambos sistemas de producción.

2. No se observaron diferencias significativas en el pH del suelo entre los sistemas de producción.

3. Una determinación de la densidad del suelo a 10 cm de profundidad y a principios de la temporada no indicó diferencias significativas entre ambos sistemas.

4. Una prueba a comienzos de la temporada de las tasas de percolación del suelo y la capacidad de almacenamiento de agua no mostró diferencias significativas entre ambos sistemas. No se observaron diferencias importantes en el total de nitrógeno y fósforo disponible del suelo durante la temporada, pero en las muestras tomadas al principio (520 vs 400 p.p.m.) y en la mitad de la temporada (486 vs 381 p.p.m.) en el sistema de conversión, se detectaron niveles de potasio significativamente superiores. No se pudieron detectar grandes diferencias en la capacidad de intercambio de cationes.

5. En el sistema de producción convencional las temperaturas del suelo a profundidad radicular excedieron a la del sistema de conversión en hasta 2° C durante marzo. La cubierta de plástico transparente utilizada por el sistema convencional calentó el suelo con mayor eficacia que el plástico negro empleado en el sistema de conversión.

6. La cosecha de fruta comercializable para el sistema de conversión representó el 61% de la alcanzada en las parcelas manejadas convencionalmente. El desarrollo temprano de las plantas en el sistema de producción convencional dio como resultado mejores cosechas de fruta.

7. Las poblaciones de una plaga principal de la fresa, la arañita roja de dos manchas (*Tetranychus urticae*), fueron significativamente inferiores en el sistema convencional en relación con el de conversión durante siete semanas. La mayor densidad de población del sistema de conversión nunca superó el límite de daño económico estimado en 20 arañitas por hoja caída para la variedad de Chandler plantada en invierno. En los sistemas convencionales se aplicó tres veces acaricidas (a mediados de Marzo, a principios de Abril y a principios de Mayo) para controlar la arañita roja. Las poblaciones de ácaros depredadores fitoseidos (*Phytoseiulus persimilis*), un agente de control biológico que se introdujo, mostró una respuesta dependiente a la densidad a las poblaciones de arañita roja desde fines de Abril y durante Mayo en el sistema de conversión.

8. A principios de la temporada se produjo en las parcelas orgánicas una biomasa de malezas significativamente mayor, principalmente debido a la ausencia de fumigación con bromuro de metilo. Seis semanas después de sembrar, los lechos orgánicos fueron cubiertos con plástico negro, lo que suprimió exitosamente casi todo el crecimiento de maleza.

9. La fumigación del suelo y la aplicación de plaguicidas aumentó los costos de insumos no renovables en los terrenos convencionales, aunque el sistema de producción orgánico requirió más horas de trabajo de un tractor de 25 H.P. para el desmalezaje mecánico. Los costos de mano de obra fueron superiores en el sistema de conversión, especialmente para el tiempo de desmalezado adicional y de limpieza por unidad de cosecha. El precio diferencial para las fresas orgánicas permitió un margen de ganancia positivo (9% inferior al de la producción convencional), a pesar de los niveles más bajos de producción.

Sobre la base de los resultados anteriores, se harán modificaciones de manejo del sistema de conversión, entre ellos, el uso de cubiertas de lechos durante los primeros dos meses posteriores a la siembra, se aumentará la cantidad de enmiendas orgánicas del suelo, y se liberarán ácaros depredadores para el control de la araña roja. Además, los investigadores trabajan para establecer una estrategia correcta de manejo para el período de barbecho de verano entre las plantaciones anuales de fresas, con el fin de eliminar o manejar las colonias de enfermedades dañinas o de malezas, objetivo que generalmente se alcanza en los sistemas convencionales mediante la fumigación del suelo. Esta estrategia de manejo puede incluir cultivos de cobertura, solarización y correcciones del suelo.

Un resultado importante de estos estudios radica en comprender que el proceso de conversión de un sistema de producción de cultivo convencional basado ampliamente en los insumos sintéticos a base de petróleo, a un sistema orgánico de bajos insumos y legalmente certificable no es meramente un proceso de eliminación de insumos externos sin un reemplazo compensatorio o control alternativo que lo equilibre. Para dirigir la disposición de los flujos naturales necesarios para sustentar las cosechas en un sistema de bajos insumos se requiere un conocimiento ecológico considerable.

Conversión a la agricultura orgánica

El proceso de conversión de un sistema convencional de altos insumos a uno de bajos insumos externos es de carácter transicional, compuesto de cuatro fases (Figura 8.1):

1. Eliminación progresiva de insumos químicos.
2. Racionalización del uso agroquímico mediante el manejo integrado de plagas (M.I.P.) y nutrientes.
3. Sustitución de insumos agroquímicos, por otros alternativos de baja energía.
4. Rediseño diversificado de los sistemas agrícolas con un óptimo equilibrio de cultivos/animales que estimula los sinergismos, de manera que el sistema puede subsidiar su propia fertilidad del suelo, regulación natural de plagas y producción de cultivos.

A lo largo de las cuatro fases se guía el manejo para asegurar los siguientes procesos:

1. Aumento de la biodiversidad tanto del suelo como de la superficie.
2. Aumento de la producción de biomasa y el contenido de materia orgánica del suelo.
3. Disminución de los niveles de residuos de pesticidas y pérdida de nutrientes y agua.
4. Establecimiento de relaciones funcionales entre los diversos componentes agrícolas.
5. Óptima planificación de secuencias y combinaciones de cultivos y uso eficaz de los recursos disponibles a nivel local.

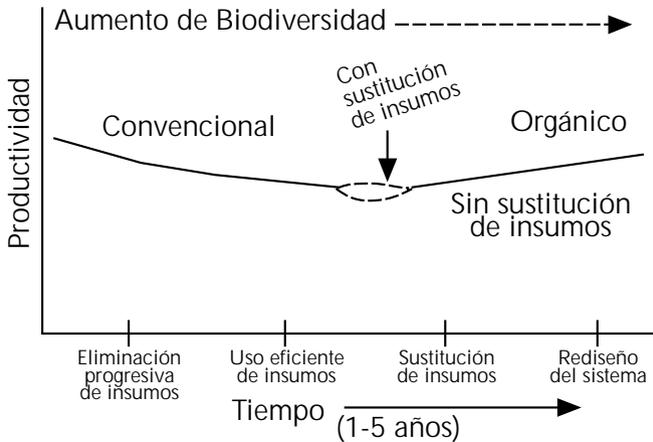


FIGURA 8.1 Fases productivas durante el proceso de conversión orgánico.

Es importante notar que en cualquier lugar los procesos de conversión toman de uno a cinco años, dependiendo del nivel de artificialidad y/o degradación del sistema original manejado con altos insumos. Además, no todos los intentos de sustitución de insumos son ecológicamente apropiados, puesto que ha quedado bien establecido que algunas prácticas ampliamente incentivadas por los entusiastas de la agricultura orgánica, como el desmalezaje a fuego y la aplicación de insecticidas botánicos de amplio espectro, pueden tener serios efectos colaterales e impacto en el medio ambiente. A fin de representar la complejidad y las implicancias financieras de este proceso de conversión, Lampkin (1990) analiza distintos modelos donde se han preparado presupuestos hipotéticos para varios predios, comenzando con un sistema convencional trabajando 5 años en este proceso hasta llegar a un final orgánico. Un ejemplo proporcionado, incluye un predio de 140 ha. arables de las cuales 136 ha. se pueden utilizar y cultivar. La rotación convencional normal consiste de trigo, cebada, calza oleaginosa. Es aquí donde puede surgir uno de los principales problemas respecto a la conversión de predios cultivables, pero en este caso se ha asumido que el agricultor acepta el iniciar una empresa ovejera en tierras bajas. La rotación propuesta para el sistema orgánico consiste de:

- Trébol rojo/ballica (2 años)
- Trigo de invierno (molino)
- Avena y arvejas (alimentos)
- Frijoles
- Trigo de invierno (alimento)
- Cebada de invierno

Durante la conversión la rotación podría entrar en dos instancias: en el primer año una con cebada primaveral, fertilizada y sembrada bajo suelo con cobertura para este período y en año cuatro con frijoles, seguido de trigo de invierno (con el cual se puede obtener una pequeña ganancia económica).

Los resultados están resumidos en la Figura 8.2. Si se incluyen las ganancias por cultivos normalmente, los presupuestos pueden predecir un aumento sustancial en el NFI (Ingreso Neto de Finca), como resultado de la conversión sin considerar la necesi-

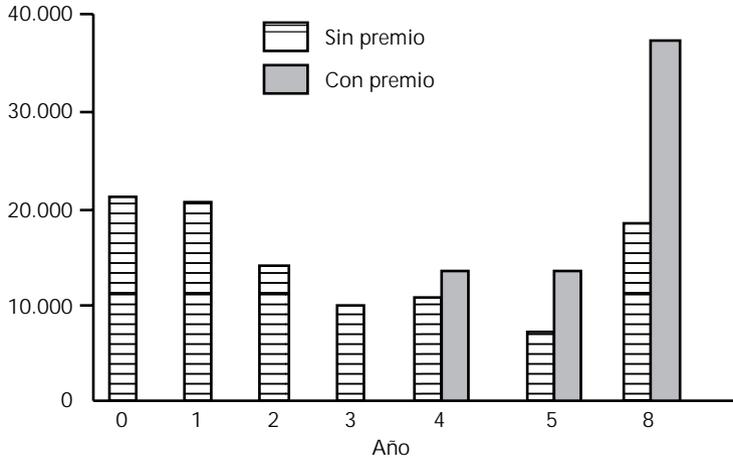


FIGURA 8.2 Cambio en el ingreso durante el período de conversión en una finca hipotética de 140 ha arables.

dad de emplear mayor mano de obra para satisfacer las necesidades de la nueva empresa de ganado. El análisis de sensibilidad muestra, sin embargo, cuán importantes son los «precios premio». Si no se consideran, resultaría una baja en el NFI al compararlo con la situación convencional inicial. El dinero pagado por el ganado no se ha incluido, pero el análisis de sensibilidad nos indica el impacto potencial, que podría tener sobre los resultados finales. Se requerirá además, considerar la inversión que significa la mantención de las ovejas, la compra de ganado de raza y el manejo y almacenamiento del abono.

Agricultura orgánica y fauna silvestre

La tendencia hacia la agricultura orgánica produciría una diversidad de tipos de cultivos y predios más pequeños, lo que beneficiaría a muchas aves tanto de caza como domésticas. Un hábitat agrícola diversificado en Dakota del Sur, con hileras de cercos, malezas y pantanos, mantuvo una población primaveral de 110 faisanes por sección (2,59 km²) en comparación con 21 faisanes por sección en un hábitat más simple en Nebraska, compuesto de trigo y cultivos en hileras. Una cubierta para anidaje provista por trigo de invierno, pasto y alfalfa (*Medicago sativa*), abarcó 37% del área total de tierra y produjo cerca de un 63% de todos los polluelos de faisán en el hábitat más simple de Nebraska. En Dakota del Sur, la cubierta de nidos, compuesta por avena (*Avena sativa*), pasto, alfalfa, cebada (*Hordeum vulgare*) y trigo constituyó cerca del 48% del área de tierra y produjo cerca del 54% del total de faisanes (Papendick et al. 1986). El incremento de las poblaciones de fauna silvestre en los agroecosistemas pueden dar como resultado un aumento del control biológico de ciertas plagas, y proporcionar una fuente extra de ingresos y nutrición si los agricultores practican la caza selectiva.

Restricciones a la agricultura orgánica

Aunque la mayoría de los análisis sugieren que la producción de cultivos orgánicos es energéticamente más eficiente que la producción convencional, existen varias

restricciones relacionadas con la adopción de tecnologías orgánicas. En primer lugar, la productividad de la mano de obra generalmente alcanza un promedio entre 22% y 95% menor en la producción convencional. Algunos investigadores pueden haber exagerado los datos sobre la mano de obra al incluir en ellos los requerimientos de mano de obra para el transporte y esparcimiento de abono, pero no hay duda que los insumos de mano de obra son considerablemente mayores para la agricultura orgánica. Lockeretz et al. (1981) calculó un aumento de 12% por valor de unidad de cultivo producido orgánicamente en comparación con la producción convencional, y Oelhaf (1978) calculó cerca de un 20% más de mano de obra para los cultivos orgánicos. Pimentel et al. (1983) concluyó que la productividad de la mano de obra fue de un 22% a 53% inferior en la producción de trigo y maíz orgánico. La productividad de la mano de obra para las papas y manzanas cultivadas orgánicamente fue de 61% a 95% menor que para la producción convencional. Todos estos estudios utilizaron diversos métodos para estimar los gastos de mano de obra y por lo tanto, no son del todo comparables. Históricamente, los agricultores norteamericanos han sustituido capital por mano de obra, y esta tendencia continúa hasta hoy (Buttel 1980a).

Otra restricción esta relacionada con la disponibilidad de las cantidades adecuadas de fertilizantes orgánicos tales como el estiércol (USDA 1980). Por ejemplo, sólo cerca de la mitad de los predios en Iowa poseen ganado, que podría ser una fuente de abono. Ello refleja la creciente tendencia de la agricultura norteamericana hacia la especialización (Pimentel et al. 1983).

Un estudio realizado por Blobaum (1983) concluyó que varios obstáculos desalientan a los agricultores convencionales sobre la adopción de métodos orgánicos. Los agricultores perciben la falta de acceso a información confiable sobre agricultura orgánica como una seria barrera para la conversión. La mayoría se basa principalmente en información proveniente de otros agricultores orgánicos y de fuentes no tradicionales como libros y revistas, representantes de empresas de fertilizantes orgánicos, y talleres o conferencias. Los agricultores orgánicos tienen gran interés en la investigación sobre muchos problemas, entre ellos, la necesidad de mejores prácticas de manejo de malezas. La mayoría de los agricultores adoptarían nuevas prácticas siempre que hubiera más información disponible respaldada por investigaciones serias.

Blobaum (1983) también descubrió que los agricultores orgánicos que usan mercados especiales se encuentran descontentos con problemas tales como pedidos pequeños, largas demoras en los pagos, retornos inadecuados para limpiar y sacar los granos, confusos estándares de certificación, dificultad para contactar compradores y el gasto de mantención de áreas especiales de almacenamiento dentro del predio. Una cantidad considerable de agricultores orgánicos tienen dificultades relacionadas con el acceso al crédito. Estos problemas, en la medida que existan, parecen comprometer a organismos gubernamentales de crédito agrícola.

Los beneficios económicos a largo plazo de la agricultura orgánica pueden no resultar evidentes para un agricultor que debe enfrentar pagos anuales de préstamos para producción. Muchos agricultores convencionales se encuentran bastante endeudados, en parte debido a grandes inversiones en maquinaria especializada y otros equipos, obligándolos a buscar métodos más convenientes. Hasta la fecha, la sociedad no ha otorgado a los agricultores un respaldo financiero ni los ha incentivado a optar por métodos orgánicos que podrían beneficiar al público. En la Tabla 8.2 aparece una lista detallada de restricciones a la adopción de la agricultura orgánica.

TABLA 8.2 Obstáculos para la agricultura orgánica (de acuerdo con Youngberg 1980).

Cantidad limitada de fósforo y potasio
Fuentes orgánicas limitadas de nutrientes vegetales
Restricciones a la fijación simbiótica de N como fuente de N
Fuentes de nutrientes de baja solubilidad
Demanda limitada por los alimentos orgánicos
Carencia de una comercialización organizada
Mayores costos de transporte por la dispersión geográfica de los productores
Producción reducida
Cultivos de baja rentabilidad en los sistemas de rotación
Pérdida económica durante la transición de la agricultura convencional a la orgánica
Mayor propensión a malezas e insectos
Mayores costos de mano de obra
Necesidad de aumentar al máximo la rentabilidad económica
Falta de crédito y financiamiento
Falta de comunicación y comprensión
Barreras de comportamiento y conocimiento inadecuado sobre los beneficios de la agricultura orgánica
Ambigüedad en los conceptos agrícolas orgánicos
Falta de información sobre la agricultura orgánica
Falta de variedades de cultivo adaptables

Implicancias de una conversión a la agricultura orgánica a gran escala en Estados Unidos

Langley et al. (1983) utilizó un modelo para calcular la manera en que una transformación total de la agricultura norteamericana hacia prácticas orgánicas afectaría la producción, los precios de abastecimiento, el uso de la tierra, los ingresos agrícolas y el potencial de exportación. Se realizó un cálculo de las cosechas de cultivos y los costos de producción en 150 regiones productoras y siete cultivos para ambos métodos. Su estudio concluyó en que una transformación total permitiría fácilmente a la nación producir cultivos suficientes para el consumo nacional; sin embargo, también sería necesario reducir las exportaciones de Estados Unidos. El ingreso neto del sector agrícola norteamericano resultaría superior con la agricultura orgánica, debido a los menores gastos de producción y mayores precios de abastecimiento de cultivos, pero dichos precios elevarían el costo del suministro alimentario nacional. El nivel inferior de producción con los métodos agrícolas orgánicos también implica que se reduciría la reserva productiva de la nación, lo que conduciría a algún grado de escasez en años con condiciones de crecimiento relativamente pobres, tanto a nivel nacional como internacional. Si se utiliza el ingreso neto como criterio, éste indica que sólo la parte sur oriental y las praderas sureñas del país sufrirían pérdidas con la agricultura orgánica.

Evaluaciones económicas más recientes sugieren que las ganancias de los predios orgánicos pueden exceder a la de los convencionales. Los ingresos en efectivo por acre para ambos tipos de predios resultaron comparativos durante dos años, pero debido a que los costos de insumos de la agricultura orgánica son inferiores, sus retornos netos son 22,4% mayores. Los costos variables incluyen aquellos relacionados con el combustible, mantenimiento de la maquinaria, semillas, fertilizantes,

plaguicidas y mano de obra. Entre los gastos fijos figuran los impuestos sobre los bienes y los intereses por préstamos (Figura 8.3).

Cuba: una transformación a nivel nacional hacia la agricultura orgánica

Desde que se rompieron las relaciones comerciales entre Cuba y el bloque socialista en 1990, las importaciones de plaguicidas se redujeron en más de un 60%; las de fertilizantes, en un 77%; y las de petróleo para la agricultura, en un 50%. De pronto, un sistema agrícola casi tan moderno e industrializado como el de California se vio enfrentado a un enorme desafío: la necesidad de doblar la producción de alimentos, reduciendo a más de la mitad los insumos, y manteniendo al mismo tiempo la producción de cultivos de exportación para no desgastar más la desesperada situación de las divisas del país.

A partir de 1989, el gobierno Cubano ha adoptado la política de promover una nueva ciencia agrícola más acorde con la escasez de recursos y la necesidad de auto-suficiencia alimentaria. Las tendencias de las últimas investigaciones en Cuba hacen hincapié en la comprensión y explotación de las poderosas capacidades de los organismos biológicos para realizar muchas de las tareas que hasta ahora han efectuado los productos químicos sintéticos. Los fertilizantes basados o derivados biológicamente y el control biológico de plagas constituyen el alma de esta nueva búsqueda de sistemas sofisticados de manejo biológico del agroecosistema (Rosset y Benjamin 1993).

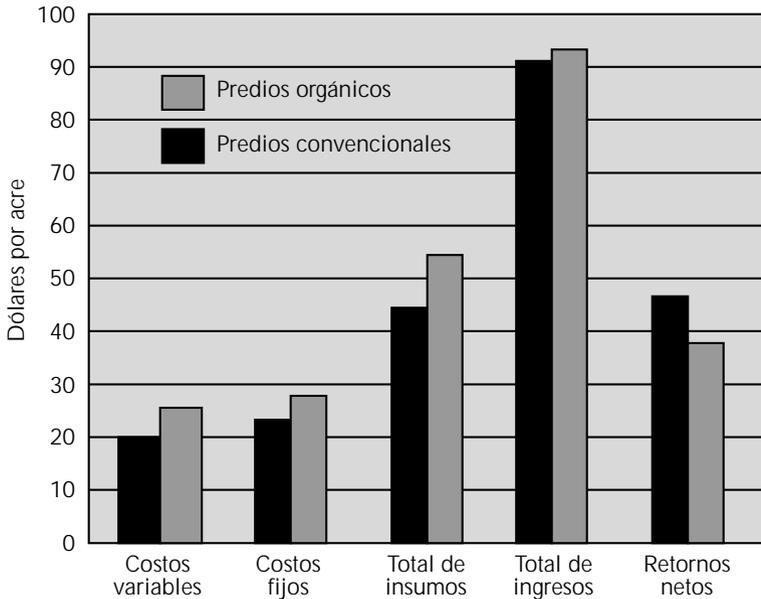


FIGURA 8.3 Comparación económica de agricultores orgánicos y convencionales (según Reganold et al. 1990).

Los objetivos de la política agraria durante este Período Especial, de lograr una agricultura que se sustente con bajos insumos petroquímicos sin reducir las cosechas, ha requerido una mayor reorganización en la estructura de la investigación y la extensión agrícola en Cuba, y el flujo de información. El menor énfasis en las tecnologías que requieren mucho capital y energía necesita nuevas relaciones entre los científicos, agentes de extensión agrícola y agricultores. El papel anterior de los científicos como generadores de paquetes tecnológicos innovadores, y el de los agentes de extensión como conducto de divulgación a los agricultores, está sufriendo un cambio evidente en favor de una sociedad tripartita respecto del desarrollo y la divulgación de los nuevos enfoques agrícolas.

Los científicos Cubanos se encuentran cada vez más confiados en la innovación y experimentación agrícola para desarrollar promisorias prácticas agrícolas orgánicas, como también para adaptar las técnicas desarrolladas en el extranjero. Ellos hacen hincapié en las tecnologías recuperadas o desarrolladas a nivel local, las que científicos y agentes de extensión promueven en una región más amplia; y tecnologías de bajos insumos utilizadas en otros países, que son promovidas para la experimentación e iniciativa local.

Una de las claves del nuevo modelo agrícola Cubano radica en encontrar maneras de reducir el uso de sustancias químicas para el control de las enfermedades de las plantas, plagas de insectos y malezas. El aspecto más interesante de los actuales esfuerzos Cubanos por controlar las plagas es en relación con los Centros para la Producción de Entomófagos y Entomopatógenos (CREE), donde se realiza una producción «artesanal» y descentralizada de agentes biocontroladores. A pesar de la limitación de recursos, el gobierno ha invertido su capital en la construcción y funcionamiento de estos centros. Hacia fines de 1992, se habían construido en Cuba 218 CREE para prestar servicios a agricultores estatales, de cooperativas y privados.

Los centros producen una cantidad de entomopatógenos (*Bacillus thuringiensis*, *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* y *Verticillium lecanii*), así como también una o dos especies de *Trichogramma*, dependiendo de los cultivos que se producen en cada área. Los CREE son mantenidos y manejados por técnicos locales (Tabla 8.3).

Actualmente, los científicos Cubanos también se dedican a varias otras líneas de investigación sobre el desarrollo de alternativas para los insecticidas convencionales, incluyendo el trabajo con nemátodos parasíticos y pesticidas botánicos. Hoy en día se encuentra en estudio un programa para desarrollar métodos confiables y efectivos desde un punto de vista monetario, para producción y aplicación en terreno de varias especies de nemátodos que atacan insectos; sin embargo, la producción masiva aún se encuentra en su etapa primaria. Los científicos también están seleccionando una gran cantidad de plantas con cualidades insecticidas, fungicidas, bactericidas y herbicidas. Parte de dichos esfuerzos incluye la labor de aplicación sobre el cultivo de extractos de dos especies de plantas que poseen conocidas cualidades insecticidas: Neem y Melia. Se han comenzado pequeñas plantaciones de Neem y Melia y están avanzando las investigaciones sobre la formulación y métodos de aplicación.

TABLA 8.3 Organismos biológicos para el control de las plagas insectiles en Cuba.

Organismos	Cultivos	Plaga Objetivo
<i>Bacillus thuringiensis</i>	repollo tomates berros pimienta	<i>Pieris</i> sp. <i>Heliothis</i> y <i>Spodoptera</i>
<i>Bacillus thuringiensis</i>	yuca yuca camote papa maíz tabaco	<i>Eyrnnis</i> sp. <i>Spodoptera</i> sp. <i>Spodoptera</i> sp. <i>Heliothis</i> sp.
<i>Beauveria bassiana</i>	plátano camote arroz cítricos	<i>Cosmopolites sordidus</i> Curculionidae
<i>Metarhizium anisopliae</i>	pastos arroz cítricos	Cercopidae Curculionidae
<i>Paecilomyces lilacinus</i>	guayaba café plátano	Nemátodos del género <i>Meloidogyne meloidogyne</i> Nemátodos, principalmente <i>Radopholus similis</i>
<i>Verticillium lecanii</i>	tomates pimienta pepinos zapallo papa frijoles	mosca blanca mosca blanca mosca blanca
<i>Trichogramma</i> sp.	pastos yuca	<i>Mocis</i> sp. <i>Eyrnnis</i> sp.
<i>Trichogramma</i> sp.	caña de azúcar	barrenador de caña
<i>Pheidole megacephala</i> , (hormiga)	camote	gorgojo

Tercera parte

Sistemas alternativos
de producción

Introducción a los sistemas alternativos de producción

En términos generales, la producción de un cultivo se puede aumentar, incrementando el área de siembra, aumentando el rendimiento por área en monocultivos (aumentando, generalmente, el uso de insumos) o sembrando más cultivos al año en términos de espacio y tiempo.

Cualquiera sea la estrategia a usar, el rendimiento del cultivo (Y) se ve influenciado por el manejo (M), medio ambiente (E) y el genotipo del cultivo (G) (Beets 1982; Zandstra et al. 1981): $Y = f(M, E, G)$

El manejo incluye arreglos en los cultivos en lo que se refiere a tiempo, espacio y técnicas culturales. El medio ambiente se ve comprometido por las variables climáticas y del suelo, modificables por intermedio del manejo. El genotipo del cultivo es inherente a la variedad elegida y a su rango de adaptabilidad. Usando este concepto, se pueden reconocer tres variables principales para aumentar el rendimiento en los monocultivos. La aplicación de cada estrategia dependerá principalmente de la eficacia de los conocimientos técnicos y de las relaciones principales (costo de los insumos y precio de los cultivos).

Aunque durante las últimas décadas se ha puesto gran énfasis en los aumentos de rendimientos de áreas unitarias a través del ahorro de mano de obra (mecanización) y tecnologías que ahorran tierras (fertilizantes, pesticidas), recientemente los científicos agrícolas se han dado cuenta que es importante, no sólo aumentar la producción de alimentos, sino que hacerlo usando de la manera más eficaz la energía y los recursos no renovables (Wittwer 1975). Algunos acercamientos provechosos a la tecnología agrícola, dignos de atención, se han llevado a cabo basados sólo en un proceso productivo de un sólo cultivo y sin considerar la totalidad del ecosistema. La Tabla III.1 muestra una lista de las prácticas experimentales y/o recomendadas para una producción eficiente en energía.

Para la mayoría, los intentos más integrados se dirigen hacia el aumentar la eficiencia fotosintética y el crecimiento del cultivo mediante (a) mejorar la arquitectura de la planta usando plantas C_4 o variedades con un alto índice de área foliar, adoptando eficientes modelos de siembra y estipulación hormonal fotosintética neta; (b) mejorar el manejo de los suelos mediante una labranza mínima, mulches de hortalizas vivas, cultivos de cobertura, aumento de la fijación del N^2 y uso de microrrizas; (c) manejo más eficiente del agua mediante irrigación gota a gota, mulching y cortavientos; y (d) manejo de las plagas con un enfoque ecológico. Estas tecnologías proponen cambios menores en uno o dos componentes del sistema, dejando la estructura del monocultivo intacta, pero sin estos pequeños cambios, no se puede progresar en forma realística desarrollando agroecosistemas sustentables.

 TABLA III.I Algunos enfoques tecnológicos para reducir los insumos energéticos en agroecosistemas.

Mejoramiento de la eficiencia energética

Mejoramiento de la arquitectura del follaje (i.e. hojas en disposición vertical) para mejor captación de luz
 Selección genética de variedades con alto índice de área foliar
 Disminución de la fotorrespiración y/o respiración nocturna
 Uso de variedades de período de crecimiento prolongado
 Enriquecimiento artificial de CO₂
 Estimulación hormonal de fotosíntesis neta
 Incorporación genética de mecanismos C4 y CAM en plantas C3
 Uso de patrones eficientes de siembra (i.e. orientación hileras N-S)
 Uso de mulch plástico que reflejan luz al envés de la hojas

Modificación Ambiental

Intercepción del viento con barreras o cinturones
 Control de heladas con barreras rompeviento, calentadores, riego, ventiladores, etc
 Control de la temperatura del suelo con mulch, o aplicación de carbón negro

Manejo del suelo

Selección genética de cultivos tolerantes a deficiencias nutricionales o toxicidad del suelo
 Uso eficiente de fertilizantes de acuerdo a necesidad de cultivos y colocación correcta de estos
 Uso de labranza mínima
 Uso de abonos orgánicos, compost, cultivos de cobertura, abonos verdes
 Rotaciones bien planificadas
 Fijación de N y selección correcta de bacterias fijadoras
 Selección genética de gramíneas capaces de fijar N
 Uso de Azola en la producción de arroz
 Utilización de micorrizas
 Uso de fuentes primarias de fertilizantes (i.e. roca fosfórica)

Manejo del agua

Riego por goteo
 Mulch, labranza mínima
 Mejorar contenido de materia orgánica del suelo
 Manejo de la cobertura del suelo
 Uso de barreras rompeviento
 Cosecha de agua
 Aplicación de cantidades requeridas de agua de acuerdo a necesidades del cultivo y contenido de humedad del suelo
 Reducción de pérdidas por evapotranspiración

Manejo integrado de plagas

Acciones preventivas: romper el monocultivo, uso de variedades resistentes, manipulación de fechas y densidades de siembra, rotación de cultivos, uso de cultivos trampa, monitoreo de poblaciones, diversificación de cultivos, etc.
 Acciones supresivas: control biológico, insecticidas botánicos, prácticas culturales, uso de trampas de feromonas, etc.

Sin embargo, si se amplían las fronteras para el manejo, yendo más allá del objetivo principal de control (i.e., problemas de plagas, deficiencia en los nutrientes del suelo, infestación de malezas) emerge todo un juego de nuevas disposiciones de manejo y diseño (Edens y Koenig 1981). Son de especial relevancia aquellas manipulaciones que pueden afectar en forma simultánea a varios componentes del sistema. Por ejemplo, los mejoradores que adoptan sistemas agronómicos nuevos (cultivos múltiples o sistemas agroforestales) pueden ejecutar varios objetivos de manejo de cultivos en forma simultánea, requiriendo a veces el casi no hacer uso de fertilizantes o pesticidas. Al sembrar intercaladamente heliotropo silvestre (*Heliotropium europaeum*) entre cultivos de leguminosas, las poblaciones de malezas se redujeron en un 70% como también la abundancia de plagas insectiles bajando el umbral eco-

nómico (Putnam y Duke 1978). Al introducir caléndulas francesas y africanas en campos de ciertos cultivos, las poblaciones de nemátodos se controlaron de forma efectiva, y la germinación de malezas tales como la maravilla, maleza lechón y otras malezas en Florida fueron también, parcialmente inhibidas (William 1981). Adaptaciones de este tipo dan un nuevo contexto para el manejo de los agroecosistemas, en donde la estabilidad depende de la manipulación del aparataje ecológico a fin de promover interacciones bióticas y sinergismos en los campos, para beneficiar a los campesinos (Altieri et al. 1983b). En los capítulos siguientes, los caracteres distintivos, ecológicos y agronómicos, más relevantes de cinco sistemas alternativos de producción, serán descritos.

Sistemas de policultivos

Matt Liebman

En muchos lugares del mundo, especialmente en los países en desarrollo, los agricultores realizan sus siembras en combinaciones (policultivos o cultivos intercalados) más que en cultivos de una sola especie (monocultivos o cultivos aislados). Hasta hace unos veinte años, los investigadores agrícolas, en general, ignoraban las características que caracterizaban a los policultivos. Sin embargo, recientemente, la investigación del policultivo ha aumentado y muchos de los beneficios potenciales de estos sistemas se han hecho más evidentes.

La enorme variedad de policultivos existentes refleja la gran diversidad de cosechas y prácticas de manejo que usan los agricultores en todo el mundo para suplir las necesidades de comida, vestido, combustible, medicamentos, materiales de construcción, forraje y dinero. Los policultivos pueden comprender combinaciones de cultivos anuales con otros anuales, anuales con perennes o perennes con perennes. Los cereales pueden cultivarse asociados a leguminosas y los cultivos de raíces asociados a frutales. Los policultivos se pueden sembrar en forma espaciada, desde la combinación simple de dos cultivos en hileras intercaladas hasta asociaciones complejas de doce o más siembras entremezcladas. Los componentes de un policultivo pueden sembrarse en la misma fecha o en otra diferente (cultivos de relevo); la cosecha de los distintos cultivos puede ser simultánea o a intervalos. Las descripciones de los diferentes sistemas de policultivos se encuentran en Papendick et al. (1976), Kass (1978), ICRISAT (1984), Beets (1982), Gómez y Gómez (1985), Steiner (1984), Francis (1986), y otros.

La prevalencia de los policultivos en el mundo

Los sistemas de siembra en policultivos representan una parte importante del paisaje agrícola en muchos lugares del mundo. Constituyen alrededor del 80% del área cultivada en África occidental (Steiner 1984) y predominan también en otras áreas de este continente (Okigbo y Greenland 1976). Gran parte de la producción de los cultivos básicos de las zonas tropicales latinoamericanas proviene de un sistema de policultivos: más del 40% de la yuca, 60% del maíz y 80% de los frijoles de aquellas regiones se cultivan combinados entre sí o con otros cultivos (Francis et al. 1976, Leihner 1983).

Los policultivos son muy comunes en áreas de Asia donde los principales cultivos son el sorgo, el mijo, el maíz, el arroz de secano y el trigo de secano (Aiyer 1949, Harwood y Price 1976, Harwood 1979a, Jodha 1981). El arroz de inundación generalmente se siembra en forma de monocultivo; sin embargo, en algunos lugares de Asia sudoccidental, los agricultores construyen camas elevadas para producir cultivos de secano entre las franjas de arroz (Suryatna 1979, Beets 1982).

Aunque los policultivos son frecuentes en áreas tropicales, donde los predios son pequeños y los agricultores carecen de capital o créditos para comprar fertilizantes sintéticos, plaguicidas y maquinarias agrícolas, su uso no se restringe a estas zonas. Los policultivos también se pueden encontrar en zonas templadas, en los predios más o menos extensos altamente mecanizados, con disponibilidad de capital. Algunos ejemplos: los pastos forrajeros y leguminosas que se siembran asociados a cultivos de maíz, soya, cebada, avena o trigo (Stewart et al. 1980, Vrabel et al. 1980, Hofstetter 1984, Scott et al. 1987, Hartl 1989, Samson et al. 1990, Power et al. 1991, Wall et al. 1991, Hesterman et al. 1992, Kunelius et al. 1992); la soya que se entresiembró con un cultivo de trigo en crecimiento (Reinbott et al. 1987); las arvejas de campo sembradas en combinaciones con granos pequeños para la producción de forraje o semillas (Johnston et al. 1978, Murray and Swenson 1985, Izaurralde et al. 1990, Chapko et al. 1991, Hall y Kephart 1991); la soya cultivada en hileras con maíz o girasoles (Radke and Hagstrom 1976, Francis et al. 1986); pastos y leguminosas sembradas como vegetación de cobertura en huertos de nueces y frutas (Altieri y Schmidt 1985, Bugg and Dutcher 1989, Bugg et al. 1990); y por último combinaciones de pastos/leguminosas para la producción de forraje (Heath et al. 1985).

Ventajas en la producción

Una de las principales razones por la cual los agricultores a nivel mundial adoptan policultivos, es que frecuentemente se puede obtener un mayor rendimiento en la siembra de una determinada área sembrada como policultivo que de un área equivalente, pero sembrada en forma de monocultivo o aislada. Este aumento en el aprovechamiento de la tierra es especialmente importante en aquellos lugares del mundo donde los predios son pequeños debido a las condiciones socioeconómicas y donde la producción de los distintos cultivos está sujeta a la cantidad de tierra que se pueda limpiar, preparar y desmalezar (generalmente en forma manual) en un tiempo limitado.

El mayor aprovechamiento en el uso de la tierra de un policultivo común en India, sorgo con guandul, se ilustra mediante los datos obtenidos a partir de los experimentos realizados por Natarajan y Willey (1981). Los investigadores encontraron que 0.94 hectáreas de monocultivo de sorgo y 0.68 hectáreas de monocultivo de guandul fueron necesarias para producir las mismas cantidades de sorgo y guandul que se cosecharon en un policultivo de 1.0 hectárea. El coeficiente de tierra equivalente (LER) del policultivo fue entonces $0.94 + 0.68 = 1.62$ (para mayor información acerca del concepto LER, vea Mead and Willey 1980). En este caso, el rendimiento de cada especie cultivada en la combinación, se redujo por competencia del cultivo asociado; pero el rendimiento total del policultivo, por unidad de superficie, fue un 62% mayor comparado con el de los monocultivos.

Siempre que $LER > 1$, un policultivo tiene un rendimiento mayor en un área determinada que el que se puede obtener de distintos monocultivos. Los valores de LER, obtenidos de ensayos realizados con una gran variedad de sistemas de policultivos, señalan que se pueden lograr considerables aumentos en la eficacia del uso de la tierra: 1.26 para mijo/maní (Reddy y Willey 1981), 1.38 para maíz/frijol (Willey y Osiru 1972), 1.53 para mijo/sorgo (Andrews 1972), 1.67 para maíz/guandul (Dalal 1974), 1.85 para cebada/haba (Martin y Snaydon 1982), 2.08 para maíz/ñame/camote (Unamma et al. 1985), y > 2.51 para yuca/maíz/maní (Zuofa et al. 1992). En el último caso se calculó solamente el valor LER para el maíz y la yuca; la producción

del cultivo intercalado del maní fue adicional. De este modo se necesitaron > 2.51 hectáreas de monocultivos para producir la misma cantidad de alimento que produjo el policultivo en 1,0 hectárea.

Aunque los agricultores a menudo trabajan con policultivos sin utilizar fertilizantes o plaguicidas, las ventajas en el rendimiento de los policultivos no están sujetas a una condición de bajos insumos. Se han dado a conocer altos valores de LER cuando se han usado grandes cantidades de fertilizantes y plaguicidas (Osiru y Willey 1972, Willey y Osiru 1972, Bantilan et al. 1974, Cordero y McCollum 1979). Esto es importante porque sugiere que los agricultores pueden seguir aprovechando mejor la eficacia de la tierra que otorgan los policultivos, mientras mejora la productividad de sus sistemas agrícolas.

Algunos investigadores sostienen que los altos valores de equivalencia de la tierra para combinaciones de cultivos con diferentes períodos de madurez, sobreestiman la aparente eficacia del uso de los policultivos, dado que varias siembras de corta duración se podrían cultivar secuencialmente con el mismo período de duración de un policultivo. Al parecer estas críticas no están del todo justificadas dado que los agricultores a menudo necesitan producir cultivos de larga y corta estación, que sólo pueden crecer normalmente, aun con riego en ciertas épocas del año (Balasubramanian y Sekayange 1990). Es más, los rendimientos de los policultivos, evaluados en términos de eficacia espacial y temporal, aún pueden mostrar, mayores ventajas sobre los monocultivos (como frijol/yuca, Leihner 1983; maíz/yuca, Wade y Sánchez 1984; maíz/guandul, Dalal 1974, Ofori y Stern 1987; maíz/soya, Dalal 1974, Ofori y Stern 1987; maíz/camote/frijol, Balasubramanian y Sekayange 1990).

En el futuro, la evaluación de las características de los policultivos puede incluir diferentes criterios, como la producción diaria por hectáreas de proteínas y calorías (Wade y Sánchez 1984). Estos indicadores se acercan mucho más al criterio usado por los agricultores para elegir los mejores sistemas de cultivo capaces de proporcionar diversos productos de alto régimen dietético para comerciar. También es importante señalar que los agricultores en muchos casos ponen más atención al rendimiento del cultivo principal, al cual han incorporado otras especies, para asegurarse que no fracase, controlar la erosión, mejorar la fertilidad de los suelos y controlar las malezas. En esta situación, la ventaja en el rendimiento del policultivo se muestra claramente al ser la producción del cultivo principal de la mezcla, igual o mayor al compararlo con el monocultivo. Por ejemplo, Obiefuna (1989) informó que al entresembrar el melón egusi en una plantación de banano se podrían aumentar las cosechas bananeras hasta en un 26%. Abraham y Singh (1984) notaron que al intercalar semilla de caupí con sorgo, aumentaba el rendimiento del sorgo en un 95%, como promedio.

La rentabilidad económica neta de los policultivos puede ser mayor que la de los monocultivos que crecen en áreas equivalentes. Norman (1977) estudió los sistemas de cultivos en el norte de Nigeria y encontró que cuando tomaba en cuenta en sus análisis el costo de mano de obra, la utilidad era de un 42% a un 149% mayor para los policultivos que para los monocultivos. Leihner (1983) notó que en Colombia se necesitaba más mano de obra para policultivos de yuca/frijol que para un cultivo aislado de yuca, pero que el ingreso neto de los policultivos era mayor. En experimentos llevados a cabo en Inglaterra, Salter et al. (1985) encontraron que al sembrar intercaladamente col de bruselas con repollos se podían obtener mayores márgenes y menores costos en insumos por unidad de producción, al compararlos con los respectivos monocultivos.

Se debería señalar que las utilidades de los sistemas de cultivos pueden variar considerablemente de un año a otro. Sanders y Johnson (1982) informaron que, en un año, el cultivo de frijol como monocultivo proporcionó mayores ganancias que el policultivo de maíz/frijol; sin embargo al año siguiente, cuando cambiaron los precios de ambos cultivos, las utilidades relativas de los dos sistemas se invirtieron. De esta forma, el rendimiento económico de los sistemas de policultivos necesita una mayor investigación, más que sólo unas pocas temporadas de cultivos.

La estabilidad de la producción

En sistemas agrícolas donde la subsistencia es el objetivo principal, reducir el riesgo de perder totalmente la cosecha parece ser tan importante como aumentar el potencial nutricional y las ganancias económicas (Lynam et al. 1986). La variabilidad en la producción de policultivos de cereales/leguminosas puede ser menor que la de sus componentes como monocultivos, tal como se descubrió en Grecia para combinaciones de trigo/leguminosa y avena/leguminosa (Papadakis 1941) y en India para combinaciones de sorgo/guandul (Rao y Willey 1980). Por consiguiente, la probabilidad de no tener nada para comer o vender es aparentemente menor cuando se utilizan combinaciones de cultivos. De hecho, Trenbath (1983) ha demostrado que para una determinada área de tierra, la probabilidad de que una familia deje de producir las calorías suficientes para subsistir es menor cuando esta área se encuentra sembrada con un policultivo de sorgo/guandul que cuando lo está con los mismos componentes, pero éstos como monocultivo. Francis y Sanders (1978), trabajando con maíz y frijoles, y Rao y Willey (1980), con sorgo y guandul, descubrieron que la probabilidad de exceder un «nivel específico de desastre en los ingresos» era mayor para los policultivos que para los monocultivos.

Trenbath (1976) y Burdon (1987) han sugerido que puede haber una compensación productiva entre los componentes del policultivo, de manera que si uno de éstos falla debido a una sequía, plaga u otro factor, se podría compensar al aumentar la productividad del otro componente(s). Kass (1978) cita un estudio realizado por Gliemeroth (1950) que ilustra este principio. Cuando los cultivos de avena se redujeron a causa de un ataque del gusano alambre, la producción de las arvejas sembradas con avena era mayor que la baja en la producción de avena; ésta última bajó hasta la mitad, mientras que la producción de arvejas aumentó cuatro veces. Existe una carencia general de datos que demuestre en forma concluyente este fenómeno de tipo compensatorio (Harwood 1979b, Burdon 1987). Se necesita mucha más investigación antes de asumir que la estabilidad creciente de la cosecha es una característica general de los policultivos; en aquellos casos, donde la estabilidad realmente aumenta, se requiere más investigación para entender el (los) mecanismo(s) de causa.

El uso de recursos

A medida que los investigadores dirigen sus investigaciones hacia los mecanismos de uso de recursos en poli y monocultivos, se hace más evidente que las ventajas de producción de los policultivos están a menudo asociadas con el uso de una mayor proporción de luz, agua y nutrientes disponibles (captación mayor de recursos) o con el uso más eficaz de una determinada unidad de recursos (mayor eficacia de conversión de recursos) (Willey 1990). Estas formas de mejorar la utilización de recursos

reflejan tres fenómenos: complementación en el uso de ellos, como también la facilitación entre especies y cambios en la partición de recursos.

Si las siembras se realizan con monocultivos que usan los recursos ambientales de distintas maneras, cuando se siembran juntas, pueden «complementarse» entre sí y hacer un mejor uso combinado de los recursos que por sí solas (Vandermeer 1989, Willey 1990). En términos ecológicos, la complementación minimiza el traslape de nichos entre las especies asociadas y, de tal forma, disminuye al mínimo la competencia por recursos. La complementación puede considerarse como *temporal* cuando las mayores demandas de recursos de los cultivos se producen en períodos diferentes; *espacial* cuando los doseles o raíces captan recursos en diferentes zonas; *fisiológica* cuando existen diferencias bioquímicas entre los cultivos en cuanto a sus respuestas frente a los recursos del medio ambiente.

Cuando la densidad total de la siembra es mayor en los policultivos que en los monocultivos, los primeros pueden interceptar más luz en las primeras etapas del desarrollo. Este fenómeno se ha observado en combinaciones de maíz con frijol mungo, maní o camote (Bantilan et al. 1974) en combinaciones de sorgo con caupí, frijol mungo, maní o soya (Abraham y Singh 1984). Los policultivos compuestos por cultivos con patrones no sincrónicos de crecimiento de doseles y diferentes períodos de maduración (como las combinaciones de sorgo/guandul estudiadas por Natarajan y Willey 1980), pueden proporcionar una mayor superficie de hojas a medida que transcurre la temporada del cultivo e interceptar más energía luminosa que los monocultivos.

La mayor cantidad de cobertura por doseles que producen los policultivos, puede disminuir la luz solar que alcanza la superficie del suelo, de manera que una mayor cantidad de agua útil para el suelo se canaliza como transpiración a través de los cultivos antes de perderse como evaporación proveniente del suelo; Reddy y Willey (1981) observaron este hecho en combinaciones de mijo/maní. El aumento de la cobertura del dosel producida por los policultivos, también puede aumentar la infiltración del agua de lluvia en el suelo y disminuir la erosión reduciendo el impacto de las gotas de lluvia en la superficie del suelo, como cuando se realizan combinaciones de maíz/yuca (Lal 1980) y de maíz/trébol rosado (Wall et al. 1991).

Los policultivos compuestos de especies con patrones de raíces espaciales complementarias pueden explotar un mayor volumen de suelo y tener un mayor acceso a nutrientes relativamente inmóviles como el fósforo (O'Brien et al. 1967, Whittington y O'Brien 1968). Los policultivos compuestos por especies que tienen patrones complementarios y temporales de crecimiento radicular y absorción de nutrientes, pueden capturar más nutrientes si éstos están continuamente disponibles gracias a la mineralización. Natarajan y Willey (1980) observaron este fenómeno en combinaciones de sorgo/guandul tal como lo hicieron Reddy y Willey en la mezcla de mijo/maní.

La complementación fisiológica puede manifestarse en policultivos compuestos de especies que utilizan procesos fotosintéticos C^4 y C^3 . El primer tipo de especies se adapta, a menudo, mucho mejor a los ambientes bien soleados, como por ejemplo la parte superior de los doseles en combinación, mientras que las últimas se adaptan mejor a condiciones más sombreadas (Willey 1990). Las combinaciones comunes de C^4/C^3 incluyen maíz/frijol, sorgo/guandul y mijo/maní. Esta complementación fisiológica también se observa respecto a la nutrición de nitrógeno. La fijación de nitrógeno atmosférico dado por los componentes leguminosos de los policultivos para

satisfacer sus propias necesidades, pueden dejar reservas de nitrógeno disponibles en el suelo para uso de los componentes no leguminosos asociados (deWit et al. 1966, Martin y Snaydon 1982, Ofori y Stern 1987). Aunque las ventajas en rendimiento de los policultivos son más notorias bajo condiciones de una menor disponibilidad nitrogenada del suelo (Hiebsch y McCollum 1987), éstas no necesariamente desaparecen cuando aumenta la fertilidad del nitrógeno. Las mayores ventajas en rendimiento de los policultivos se obtuvieron cuando el nitrógeno, como fertilizante, se aplicó en dosis consideradas como adecuadas para satisfacer completamente las demandas del policultivo (Osiru y Willey 1972, Willey y Osiru 1972).

La facilitación interespecífica se hace presente cuando especies que crecen en policultivo tienen acceso a recursos que no se encuentran en monocultivos, o cuando gozan de mejores condiciones en un hábitat teniendo como resultado una conversión de recursos más eficaz (Vandermeer 1989). Si una de las especies componentes de un policultivo es una leguminosa que porta la bacteria que fija el nitrógeno en sus raíces, el nitrógeno atmosférico puede transferirse a las no leguminosas asociadas e incrementar considerablemente su rendimiento (Ofori y Stern 1987). Agboola y Fayemi (1972) observaron este fenómeno en combinaciones de maíz/frijol mungo como también lo hicieron Kapoor y Ramakrishnan (1975) en combinaciones de trigo/*Trigonella polycerata* y Eaglesham et al. (1981) con maíz/caupí. El mejor aprovechamiento del uso del agua (valorada como CO₂ obtenido mediante la fotosíntesis /H₂O pérdida como transpiración) se ha notado en siembras de crecimiento lento cultivadas bajo el alero de cultivos superiores que actúan como cortavientos (Radke y Hagstrom 1976).

La facilitación entre especies es un rasgo característico importante de ciertos sistemas de cultivos en callejón, en los cuales las siembras anuales se intercalan entre hileras de perennes leñosas; siendo típico de la vegetación perenne el podarla para ser usada como mulch, forraje, materiales de construcción o leña. Se descubrió que el uso de una especie leguminosa arbórea, el *Gliricidium sepium*, como fuente de mulch y sistema vivo de sostén para ñames, aumentaba el rendimiento de los ñames al doble en Nigeria (Budelman 1990a, 1990b). Palada et al. (1992) informó de aumentos en la condición nutricional y productiva de los cultivos de cuatro hortalizas (*Amaranthus cruentus*, *Celosia argentea*, quimbobó y tomate) sembradas entre franjas de *Leucaena leucocephala*, otra especie leguminosa arbórea; los setos en hilera de *Leucaena* se usaron como mulch. Los cultivos anuales en asociación con árboles, pueden ser benéficos cuando las hojas de los árboles de raíces más profundas caen y se descomponen, liberando nutrientes, como ocurre con el mijo sembrado junto a árboles de *Acacia albida* (Charreau y Vidal 1965).

En los policultivos se pueden manifestar cambios en la partición de los recursos de manera tal que los mayores porcentajes del total de nutrientes y materia seca se fijan en la parte cosechable de los cultivos cuando éstos se encuentran combinados que cuando crecen separadamente (Willey 1990). Cuando esto ocurre, cada unidad de material obtenido a través de la fotosíntesis o de la absorción radicular produce para el agricultor un beneficio mayor en policultivos que en monocultivos. Por ejemplo, Natarajan y Willey (1981) observaron que las semillas constituían el 19% de la biomasa aérea del guandul cuando éste se sembraba en monocultivo; y 32% de su biomasa cuando se cultivaba en combinación con el sorgo. La mayor presencia de carbono y nutrientes en las semillas significó un mayor rendimiento en las plantas de guandul cultivadas intercaladamente, aun cuando su tamaño total se redujo por su

asociación con el sorgo. Los resultados obtenidos por Natarajan y Willey (1986) tienen un particular interés. Los investigadores descubrieron que los aumentos porcentuales de distribución en el sorgo, mijo y maní ocurridos al crecer en policultivos tenían una mayor connotación bajo condiciones de sequía. Los policultivos resultaron ser provechosos para el rendimiento de semillas cuando la escasez de agua influía con mayor rigurosidad sobre la productividad total de la planta.

Influencias de los policultivos

Efectos de los policultivos sobre los insectos plagas

Frecuentemente las plagas de insectos son menos abundantes en policultivos que en monocultivos. Andow (1991a) revisó 209 publicaciones de estudios agrícolas hechos sobre 287 especies artrópodos herbívoras y descubrió que el 52% de las especies de plagas estudiadas eran menos abundantes en los policultivos, el 13% no mostraba diferencias, el 15% era más abundante y el 20% mostraba una respuesta variable. Además señaló que el 53% de las especies de depredadores y parasitoides, que actúan como enemigos naturales de las plagas de insectos, eran más numerosas en policultivos que en monocultivos; el 9% de los enemigos naturales eran menos habituales, el 13% no mostraba diferencia y el 26% señalaba una respuesta variable en policultivos. Por lo tanto, el uso de los sistemas de producción en policultivos puede aumentar la importancia de parasitoides y depredadores como controles naturales de las poblaciones de plagas de insectos. Root (1973) calificó esta explicación acerca de la baja población de plagas de insectos en los policultivos como la «hipótesis de los enemigos» (*enemies hypothesis*).

¿Por qué habría mayor posibilidad de que existan más enemigos naturales de plagas de insectos en policultivos que en monocultivos? Andow (1991a) describe un número de posibles razones que incluyen: incrementos en la variedad y cantidad de fuentes disponibles de alimento, mejores condiciones del microhábitat, cambios en señales químicas que afectan la ubicación de las especies de plagas de insectos e incrementos en la estabilidad dinámica de poblaciones de depredador-presa y parasitoide-huésped (ver los ejemplos del capítulo 13). Estos factores pueden ayudar a mejorar el éxito en la reproducción, sobrevivencia y eficacia de los enemigos naturales.

Una segunda explicación respecto a la menor cantidad de plagas de insectos en policultivos que en monocultivos es la «hipótesis de concentración de recursos» de Root (1973): las plagas de insectos, especialmente las especies con un limitado índice de huéspedes, tienen mayor dificultad para ubicar y permanecer en las plantas huéspedes en sembrados pequeños y dispersos que para hacerlo en cultivos grandes y densos. Estos cambios en el comportamiento se deben quizás a la gran interferencia química y visual que existe con las señales usadas para la ubicación de la planta huésped o a las modificaciones del microhábitat y de la calidad de esta planta huésped (Andow 1991a). Los resultados de los estudios que sustentan la hipótesis de concentración de recursos, se describen en el Capítulo 13.

Pese al gran número de estudios que evidencian la menor abundancia de especies de plagas de insectos en policultivos, relativamente pocos han investigado si existe una correlación entre las poblaciones reducidas de plagas y la mayor productividad del cultivo. Andow (1991b) al revisar 6 estudios le permitió realizar 41 comparaciones entre las poblaciones de plagas y la productividad de los policultivos y monocul-

tivos, concluyendo que la disminución de estas poblaciones en los policultivos por lo general, pero no siempre, estaba correlacionada con el mayor rendimiento del cultivo. Es necesario que se investigue más para entender mejor los mecanismos ecológicos que afectan las poblaciones de plagas de insectos y su relación efecto/rendimiento sobre los sistemas de policultivos productivos.

Efectos de los policultivos sobre los agentes patógenos de las plantas

Aún se ha investigado poco acerca de la ecología y el manejo de los agentes patógenos de las plantas en los policultivos (Sumner et al. 1981). En algunos casos, la incidencia de las enfermedades demostró ser mayor en cultivos que se siembran en policultivos que en monocultivos; en otros casos ocurre lo contrario. Por ejemplo, en experimentos realizados en Costa Rica, Moreno (1975) descubrió que al comparar un monocultivo de yuca, la gravedad de la necrosis de la yuca era mayor cuando ésta se cultivaba con maíz, pero menor al cultivarla con frijoles o camotes. Moreno (1979) también encontró que la gravedad de la alternariosis angular en los frijoles era mayor cuando se asociaban con el maíz, pero menor con la yuca o el camote en comparación con un monocultivo de frijoles.

Sólo ahora los investigadores empiezan a comprender los mecanismos subyacentes que producen las enfermedades en diferentes sistemas de cultivos. Los siguientes aspectos de los policultivos pueden ser importantes para mejorar la salud de las plantas:

1. Las plantas de especies susceptibles se pueden cultivar con una menor densidad en policultivos que en monocultivos, pues el espacio entre ellas se puede ocupar con especies de plantas resistentes que son de gran valor para el agricultor. Esta menor densidad de las plantas susceptibles puede aminorar la propagación de enfermedades al disminuir la cantidad de tejido infectado y que posteriormente sirve como una nueva fuente de inoculación. En algunas enfermedades el sólo hecho de aumentar la distancia entre las plantas susceptibles mediante una reducción de su densidad, puede también disminuir la propagación del inóculo. Esto se advirtió en monocultivos y combinaciones de cebada y trigo expuestos a la necrosis de la cebada (Burdon y Whitbread 1979).

2. Las plantas resistentes diseminadas entre plantas susceptibles, pueden interceptar la diseminación del inóculo por el viento o el agua e impedir que las plantas susceptibles se infecten el efecto mosquitero. Moreno (1979) señaló este hecho como un mecanismo para explicar la menor incidencia del *Ascochyta phaseolorum* en caupí cuando este cultivo se sembraba asociado con maíz.

3. El microclima de los policultivos puede que sea menos favorable para el desarrollo de enfermedades. Se ha observado que varias enfermedades de la arveja han disminuido en su gravedad cuando las enredaderas están asociadas con cereales, que cuando permanecen enredadas en el suelo (Johnston et al. 1978). Al cultivar intercaladamente las arvejas con los cereales, se mejora la circulación del aire y se reduce la humedad. En otras combinaciones de cultivos, una cobertura más densa de doseles puede aumentar la humedad y reducir la penetración de la luz, lo que favorece a algunas enfermedades fúngicas y bacteriales (Palti 1981). Esto puede requerir el uso de disposiciones espaciales que fomenten una configuración más raleada entre los doseles de los policultivos.

4. Los microbios o excreciones de las raíces de una de las especies cultivadas pueden afectar a los organismos patógenos del suelo que afectan las raíces de otra especie asociada al cultivo. Este parece ser el mecanismo responsable de la baja

incidencia de *Fusarium udum* que causa la marchitez del guandul cuando éste se sembró con sorgo (ICRISAT 1984).

Poco se ha investigado acerca de los efectos de los policultivos en las poblaciones de nemátodos fitoparásitos. Sin embargo, es claro que los nemátodos prefieren determinadas especies de cultivo (Palti 1981) y que ciertas plantas, como las caléndulas (*Tagetes* spp.), excretan sustancias que son tóxicas para ellos (Cook y Baker 1983). Estos efectos dan a entender que sería posible atraer, atrapar o exterminar a los nemátodos al entresembrar algunas especies junto con cultivos que necesitan ser protegidos. Visser y Vythilingam (1959) informaron que el cultivo de caléndulas entre arbustos de té, reducía las poblaciones de nemátodos en el suelo y en la raíces de éste. Cuando la leguminosa *Crotalaria spectabilis* se usó como cultivo de cobertura en huertos de duraznos, los nemátodos atacaron las leguminosas en vez de los árboles, lo que aumentó la producción de frutas (Cook y Baker 1983). Otros ejemplos de los efectos de los policultivos sobre las bacterias patógenas, hongos, virus y nemátodos se describen en el capítulo 13.

En una situación análoga a la de los insectos plaga en policultivos, poco se sabe de la manera cómo afectan el rendimiento los patógenos en los policultivos respecto a su productividad. Burdon (1987) observó que sin modelos experimentales apropiados es imposible decir si una mejor eficiencia en el uso de los recursos o una menor incidencia en los síntomas de enfermedades, son responsables de una mayor producción en los policultivos. Es necesario investigar más acerca de la ecología y manejo de los patógenos en los policultivos.

Los efectos de los policultivos sobre las malezas

El control de malezas es una de las labores agrícolas que más necesita del uso de mano de obra en áreas tropicales y que más requiere de productos químicos en las zonas templadas. Comparados con los sistemas de siembra en monocultivos, los policultivos parecen ofrecer muchas más opciones para mejorar el control de malezas con un menor uso de mano de obra, menos productos químicos y bajos costos.

Un análisis de la literatura sobre policultivos/malezas llevado a cabo por Liebman y Dyck (1993), comparó el crecimiento de malezas en policultivos con los monocultivos en lo referente a las especies componentes. Se revisaron dos tipos de sistemas de policultivos: sistemas en los cuales el agricultor se interesa primordialmente en el rendimiento de una especie principal, entresembrando un cultivo más suave para controlar malezas, erosión, para aumentar la fertilidad del suelo y obtener una pequeña cantidad productiva adicional del cultivo asociado; y sistemas en los cuales el agricultor está interesado en el rendimiento de todas las especies componentes, de las cuales ninguna se siembra específicamente para el control de malezas. En la primera situación, el crecimiento de malezas en el policultivo fue menor en 47 casos y mayor en 4 en comparación con la siembra principal. En la segunda situación, en 12 casos el crecimiento de malezas en el policultivo fue menor que en todos los monocultivos componentes, en 10 casos normal entre monocultivos componentes y en 2 casos mayor que en los monocultivos de todos los componentes.

A través de una cantidad considerable de investigaciones se ha probado la utilidad de los policultivos para controlar las malezas en Nigeria. Akobundu (1980) informó que en cuanto al rendimiento de cultivos y al de la supresión de malezas, cultivos tales como el melón egusi y camote podrían reemplazar 3 desmalezajes manuales cuando se cultivaban con siembras de ñame y maíz, solamente, y en combinaciones

de policultivos con ñame, maíz y yuca. Los cultivos de protección no sólo sirvieron como un medio para ahorrar mano de obra en el control de malezas, sino que también ayudaron a controlar la erosión debido a su mayor cobertura de suelo. Zuofa et al. (1992) descubrieron que un cultivo intercalado de maní, caupí o melón con un cultivo principal de yuca/maíz, daba como resultado un control superior de malezas, aumentaba los rendimientos totales y elevaba los coeficientes equivalentes de la tierra. Se descubrió que el maíz intercalado con cultivos de protección tales como camote, caupí, maní o melón más un desmalezaje manual, entregaba un mayor ingreso neto que el maíz en un monocultivo desmalezado manualmente tres veces o aplicando herbicidas (Zuofa y Tariah 1992). Obiefuna (1989) informó que al cultivar melones entre plátanos, se reducía el crecimiento de malezas de manera que el desmalezaje se podía atrasar hasta siete meses después de la siembra.

En experimentos realizados en India, Shetty y Roo (1981) descubrieron que al añadir cultivos de caupí o frijol mungo a cultivos principales de sorgo o guandul, la maleza crecía menos en la primera temporada y disminuía de dos a uno el número de desmalezajes manuales necesarios para lograr altas producciones. Estos cultivos no tuvieron ningún efecto en el rendimiento de las especies principales y aún más, proporcionaron una producción adicional por sí solos. Abraham y Singh (1984) midieron la producción de un cultivo y los efectos supresivos de las malezas al añadir caupí, maní, soya o frijol mungo al sorgo. Al sembrar de manera intercalada cualquiera de las cuatro leguminosas anuales, aumentaba la cosecha y el contenido de nitrógeno en el sorgo y disminuía en gran cantidad el crecimiento de malezas. La cosecha de las semillas o el forraje de las leguminosas fue un beneficio extra. Resultados similares obtuvieron Tripathi y Singh (1983) cuando añadieron soya al maíz. Sengupta et al. (1985) demostraron que al sembrar entre surcos garbanzo negro en un cultivo de arroz (21 días después de haber sembrado el arroz) suprimía eficazmente el nivel de crecimiento de malezas, eliminaba la necesidad de un desmalezaje manual e incrementaba el ingreso y la producción total del cultivo en comparación con el arroz sembrado como monocultivo. Ali (1988) informó que el rendimiento total de semillas de los cultivos intercalados de guandul/frijol mungo sin ningún desmalezaje manual, se acercaba mucho al nivel de rendimiento obtenido del guandul en un monocultivo que se había desmalezado. El crecimiento de maleza en policultivos era de un 22% a un 38% menor que en el guandul en un monocultivo no desmalezado; la cosecha adicional obtenida del cultivo de protección de frijol mungo, compensó la pérdida de rendimiento del guandul debido a la acción de la maleza.

En climas templados, la entresiembrado de leguminosas como abono verde en cultivos de cereales y leguminosas en granos puede controlar más eficientemente la maleza en los cultivos principales, proporcionar una cubierta vegetal de baja altura para el control de erosión durante el otoño y el invierno y, además, aumentar la fertilidad del suelo. Harwood (1984) informó que en Pensilvania, cuando se cultivaba intercaladamente trébol rosado o algarroba con maíz o soya (sembrado 35 días antes y cosechada una sola vez) no afectaba los rendimientos de los cultivos asociados de granos, reducía en gran escala el crecimiento de malezas, formaba casi completamente una cubierta del suelo y reducía el requerimiento de fertilizantes nitrogenados en cultivos subsiguientes. En experimentos realizados en Gran Bretaña, al añadir reygrass italiano o trébol rosado a la cebada o habas, se obtuvo una disminución en el crecimiento de malezas perennes *Agropyron repens* que provenían de las semillas o

de los fragmentos de rizoma que permanecían en el suelo (Dyke y Barnard 1976). En Nueva Jersey (EE.UU), el maíz sembrado sin labranza o herbicidas en un trébol subterráneo establecido, produjo tanta o más biomasa y grano como el maíz de monocultivo sembrado con herbicidas ya sea con o sin labranza (Enache y Ilnicki 1990). El trébol subterráneo se comportó como una planta anual de invierno la que creció especialmente en los meses de primavera y otoño, y permaneció como mulch muerto entre las hileras del maíz durante el verano. En Texas (EE.UU), al sembrar de manera intercalada un trébol subterráneo o uno de hoja de flecha en praderas con bermuda o bahía, se eliminaron drásticamente las malezas de éstas; la entresiembría proporcionó un control sobre las malezas igual o mejor al que se obtiene aplicando herbicidas (Evers 1983).

Algunos investigadores han dado a entender que los policultivos pueden suprimir el crecimiento de malezas más eficazmente que los monocultivos debido a un uso mayor de los recursos prioritarios, dado que muchos policultivos explotan en proporción superior los recursos disponibles de agua, nutrientes y luz en comparación a los monocultivos. Sin embargo, a través de un análisis de datos que se disponen acerca de los patrones del uso de recursos, de productividad de cultivo y el enmalezamiento de policultivos, se demuestra que la hipótesis de dar prioridad a los recursos puede ser verdadera sólo en algunos casos (Liebman y Dick 1993). Con el objeto de comprender los mecanismos utilización de recursos en la interacción policultivo-maleza, se requerirá una mayor investigación en lo que respecta a la disponibilidad de recursos y utilización de éstos por parte de los cultivos y malezas durante la temporada de crecimiento.

Se ha demostrado que la densidad del cultivo, la elección de las especies y variedades, la disposición espacial y el régimen de fertilizaciones afectan las interacciones policultivo/maleza (Moody y Shetty 1981, Liebman 1988, Liebman y Dick 1993). En general, el aumento en la densidad del cultivo dá por resultado una mayor supresión del crecimiento de maleza (ver, Shetty y Roo 1981, Mohler y Liebman 1987). Los policultivos que comprenden especies y variedades que tienen un follaje que se forma rápida, vigorosa, densa y prematuramente sobre la superficie del suelo, son particularmente eficaces para reducir el crecimiento de malezas (Bantilan et al. 1974, Abraham y Singh 1984, Liebman 1989, Samson et al. 1990).

Los efectos de las disposiciones espaciales de un cultivo y los regímenes de fertilización parecen ser más variables. Por ejemplo, Prasad et al. (1985) informaron de un crecimiento menor de malezas en policultivos de guandul/sorgo cuando el guandul se sembraba en hileras pareadas que cuando se cultivaba en hileras mono espaciadas; sin embargo, Ali (1988), por el contrario descubrió que al sembrar los policultivos de frijol urdo, frijol mungo, soya, caupí o sorgo con guandul en una disposición de hileras uniformes, disminuía, con mayor eficacia, el crecimiento de malezas que cuando los policultivos de sorgo eran sembrados en hileras pareadas. Bantilan et al.(1974) observaron que la fertilización nitrogenada aumentaba la supresión competitiva de la maleza con policultivos de maíz/frijol mungo, pero que aminoraba o no tenía efecto en la supresión de ésta en policultivos de maíz/maní o maíz/camote. Esta variabilidad de resultados indica que antes de hacer cualquier generalización o predicción acerca de los efectos de las disposiciones espaciales del cultivo, los regímenes de fertilización y otros factores en las interacciones policultivo/maleza, es necesario entender mejor los mecanismos eco-fisiológicos que controlan estas interacciones.

Orientaciones futuras

El hecho de aumentar la diversidad de la vegetación mediante el uso de los policultivos no es la panacea para resolver los problemas de producción y protección de cultivos, pero puede ofrecer a los agricultores opciones potencialmente útiles para disminuir la dependencia de insumos externos, reducir al mínimo la exposición a los productos agroquímicos, aminorar el riesgo económico, la vulnerabilidad nutricional y proteger la base necesaria de los recursos naturales para la sustentación agrícola. La tarea para el futuro es poder entender mejor la dinámica y complejidad de los policultivos para que este sistema pueda refinarse, transferirse y adaptarse de manera que se obtengan beneficios predecibles. Vandermeer (1989) ha indicado muchas áreas donde la aplicación de la teoría ecológica bien puede ayudar al diseño y manejo de los sistemas de policultivos.

La prevalencia de los policultivos en países en desarrollo sugiere que muchos agricultores están muy conscientes de los beneficios de estos sistemas. Parece ser extremadamente contraproducente tratar de convencerlos para que abandonen el uso de los policultivos cuando sabemos cómo y cuándo obtener beneficios. Más bien, los investigadores que trabajan en los países en desarrollo deberían crear variedades de cultivos y prácticas de manejo (por ejemplo, la determinación de disposiciones óptimas de espacio, las densidades, etc.) que sean compatibles con los sistemas del policultivo y que mejoren el rendimiento de éstos (Francis et al. 1976, Krantz 1981). Un ejemplo de una tecnología apropiada para los policultivos es el diseño y producción de sembradoras y cultivadoras de tracción animal que tengan un bajo costo y que sirvan, específicamente, para combinaciones de cultivos (Anderson 1981). Los aspectos del control de plagas y del manejo de la fertilidad del suelo en los sistemas de policultivos requieren de mucha más atención en países en desarrollo donde se ve limitado el acceso a fertilizantes y plaguicidas sintéticos, debido a las condiciones socioeconómicas y a la preocupación por la salud del hombre y del medio ambiente.

El papel de los policultivos en la agricultura de los países desarrollados se expandirá probablemente en la medida que aumente la percepción de los costos económicos y ambientales de la gran dependencia en los productos agroquímicos (Horwith 1985). Pese a que la agricultura de estos países es muy mecanizada, los sistemas de policultivos pueden ser compatibles con la mecanización (por ejemplo, las leguminosas para abono verde sembradas en forma intercalada con granos; soya cultivada en relevo con trigo; cultivos de cobertura para el suelo de los huertos). Al igual que en los países en desarrollo se necesitan variedades de cultivos y prácticas de manejo que mejoren los beneficios de los sistemas existentes.

La atención puesta en el diseño de máquinas que faciliten el manejo de combinaciones de cultivos, podría permitir que los agricultores alcancen los beneficios biológicos potenciales de estos sistemas de una manera práctica. Cordero y McCollum (1979) hicieron notar que cualquier sociedad que puede llevar y traer gente a la luna de manera segura, debería ser capaz de diseñar la maquinaria adecuada para sembrar, mantener y cosechar policultivos.

Cultivos de cobertura y utilización de Mulch

Se le llama cultivo de cobertura a la técnica de sembrar plantas herbáceas perennes o anuales en cultivos puros o mezclados para cubrir el suelo durante todo o parte del año. Las plantas pueden incorporarse al suelo por medio de la labranza, como en el cultivo de cobertura por estaciones, o pueden conservarse por una o varias temporadas. Cuando las plantas se incorporan al suelo mediante la labranza, la materia orgánica que se adiciona al suelo se llama abono verde.

Beneficios del cultivo de cobertura en huertos

Son cultivos de cobertura las leguminosas, los cereales o las mezclas que se plantan específicamente para proteger el suelo contra la erosión; mejorar su estructura; aumentar su fertilidad y controlar plagas, que incluyen malezas, insectos y agentes patógenos. La Figura 10.1 muestra algunos de los principales beneficios del cultivo de cobertura. Estos no se cultivan para cosechar sino para llenar los vacíos, sean de tiempo o espacio, de suelo desnudo que dejan las siembras comerciales. La mayoría de los cultivos de cobertura crecen durante las estaciones frías en los climas templados, y durante las estaciones secas, en los climas tropicales. En las latitudes nórdicas se plantan durante el otoño, centeno (*Secale cereale* L), trébol (*Trifolium* spp) o arveja (*Vicia* spp) para brindar una protección invernal. También la alfalfa (*Medicago sativa*) se deja en el predio durante los meses de invierno. En los climas tropicales las leguminosas, como la *Pueraria*, *Stylosanthes* y *Centrosema*, y los pastos como la *Brachiaria*, *Melinis* y *Panicum* se cultivan en la estación lluviosa corta y se dejan en el predio durante toda la estación seca (Lal et al. 1991).

Los posibles beneficios del cultivo de cobertura en huertos y viñedos incluyen (Finch y Sharp 1976, Haynes 1980):

1. Mejoramiento de la estructura del suelo y de la infiltración del agua mediante la adición de materia orgánica y las raíces aumentando además, la aireación del suelo y el porcentaje de agregados estables del agua. La necesidad de labranza y el movimiento de maquinarias disminuyen, reduciendo, por lo tanto, la compactación del suelo y el pie de arado. La cubierta vegetal soporta mejor la maquinaria durante los períodos húmedos. El cultivo de cobertura intercepta las gotas de lluvia, reduciendo su fuerza y evitando la formación de costras en el suelo.

2. Prevención de la erosión del suelo al distribuir y disminuir el movimiento del agua en la superficie, reduciendo el escurrimiento y manteniendo la tierra en su lugar mediante sistemas radiculares.

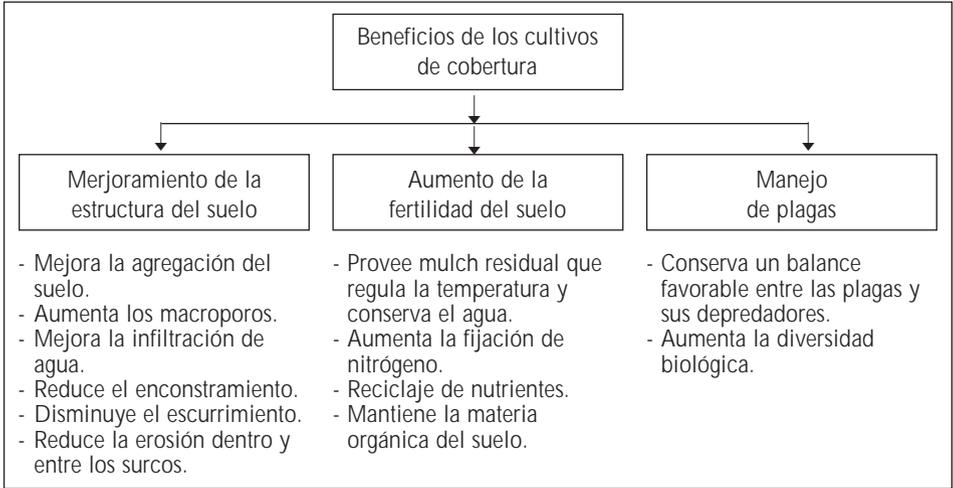


FIGURA 10.1 Beneficios potenciales de los cultivos de cobertura (Lal et al. 1991).

3. Aumenta la fertilidad del suelo al incorporar material orgánico de fácil descomposición y al hacer más aprovechables los nutrientes del suelo mediante la fijación de nitrógeno.

4. Control del polvo al mantener la tierra en su lugar a través de los sistemas radiculares.

5. Ayuda en el control de plagas insectiles al refugiar a insectos depredadores y parásitos benéficos.

6. Modificación del microclima y la temperatura, al reducir la refracción de los rayos del sol y el calor, aumentando la humedad en el verano.

7. Reduce al máximo la competencia entre el cultivo principal y las malezas dañinas.

8. Reduce la temperatura del suelo.

En Europa, Boller (1992) considera que el establecer en forma temporal o permanente el cultivo de cobertura, sería clave en el manejo de la transformación de viñedos de monocultivo en agroecosistemas de una creciente diversidad y estabilidad ecológica.

El cultivo de cobertura actúa como un gran «tornamesa» ecológico el cual activa los procesos y componentes claves del agroecosistema del viñedo: el complejo de fauna benéfica, biología del suelo y ciclo del nitrógeno (Figura 10.2).

Efectos sobre la fertilidad del suelo

El valor del cultivo de cobertura para mantener la fertilidad del suelo en los huertos depende de la producción razonable de toneladas de materia orgánica. La *Vicia atropurpurea* puede producir 20 toneladas de abono vegetal por acre, mientras que otras leguminosas producen entre 12 a 13 ton. por acre. La *Vicia atropurpurea* y el trébol dulce pueden producir anualmente ganancias netas de nitrógeno por encima de las 150 libras por acre.

Cuatro sistemas de manejo de cobertura diferentes se probaron lentamente en plantaciones de árboles de cauchos (*Hevea*) en Malasia, en una mezcla de leguminosas

trepadoras (*Calopogonium muconoides*, *Centrosema pubescens* y *Pueraria phseoloides*), en pastos (principalmente *Axonopus compressus* con *Paspalum conjugatum*) con una semilla pura de *Mikania cordata* y un sistema que se regeneró naturalmente representando el proceso normal de colonización sobre la tierra limpia.

De los cuatro sistemas, las leguminosas son las que tienen la tasa promedio de crecimiento más rápida y generalmente contienen una mayor cantidad de nutrientes en comparación con las otras siembras ensayadas. La mayor cantidad de nutrientes devueltos al suelo por una cobertura de leguminosas se reflejó al encontrar mayores niveles de éstos nutrientes en las hojas de los árboles de caucho (*Hevea*). Si a lo anterior le agregamos un suelo rico en propiedades físicas tendremos un aumento en la tasa de crecimiento del árbol de caucho. La fijación de nitrógeno en las plantaciones de caucho asociado con leguminosas, alcanzó un promedio de 150 kilogramos anuales por hectárea, durante un período de cinco años. Los promedios máximos de fijación de nitrógeno fueron alrededor de 200 kilogramos por hectárea al año.

Estos efectos se pueden explicar mediante dos hipótesis. En primer lugar, que las leguminosas reciclan nutrientes en o cerca de la superficie del suelo, hasta que éstos pueden ser usados eficientemente por el *Hevea*, y en segundo lugar que las leguminosas mediante procesos aún no muy comprendidos producen una mayor proliferación de las raíces de el *Hevea*, facilitando la captación de nutrientes (Broughton 1977).

Las plantas que son útiles bajo algunas condiciones, pueden ser una desventaja bajo otras. Los cultivos de cobertura usados en huertos y viñedos pueden competir por nutrientes y agua con los árboles y las vides, pudiendo proliferar ciertas malezas reduciendo substancialmente la biomasa del cultivo de cobertura. En áreas donde no resulta práctico cultivar leguminosas, puede ser recomendable reemplazarlas por mostaza, malva y nabos. Estas plantas contienen altos porcentajes de nitrógeno y son de rápida descomposición si se cortan antes que maduren.

La mostaza crece rápidamente y puede ahogar otras malezas indeseables. El cultivo de cobertura también puede interferir en la cosecha de frutas y nueces.

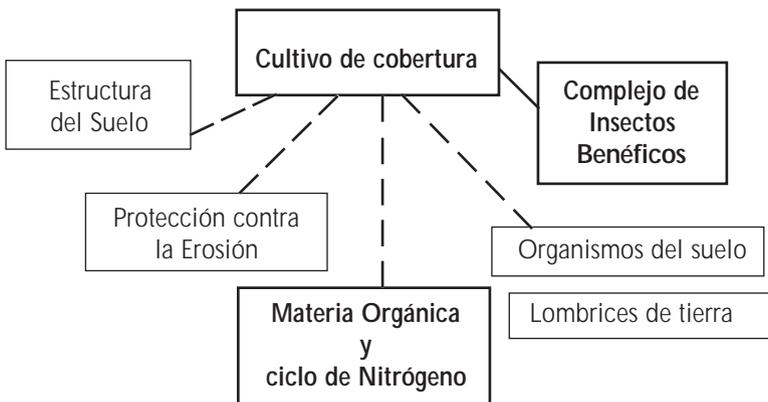


FIGURA 10.2 Las cuatro funciones más importantes de un cultivo de cobertura en un viñedo diversificado.

Efectos sobre poblaciones insectiles

Los investigadores soviéticos descubrieron que la efectividad del parásito, **Aphytis proclia**, para controlar la Escama de San José en los Huertos, mejoró como resultado de haber sembrado un cultivo de cobertura de *Phacelia tanacetifolia*. Tres siembras sucesivas del cultivo de cobertura *Phacelia* aumentaron el parasitismo de la escama desde un 5 % en huertos cultivados limpiamente hasta un 75% donde las plantas melíferas productoras se sembraron y florecieron completamente.

En el norte de California, la manipulación de la vegetación que cubría el suelo en un huerto con manzanos y viñedos tuvo un impacto considerable en la abundancia de artrópodos que viven en el suelo y en el follaje. Por lo general, los sistemas con cultivo de cobertura se caracterizaron por una baja densidad de insectos fitófagos, por un daño menor en la fruta provocado por los insectos de los árboles, por poblaciones mayores y más especies de enemigos naturales, y una mayor depredación de presas artificiales. Los cultivos de cobertura que permanecieron florecidos durante toda la estación, que produjeron más biomasa y sustentaron una mayor cantidad de presas alternativas, parecieron contener el mayor complejo de depredadores y parásitos. El escarabajo «*Hippodamia convergens*» es, en California, el depredador más importante del pulgón de los nogales (*Chromaphis juglandicola*) en la estación temprana. Este escarabajo se desplaza desde las montañas, donde iverna, hacia los huertos de nogales (*Juglans* spp.) en Febrero y a comienzos de Marzo, cuando los árboles no tienen hojas y por lo tanto no hay pulgones. Sin embargo, se encuentran algunos pulgones en la cobertura del terreno, bajo los árboles, sirviendo como fuente de alimento temporal para los depredadores los cuales si no fuera así tendrían que irse o morir de hambre. La cobertura del suelo se debe podar o picar a fines de Abril o a principios de Mayo para forzar a los escarabajos hacia los nogales. Si se poda en forma muy temprana, de todos modos, los escarabajos emigrarán antes que los pulgones del nogal hagan su aparición; y si se poda muy tardíamente, la gran cantidad de escarabajos exterminarán la población de pulgones, en los árboles, sin que pongan sus huevos obteniendo como resultado, más tarde, menos escarabajos. Por lo tanto, el momento de la poda de la cobertura vegetal del suelo es crítica para mantener una amplia población de escarabajos y poder ejercer un control suficiente sobre los pulgones (Sluss 1967).

En los viñedos del Valle Central de California, las diferencias poblacionales del saltahojas *Erythroneura variabilis* en predios con y sin cobertura fueron claramente diferentes en las tres generaciones, pero las razones que habían tras éstas diferencias no eran tan claras. Algunos informes recogidos en el área sugieren que los cultivos de cobertura con malezas, a comienzos de la media estación, pueden tener una población de *Erythroneura variabilis* más pequeña. Un aumento generalizado de depredadores, especialmente arañas, puede ayudar a reducir las poblaciones de langostas en predios con maleza como cobertura (Settle et al. 1986). En la misma zona al dejar como cobertura pasto Johnson o Sudan, resultó ser una práctica cultural modificatoria en viñedos, ya que el cambio del hábitat aumentó la actividad de los depredadores contra los ácaros fitófagos como el ácaro *Eotetranychus willamette* (M•Gregor). Cuando se permitió que creciera pasto Johnson (*Sorghum halepense*) en los viñedos, se incrementaron los alternativos ácaros presa, con lo cual se mantuvo al ácaro depredador «*Metaseiulus occidentalis*», el cual a su vez redujo al ácaro del Pacífico *Tetranychus pacificus* (M•Gregor) a densidades por debajo del nivel de daño económico (Flaherty 1969).

También en el Valle San Joaquín, la aparición del gusano adulto de las naranjas (*Amyeolis transitella*) fue mayor en los huertos de almendras que tenían tratamientos residuales de herbicidas, que en aquellos con cobertura vegetal. Estos resultados demuestran que pocos gusanos de las naranjas sobreviven al invierno en el suelo cuando los cultivos de cobertura están presentes. Las diferencias pueden ser aún mayores donde los nogales con cultivos de cobertura están sometidos constantemente a una poda regular a cominezos de la primavera. Los nogales con tratamientos herbicidas residuales, que no necesitan poda, no tienen problemas.

Pareciera que la manipulación de los cultivos de cobertura puede afectar directamente a las colonias de plagas insectiles que diferencian entre árboles con y sin protección en el suelo, y que también pueden ayudar a mantener poblaciones de enemigos naturales, que habitan en el suelo y en el follaje, entregándoles alimentos y hábitat alternativos.

El diseño adecuado de una mezcla de cultivo de cobertura/huerto puede aumentar el control biológico de plagas específicas existentes en huertos y viñedos (Altieri y Schmidt 1985).

Tipos de manejo de cultivos de cobertura

Las desventajas de los sistemas de cultivo de cobertura se pueden reducir o eliminar con manejos y prácticas agrícolas cuidadosas. Las limitaciones son pequeñas comparadas con las alternativas. Los sistemas de manejo de cultivo de cobertura más comunes son (Finch y Sharp 1976):

Sistemas sin Labranza. En un sistema de manejo sin labranza el cultivo de cobertura se siega en el suelo, en vez de que se cultive con escarificador de discos. La carencia de labranza disminuye la compactación del suelo, la erosión y mejora la infiltración de agua. Un sistema sin labranza se puede utilizar en un huerto preexistente o en uno nuevo. Un huerto preexistente debe prepararse adecuadamente apenas se termine la cosecha. Resulta de especial importancia realizar un buen trabajo de nivelación y mejoramiento, puesto que el suelo no volverá a ser trabajado. Para la siembra los inicial de los cultivos de cobertura. La Tabla 10.1 entrega la cantidad recomendada de semillas por acre y métodos de siembra para las diferentes especies de California.

Sistema de siegas frecuentes. En este sistema el cultivo de cobertura se siega de 4 a 7 veces a comienzos de la primavera. Este sistema se usa con sistemas de riego con rociadores, acequias, surcos o por goteo. La siega frecuente elimina el uso de muchas plantas de raíces profundas, plantas forrajeras anuales o perennes. Con este tipo de manejo se cultivan mejor las plantas de crecimiento lento, las forrajeras anuales o las perennes.

Sistemas sin siegas frecuentes. En este sistema, el cultivo de cobertura no se siega con frecuencia, por lo general esto se realiza a principios de la primavera como protección contra las heladas y a fines de ella, como control de residuos. Permite utilizar plantas de raíces profundas, forrajeras anuales o perennes. Si se usan las forrajeras anuales se debe segar oportunamente en la primavera para permitir la maduración de las semillas asegurando el cultivo del siguiente año. Con un manejo adecuado y cuidadoso el peligro de las heladas o la acumulación de residuos se puede reducir al mínimo.

Sistemas con labranza. En un sistema con labranza, se rastrea el cultivo de cobertura en el suelo después que las semillas han madurado. El momento óptimo para la labranza de diversas especies se presenta en la Tabla 10.1.

Cultivo de cobertura sembrado anualmente durante el otoño. En este sistema el cultivo de cobertura que se siembra en el otoño se rastrea en el suelo a principios de la primavera, se sigue con un barbecho estival hasta el otoño o bien un crecimiento anual de verano voluntario. Se utiliza una labranza temprana para tumbar el cultivo de abono verde y reducir los peligros de una helada. Este sistema se puede usar en la mayoría de los huertos y viñedos con cualquier tipo de riego. La labranza frecuente es una desventaja ya que sólo se pueden usar plantas anuales de corta temporada y el suelo queda expuesto gran parte del año.

TABLA 10.1 Lista parcial de especies y algunos manejos característicos de plantas para cultivos de cobertura, recomendados para viñedos y huertos de California (según Finch y Sharp 1976).

Especies de Cultivo de Cobertura ¹	Densidad de Siembra (libras de semilla/acre)	Sistema de Manejo	Disco/Segadora	Características Especiales
Cebada (<i>Hordeum vulgare</i>)	90	Labranza	Primavera	Crecimiento rápido en invierno
Cereal Centeno (<i>Secale cereale</i>)	60	Labranza	Primavera	Crecimiento rápido en invierno
Ballico anual (<i>Lolium multiflora</i>)	9	Labranza	Primavera	Maduración anual, invierno tardío
Arverja púrpura (<i>Vicia atropurpurea</i>)	52	Labranza	Primavera	Fija nitrógeno
Brome blando (<i>Bromus mollis</i>)	6	Sin labranza	Primavera ²	Buena capacidad de replantío
Cucamonga brome (<i>Bromus mollis</i>)	12	Sin labranza	Primavera ²	Madura a principios de Abril
Wimmera 62 reygrass (<i>Lolium rigidum</i>)	9	Sin labranza	Primavera ²	Buena adaptación a tierras bajas
Bluegrass anual (<i>Poa annua</i>)	5	Sin labranza	Segada frecuente	Madura a principios de Abril
Arverja lana (<i>Vicia dasycarpa</i>)	15	Sin labranza	Segada poco frecuente	Buen replantío
Trébol rosa (<i>Trifolium hirtum</i>)	9	Sin labranza	Primavera ²	Madura temprano, competidor pobre
Trébol crimson (<i>T. incarnatum</i>)	9	Sin labranza	Segada frecuente	Se adapta a suelos ácidos
Trébol bur (<i>Medicago hispida</i>)	9	Sin labranza	Segada frecuente	Buen replantío
Black medic (<i>Medicago</i> sp.)	6	Sin labranza	Segada frecuente	Adaptable a suelos alcalinos

¹ Todos los cultivos de cobertura son sembrados en California.

² Apto para segadas frecuentes pero puede ser seguido por una resiembra de 3 a 4 semanas antes de la maduración de la semilla.

Cultivo de cobertura anual con replantación invernal. En este sistema, las replantaciones invernales anuales se rastrean a fines de la primavera seguido por un período de barbecho desde el verano hasta el otoño o de crecimiento de voluntarias anuales de verano, las que se siegan y luego se rastrean en el otoño. El cultivo de cobertura se puede podar hasta fines de primavera con el fin de controlar la altura de la vegetación. El segado debe hacerse oportunamente para permitir a las replantaciones anuales que produzcan un cultivo de semilla madura antes de rastrearlos. Muchos plantas anuales y de raíces profundas resultan ideales para este sistema.

Sin cobertura invernal. En este sistema se elimina la cobertura invernal mediante labranza o control químico. Esto es seguido por el crecimiento de voluntarias anuales de verano, anuales sembradas en el verano o anuales de verano replantadas. La cobertura veraniega se utiliza desde la mitad de la primavera hasta las heladas. Este sistema resulta efectivo si se riega con acequias, surcos o rociadores. Se usa con mayor frecuencia en los viñedos de uvas de mesa y tiene un uso probable con los cítricos.

En algunas áreas de cultivo de cítricos, particularmente en Florida, los cultivos de cobertura resultan útiles durante el verano, puesto que esta es la estación de mayores precipitaciones. En otras áreas, como California, las mayores precipitaciones se producen en invierno, única estación en que resultaría práctico sembrar cultivos de cobertura. En las áreas de California con mayor riego, el abastecimiento de agua resulta insuficiente para sembrar un cultivo de cobertura durante el verano y también para brindar a los árboles las condiciones de humedad adecuadas. Un cultivo de cobertura de 10 ton/ acre puede necesitar 12 pulgadas o más de agua/ acre.

Eliminación del cultivo de cobertura. Para que un cultivo de cobertura resulte beneficioso, este debe descomponerse en el huerto o en el viñedo. Para ayudar a la descomposición, el material se debe incorporar con tierra húmeda. Por lo tanto, se recomienda incorporar el cultivo de cobertura más profundamente que aquel que resultante de la labranza superficial de verano. Sin embargo, se debe ser cuidadoso, asegurándose que al arar y rastrear con discos no se haga tan profundamente como para cortar las raíces de los árboles. Todas las escarificadoras de discos que se usan en los huertos deberían estar equipadas con rodillos para evitar una penetración muy profunda. A veces resulta conveniente cortar un extenso cultivo de cobertura con una rastra o escarificadora de discos antes de incorporar el cultivo al suelo. Este procedimiento hace más fácil el arado y rastreo final, disminuyendo la pérdida de agua por transpiración, lo que es beneficioso si el suelo se sigue secando más rápido antes de que sea posible introducir el cultivo de cobertura.

Plantas para cultivo de cobertura. Una buena planta para cultivo de cobertura mantiene o mejora las condiciones del suelo al mismo tiempo que satisface las necesidades de manejo, y requerimientos de suelo de un huerto o viñedo en particular. La gran variedad de sistemas de manejo en huertos y viñedo crea demanda por diversos cultivos de cobertura. Los pastos tienen sistemas de raíces fibrosas, lo que resulta particularmente útil para formar la estructura del suelo, brindar control contra la erosión y mejorar la penetración del agua. Las leguminosas no resultan tan eficaces como los pastos para mejorar la penetración del agua, pero sí contribuyen con nitrógeno para el suelo y sus residuos se descomponen con mayor rapidez. Las plantas útiles como los cultivos de cobertura, pueden clasificarse como leguminosas y pastos de crecimiento invernal con siembras anuales, leguminosas y pastos anuales con replantación invernal, anuales de verano, leguminosas y pastos perennes y otras plantas de cultivo de cobertura.

Mulches vivos

La utilización de cultivos de cobertura de leguminosas en sistemas de cultivos anuales y en rotaciones, ofrece un gran potencial para la producción sustentable del cultivo y auto-suficiencia para obtener nutrientes del suelo. Por lo general, se le llama mulch vivo a los cultivos de cobertura de leguminosas asociadas con cultivos anuales. La mayoría de las investigaciones sobre estos sistemas se han realizado con trigo, soya y cultivos de hortalizas en forma de entresiembrado de leguminosas, rotación de la cubierta del suelo y entresiembrado de la cubierta del suelo (Miller y Bell 1982).

Las especies de leguminosas usadas comúnmente como Mulch vivo incluyen el trébol blanco, la arveja hairy y el trébol rosado. Las características de crecimiento de las leguminosas que generalmente se utilizan como mulch vivo se presentan en la Tabla 10.2. Con excepción de la alfalfa, la mayoría de las especies de leguminosas son anuales o bianuales. Las zonas de adaptaciones varían desde climas semi-templados para la arveja vellosa y el trébol crimson a templados para la alfalfa, la arveja de invierno y el trébol dulce. La producción de materia seca varía desde 2,3 toneladas por hectárea de trébol dulce a 10 toneladas por hectárea de alfalfa y veza. Basándose en el contenido de nitrógeno de los tejidos y la producción de materia seca, estas leguminosas fijan desde 76 a 367 kilogramos de nitrógeno por hectárea. Esta cantidad es suficiente para satisfacer los requerimientos agronómicos de nitrógeno necesarios para los cultivos de hortalizas (Palada et al. 1983).

La mayoría de los cultivos de cobertura no toleran el suelo árido o seco pero sí toleran la sombra y el tráfico en el predio, características ideales para los cultivos intercalados. La resistencia a las fuertes heladas de invierno es importante si las leguminosas se van a sembrar para fijar nitrógeno al suelo. La sobrevivencia invernal y el rebrote primaveral parecen estar de acuerdo con las especies seleccionadas.

Sistemas con cultivos de cobertura de leguminosas

Los cultivos de cobertura de leguminosas pueden incorporarse en sistemas de cultivo anuales mediante la siembra intercalada (entresiembrado), rotaciones de leguminosas

TABLA 10.2 Características de crecimiento de especies leguminosas, utilizadas como cultivos de cobertura (según Palada et al. 1983).

Nombre Común	Nombre Científico	Hábito de Crecimiento ^a	Adaptación	Materia Seca (t/ha)	Total N (kg/ha)
Alfalfa	Medicago sativa	P	Templada	10,0	170
Trébol crimson	Trifolium incarnatum	A	Semi-templada	7,9	179
Arveja hairy	Vicia villosa	A	Semi-templada	10,2	376
Trébol rojo	T. pratense	B, P	Semi-templada	5,2	146
Trébol blanco corto	T. repens	B	Semi-templada	5,2	182
Trébol Amarillo dulce	Melilotus officinalis	B	Templada	2,3	76
Chicharo de invierno	Pisum sativum subsp. arvense	A	Templada	6,0	213

A= anual; B= bianual; P= perenne

basadas en la cubierta del suelo, cultivo en hileras intercaladas o sistemas de mulch vivo en hortalizas (Palada et al. 1983).

Siembra intercalada de leguminosas

Durante muchas décadas la siembra intercalada de cultivos de cobertura de leguminosas dentro de cultivos de granos pequeños ha sido una práctica agrícola estandarizada, durante la primavera. Esta práctica constituye una forma eficiente y de bajo costo para establecer la rotación. Los agricultores del Medio Oeste de EE.UU. siembran intercaladamente cultivos de cobertura de leguminosas cuando siembran trigo, soya o cultivos hortícolas o antes de la cosecha para mantener la fertilidad del suelo.

En 1980, los investigadores del Rodale Research Center observaron los efectos que tuvieron las especies de leguminosas en la siembra intercalada sobre las producciones de soya y maíz (Palada et al. 1983). Las leguminosas sembradas intercaladamente durante su primer ciclo de desarrollo tuvieron una mejor germinación y una mayor emergencia de plántulas, que aquellas sembradas intercaladamente en un ciclo posterior. La siembra intercalada, realizada en el primer ciclo brinda también una cobertura para el suelo, considerablemente mejor que la segunda. Estos resultados sugieren que durante un verano seco, la entresiembra temprana brinda una excelente cubierta otoñal e invernal para el suelo. Los cultivos de cobertura con leguminosas no reducen el rendimiento de grano del maíz y la soya (Tabla 10.3). También se redujo considerablemente la aparición de malezas en ambos cultivos.

Los niveles bajos tienen una influencia mayor sobre la sobrevivencia y la persistencia de cultivos de cobertura de leguminosas bajo hileras de doceles de cultivos. A medida que el docel de soya comienza a cerrarse, la luminosidad bajo el docel disminuye, impidiendo el crecimiento de la cubierta del suelo. Con un docel desarrollado, la cubierta del suelo desaparece porque la penetración de la luz bajo la soya es baja. Los investigadores del Rodale Research Center están tratando de identificar especies que fijen nitrógeno y controlen la erosión durante el otoño, el invierno y al inicio de la primavera. Este cultivo de cobertura de leguminosas podría ararse al comienzo de la primavera antes de plantar otro cultivo de verano o podría mantenerse como una rotación de cubierta del suelo hasta el año siguiente. Las especies de leguminosas

TABLA 10.3 Efecto de la sobresiembra de cultivos de cobertura de leguminosas en el rendimiento del cultivo maíz y la reducción de las malezas (según Palada et al. 1983).

Duración de la sobre- siembra	Especies de leguminosas	Rendimiento de grano (t/ha)	Reducción malezas ^a
35 DDP ^b	Trébol rojo	7,30	76
	Arveja vellosa	7,13	72
	Control (sin sobresiembra)	7,49	-
47 DDP ^c	Trébol rojo	6,96	40
	Arveja vellosa	7,35	27
	Control (sin sobresiembra)	7,13	-

^a La sobresiembra de leguminosas dió un resultado promedio de 95% de cobertura del suelo en ambas especies.

^b DDP = días después de sembrar el maíz, una labranza antes de la sobresiembra.

^c DDP = días después de sembrar maíz, dos labranzas antes de la sobresiembra.

que parecen ser realmente una alternativa son los tréboles rojo o blanco, chícharo austríaco de invierno, y arveja vellosa.

Rotaciones con cultivos de cobertura basados en leguminosas

Las leguminosas en rotaciones o como abono verde son de gran utilidad para controlar la erosión del suelo y mantener su materia orgánica. Un cultivo típico de rotación de 3 a 6 años comúnmente usado por los agricultores orgánicos del medio oeste y del noreste de EE.UU incluyen la alfalfa o el trébol, el maíz, la soya y los granos pequeños, aumentando los años de inclusión de alfalfa o trébol en los suelos con laderas más pronunciadas.

Las leguminosas bien inoculadas entregan nitrógeno en abundancia para el siguiente cultivo de gramíneas. Por ejemplo, un primer año de alfalfa, que produzca de 7 a 11 toneladas por hectárea, cubrirá especialmente las necesidades de nitrógeno del siguiente cultivo de maíz con una producción igual o mayor que la del maíz fertilizando continuamente con 150 a 200 kg. de nitrógeno por hectárea. Una prueba de fertilidad de nitrógeno con maíz, realizada durante 1979/80 en el Rodale Research Center no mostró respuesta significativa frente a la adición de nitrógeno fertilizado en predios que se manejaron orgánicamente, y que se rotaron con cultivos de cobertura de leguminosas durante más de 5 años. Las mezclas leguminosas/pastos y tréboles, en donde predominan las leguminosas, resultan tan eficaces para fijar nitrógeno como los cultivos de alfalfa puros que produce la misma cantidad de forraje. Sin embargo, la alfalfa rinde generalmente más que el forraje (Palada et al. 1983).

Cultivo intercalado de franjas con cobertura de suelo

En los cultivos en franjas, éstos crecen simultáneamente en diferentes franjas, tan anchas como para permitir una labranza independiente, pero lo suficientemente angostas como para que 2 o más cultivos diferentes interactúen agrónomicamente. Los componentes pueden ser una combinación de cultivos por hileras, o una mezcla de cultivos por hileras y leguminosas, o pastos. Desde el punto de vista del nitrógeno del suelo, resulta más conveniente utilizar una cubierta de leguminosas. En predios con laderas y declives, se debe limitar el cultivo intercalado en franjas a una producción de cultivos en hileras. Estos sistemas reducen la erosión considerablemente, al reducir el flujo de las corrientes que bajan por las laderas.

Durante 1978, los científicos del Rodale Research Center estudiaron los sistemas de cultivo intercalado en franjas de trébol rojo, trébol blanco con maíz y soya. El maíz se plantó en franjas labradas de un metro, a razón de 40.000 plantas por hectárea en hileras dobles. La soya se sembró en franjas labradas de un metro, a razón de 250.000 plantas por hectárea. Las parcelas de muestreo consistían de hileras únicas, plantadas en suelos completamente labrados y sin cubierta de suelo entre las hileras. Los resultados mostraron que el cultivo intercalado en franjas redujo la producción de maíz en un 17 % y hasta en un 34 %, aunque no afectó la producción de soya. El maíz que se sembró intercalado con trébol blanco corto tuvo un rendimiento levemente más alto que el intercalado con trébol rosado medium. Los científicos llegaron a la conclusión que la elección de las especies de cobertura dependerá del uso que se le de a las leguminosas, aparte de su uso como cultivo de cobertura. Por lo general, el trébol rojo entrega más biomasa que el trébol blanco, por lo tanto resultaría apropiado para los agricultores que lo utilizan para obtener forraje, ensilaje o mulch verde (Palada et al. 1983).

En otro estudio sobre el efecto del ancho de la labranza en el maíz, los científicos encontraron que se obtuvo el mayor rendimiento (7.2 toneladas por hectárea) en terrenos de monocultivos con hileras individuales. La utilización de franjas labradas de 0,75 a 1,5 metros produjo rendimientos mayores que con otros anchos de labranza. La disminución en la producción de estos terrenos fue de sólo un 8% y un 6%, en comparación con el 20% y hasta el 50% de las otras técnicas. Los científicos de Rodale llegaron a la conclusión que el monocultivo de maíz produjo un total de materia seca mayor que cualquiera de las combinaciones, debido a su superioridad en el rendimiento. Aunque el sistema de cultivo intercalado produjo menos materia seca total, la ventaja global es la cosecha de dos cultivos alimentarios y además la reducción de la erosión del suelo, el aumento de materia orgánica y nitrógeno.

Por medio de la manipulación del ancho de labranza, la productividad total del sistema se puede ajustar para satisfacer las necesidades de granos y forraje del predio. Además, el ancho de labranza se puede ajustar para adecuarlo a la maquinaria de que se disponga sin que el suelo y el rendimiento del cultivo sufran efectos negativos.

Sistema de Mulch vivo

Para los horticultores un sistema de mulch vivo puede ser una forma económica de reducir la erosión del suelo, aumentar la materia orgánica y mantener los rendimientos compatibles con los sistemas convencionales. En 1978, los científicos del Rodale Research Center cultivaron hortalizas con una cubierta de pastos y trébol preexistentes. Los sistemas estaban compuestos de una cubierta de trébol rojo, una cubierta de pasto azul y de franjas completamente labradas. Se prepararon franjas de siembra de un metro y medio de ancho, a una distancia de dos metros, utilizando un rotovator. La mitad de cada sistema recibió 15 cm. de un picado verde de alfalfa, mientras la otra mitad se cubrió con una capa de polietileno negro. El mulch no se tocó durante una semana. En las franjas con mulch se plantaron tomates y maíz dulce. En los terrenos completamente labrados, la mitad de las hileras entre las franjas de la plantación se sembraron con trébol blanco y la otra mitad se mantuvo cultivada durante toda la época de crecimiento. Esto se llevó a cabo para determinar si la labranza para controlar malezas tenía algún efecto sobre el cultivo principal.

Las datos mostraron que los tomates cultivados en un suelo cubierto con una combinación de métodos de labranza y mulch produjeron más frutos que aquellos del típico predio limpio de otros cultivos. El rendimiento de los tomates con alfalfa fue un 17% superior que bajo la capa plástica de mulch en las franjas de cobertura con pastos y trébol, pero no en los predios sin cobertura. Las plantas cultivadas bajo el mulch de plástico negro se marchitaron y perdieron sus flores. Estos factores pueden haber contribuido a bajar los rendimientos bajo el mulch plástico.

El efecto del mulch en el maíz dulce fue todo lo contrario al de los tomates. Las diferencias más drásticas se presentaron entre los tratamientos de mulch y no entre los sistemas de cultivos. Se cosecharon más mazorcas bajo la alfalfa que bajo el mulch plástico. El maíz cultivado bajo el mulch plástico liberó el polen alrededor de 2 a 4 días antes de madurar, de manera que hubo muy poca polinización y el rendimiento disminuyó.

La labranza en las franjas de plantación del maíz y los tomates al parecer no afectó el rendimiento. Sin embargo, la labranza entre las hileras del predio sin otros cultivos disminuyó los rendimientos en comparación con las franjas sembradas con trébol blanco. Este estudio sugiere que el maíz dulce y los tomates se pueden adaptar

a los sistemas de mulch vivos, siempre que la cubierta de suelo vivo se asiente mediante un mulch en la franja de plantación y que la humedad del suelo sea continua y suficiente. La competencia con la cobertura viva no fue un problema en la medida que ésta se manejó adecuadamente.

Los efectos de los Mulch vivos sobre las poblaciones insectiles

Aunque aún se tiene poco conocimiento sobre las ventajas entomológicas de los sistemas de mulch vivos, los trabajos experimentales sugieren que muchos de estos sistemas han incorporado varias ventajas en el control biológico. La mayoría de los científicos se han basado en los cultivos de *Brassica*. Por ejemplo, Dempster y Coaker (1974) descubrieron que manteniendo una cubierta de trébol ayudaba a la disminución de tres insectos plagas (*Brevicoryne brassicae*, *Pieris rapae* y *Erioschia brassicae*) En el caso del *P. rapae*, su disminución se atribuyó al aumento en cantidad del escarabajo del suelo depredador, *Harpalus rufipes*, en los terrenos sembrados con cobertura. Se observaron aumentos similares al plantar trébol entre hileras de coles, lo que significó un aumento del 34% en la depredación de los huevos de la mosca de los tallos de la col, *Delia brassicae* (Cromartie 1981).

En el estado de Nueva York, se realizó un experimento utilizando la col con una siembra intercalada de varios mulch vivos y un monocultivo en suelo descubierto (Andow et al. 1986). Los mulch vivos consistieron de pastos tales como bentgrass, red fescue, Kentucky bluegrass y dos tipos de trébol blanco. Las poblaciones de *Phyllotreta cruciferae* y *Brevicoryne brassicae* fueron menores en las coles cultivadas con algún mulch vivo que en las coles de los monocultivos en suelo descubierto. Las larvas de primera generación de *Pieris rapae* fueron más comunes en las coles con mulch vivos de trébol, sin embargo, en la segunda generación los huevos y las larvas fueron menos comunes en las coles con mulch vivos de trébol. Estas diferencias en la densidad de población fueron determinadas probablemente por variaciones en las tasas de colonización de herbívoros y no por variaciones en la mortalidad de estos últimos. Los autores sugieren que si se utilizan mulch vivos, se deben eliminar los tratamientos químicos contra la *Phyllotreta*, al inicio de la estación. Sin embargo, esta ganancia potencial puede compensarse a través de una disminución del rendimiento debido a la competencia entre las coles y los mulch vivos.

Altieri, Wilson y Schmidt (1985) realizaron pruebas en dos lugares de California, probaron los efectos del trasfondo vegetal, en forma de mulches vivos y cubiertas de maleza natural sobre la dinámica poblacional de los artrópodos del suelo y del follaje, en sistemas de cultivo de coliflor, tomates y maíz. En Davis (sitio de Central Valley) los herbívoros (particularmente áfidos y ligueides) fueron más abundantes en los terrenos con malezas que en los terrenos con cobertura de mulch de trébol, mientras que en estos últimos fueron más comunes los saltahojas. Se observó una mayor cantidad de enemigos naturales en los terrenos con trébol. Se capturó una cantidad mayor de depredadores del suelo (Carabidae, Staphylinidae, Arachnidae) en las trampas ubicadas en los terrenos con maleza y trébol que en los labrados desmalezados. En Albany (área costera) las densidades de herbívoros especializados (áfidos de las coles y pulguitas *Phyllotretas*) se redujeron significativamente en los terrenos con cobertura de mulch vivo. No está claro si esta disminución se debió a la diversidad de plantas, a efecto de la densidad, a los efectos de enemigos naturales o a la baja calidad de las plantas en los terrenos con mulch y malezas; siendo así que el crecimiento de los cultivos y el rendimiento se redujo drásticamente en los terrenos

de ambas localidades. En Inglaterra, la sobresiembra de cereales con especies de pastos (i.e. ryegrass) aumentó la actividad de los abundantes enemigos naturales, incluyendo a los depredadores polífagos. Esta técnica parece ser uno de los medios más efectivos para aumentar el parasitismo del áfido mediante *Aphidius* spp. (Burn 1987). Un efecto parecido se presentó en Alemania, donde el parasitismo del *Metopolophium dirhodum* por dos parasitoides fue mayor en el trigo pulgón con sobresiembra de trébol que en monocultivos de trigo (El Titi 1986). Se garantizan trabajos agronómicos posteriores para minimizar los efectos competitivos de coberturas de leguminosas en los cultivos, de manera que las ventajas entomológicas se puedan usar de una forma práctica.

Rotación de cultivos y labranza mínima

La rotación de cultivos es un sistema en el cual éstos se siembran en una sucesión reiterativa y en una secuencia determinada sobre un mismo terreno (Page 1972). Experimentos que han durado más de 100 años en la Estación Experimental Agrícola en Rotterdam, Inglaterra, y en los terrenos de Morrow en la estación experimental agrícola de Illinois, han proporcionado importante información acerca de los efectos de la rotación de cultivos. Las pruebas indican que este sistema influye en la producción de las plantas, afectando la fertilidad, la erosión, la microbiología y las propiedades físicas del suelo, además a la sobrevivencia de agentes patógenos y, por último, al predominio de nemátodos, insectos, ácaros, malezas, lombrices de tierra y fitotoxinas (Summer 1982). Las rotaciones son el medio primario para mantener la fertilidad del suelo y lograr el control de malezas, plagas y enfermedades en los sistemas agrícolas orgánicos. Aun cuando muchas rotaciones se pueden aceptar, estas deben llevarse a cabo conforme a la siguiente pauta (Millington et al. 1990):

- Crear una fertilidad equilibrada e incluir un cultivo extractivo.
- Incluir un cultivo de leguminosas.
- Incluir cultivos con diferentes sistemas de rotación.
- Separar cultivos con plagas similares y susceptibilidad a las enfermedades.
- Rotar cultivos susceptibles a las malezas con cultivos que las detengan.
- Usar cultivos de abonos verdes y cobertura invernal del suelo.
- Aumentar el contenido de materia orgánica del suelo.

Se han utilizado estas estrategias de rotación para incorporar la diversificación a los sistemas de cultivo, para entregar nutrientes y manejar las plagas en el predio. Los mecanismos actuales que operan en las interacciones planta-animal, surgen de las rotaciones en un predio determinado, lo que se podría denominar, la estructuración biológica de un agroecosistema.

Los sistemas de cultivo que pueden mantenerse dependiendo de los recursos internos y renovables, se basan en un conocimiento más profundo del ambiente biológico y natural y en complejas interacciones entre los componentes de una secuencia de cultivo.

Una estructuración biológica eficaz depende de estas interacciones e interdependencias entre los cultivos y otros factores bióticos. Muchas de las interacciones más íntimas ocurren entre los cultivos presentes de un predio, al mismo tiempo, se traslapan o son secuenciales (Figura 11.1). Estas interacciones complejas se pueden denominar como la «secuencia biológica progresiva» en un predio, suma total de los cambios lineales y cíclicos que ocurren en un ambiente agrícola como resultado de las actividades de cultivo y las modificaciones del suelo que se producen por los cultivos y su manejo (Francis y Clegg 1990).



FIGURA 11.1 Patrón conceptual de los cambios dinámicos cíclicos y lineales en un ambiente como resultado de una sucesión cultivos y las decisiones de manejo (según Eduars et al. 1986).

Beneficios y efectos de la rotación de cultivos

Hasta los años 50, los rendimientos de trigo y algodón en California dependían de los recursos internos, del reciclaje de nitrógeno y materia orgánica. El nitrógeno se obtenía rotando estos cultivos con leguminosas. Dos tipos de éstas se pueden utilizar para mejorar la fertilidad del suelo, principalmente mediante la contribución de nitrógeno: leguminosas con semillas anuales y forrajes perennes usados como cultivos de abono verde. De hecho, muchos agricultores optaron por un sistema fijo de rotación: una leguminosa (alfalfa), un cultivo de alto ingresos (algodón) y un grano de bajo ingresos (trigo). La alfalfa puede producir hasta 10 ton por hectárea de materia seca y fijar alrededor de unos 200 kg. de nitrógeno por hectárea, lo que es suficiente para satisfacer gran parte de la demanda de nitrógeno de los cultivos de granos. En muchas áreas del cordón maicero de EE.UU., la alfalfa puede proporcionar hasta un 50% de ahorro del costo de nitrógeno para el primer cultivo de maíz después de la alfalfa. Obviamente que durante su año en rotación, la alfalfa también produce alimento de alta calidad para el ganado.

En la actualidad es común alternar en el cordón maicero, los dos principales cultivos comerciales, maíz y soya. La producción de maíz (Tabla 11.1) aumentó entre 16% y 17% al cultivarlo después de la soya (*Glycine max*) y al compararla con la del maíz continuo (Francis y Clegg 1990). Recientemente, los investigadores concluyeron que los efectos de la rotación se debían, principalmente a la mayor disponibilidad de nitrógeno después de la soya; aunque una investigación más profunda ha señalado que siendo éste el factor principal, también es importante la intensificación de la actividad biológica del suelo. La fijación de nitrógeno efectuado por la soya, puede variar de 57 kg. a 94 kg. por hectárea al año. Las rotaciones más largas, de más de dos años deberían incluir, cada año un cultivo de grano pequeño y una mezcla leguminosa/pasto para un cultivo de heno. La selección del cultivo dependerá, prin-

Tabla 11.1 Rendimiento del maíz (kg./ha) después de soya comparado con el cultivo continuo de maíz al que no se le ha aplicado fertilizante adicional de nitrógeno.

Año(s)	Rendimiento del maíz	
	Después de maíz (kg./ha)	Después de la soya (kg./ha)
1962	1.483	4.089
1967-1984 (8 años)	5.259	8.412
1980	4.450	6.890
1982-1983 (2 años)	3.100	3.600

principalmente, del factor económico. Las rotaciones también pueden eliminar insectos, malezas y enfermedades quebrando en forma efectiva el ciclo de vida de las plagas. Los cultivos de «quiebre» otorgan un control eficaz de plagas y enfermedades, aumentando la eficacia con la duración y frecuencia de los «quiebres». En la mayoría de los casos, un corte al año es suficiente para poder controlar, dependiendo de las condiciones ambientales y de determinados agentes patógenos o especies de insectos (Bullen 1967; Tabla 11.2).

TABLA 11.2 Efecto de la rotación del cultivo de maíz en las poblaciones de plagas o en su potencial de daño (según Metcalf y Luckmann 1975).

		Rotación del Cultivo	Sin Rotación	Soya Pastos y Cultivos de Heno
Escarabajos en la semilla		0	0	+ ^a
Gusano en la semilla del maíz		0	0	+
Ciempíes		-	-	+
Gusanos blancos		-	+	+
Pulgón de la raíz del maíz		-	-	+
Colaspis de la uva		-	-	+
Gusano de la raíz en el norte		+	-	-
Gusano de la raíz en el oeste		+	-	-
Gusano de la raíz en el sur		0	0	0
Gusano alambre		0	+	0
Pseudococcidos		-	-	+
Babosas		-	-	0
Trips		0	?	+
Acaros		0	0	0
Gorgojo europeo del maíz		0	0	0
Gorgojo del sudoeste		0	0	0
Lombriz del maíz		0	0	0
Cogollero		0	0	0
Spodoptera		0	0	+
Chinche		0	0	+
Pulgón de la hoja del maíz		0	0	0
Totales	+	2	2	10
	-	6	7	2
	0	13	11	9
	?	0	1	0

+ La práctica podría incrementar la población o el daño causado por el insecto.

- La práctica podría reducir la población o el daño.

0 No afecta.

? no se conoce si afecta.

Las rotaciones orgánicas están diseñadas con el fin de evitar los factores que predisponen a un aumento en los niveles de daño de plagas y enfermedades. Se evitan los cultivos sucesivos de las mismas especies y no se siembran muy próximos los unos de los otros para evitar los problemas comunes de plagas y enfermedades. Mientras mayores sean las diferencias botánicas entre los cultivos en una secuencia de rotación, se puede esperar un mejor control cultural de plagas. La rotación de cultivos anuales de verano con anuales de invierno, cultivos perennes con anuales, leguminosas con cereales, cultivos de temporada larga con cultivos de temporada corta son algunos ejemplos (Millington et al. 1990). Es decir el trébol rojo y los frijoles de invierno son susceptibles al *Sclerotinia trifolium*; por lo que no sería ideal cultivarlos juntos en la rotación.

Las poblaciones de malezas son especialmente sensibles a los cambios en las especies de cultivo y a los herbicidas usados de una temporada a otra. Como ya se mencionó, la rotación de cultivos de verano con cultivos de invierno es beneficioso, pues brinda la oportunidad de controlar tanto las malezas de verano como las de invierno. La rotación de una especie perenne con una anual también proporciona cierto control cultural de malezas no adaptadas a ninguno de las dos sistemas (Francis y Clegg 1990).

La secuencia de cultivos dentro de una rotación, puede ser esencial dado que algunos cultivos producen más o menos dependiendo del cultivo que les siguen. La mayoría de los experimentos han indicado efectos dañinos de los cultivos continuos del maíz y de los granos pequeños sobre la materia orgánica y el nitrógeno, en suelos que no se han fertilizado. El sorgo es un cultivo notoriamente difícil de seguir. El rendimiento de casi cualquier cultivo después del sorgo, será menor que después del maíz, la soya o el trigo. Se ha señalado que el efecto del sorgo en los cultivos subsiguientes, se debe al alto contenido de carbohidratos en las raíces de éste. La descomposición de las raíces estimula el crecimiento microbial en el suelo y «ata» el nitrógeno y otros nutrientes en la microflora del suelo, fenómeno conocido como inmovilización. En otros casos, el efecto de un cultivo con el que le sigue, puede relacionarse con las sustancias químicas dejadas en el suelo o producidas por la descomposición de los residuos del cultivo. Por ejemplo, los rastrojos del trigo inhiben el crecimiento de los posibles cultivos siguientes. Se cree que ciertos microbios del suelo producen sustancias aleloquímicas durante la descomposición de residuos.

La investigación ha señalado que las secuencias que incluyeron una leguminosa como abono verde, incrementaron el rendimiento de cultivos subsiguientes. Los beneficios del abono verde se obtienen mediante el almacenamiento de materia orgánica y de nutrientes en el suelo, mediante cultivos de restablecimiento y a la liberación de nutrientes al descomponerse la materia orgánica en el momento en que son más requeridos por el cultivo siguiente. La contribución más importante de los cultivos de coberturas con leguminosas de invierno, en especial en suelos arenosos, fue el incremento de nitrógeno (Doll y Link 1957). A lo largo de EE.UU., sobre todo en áreas con temporadas más o menos largas de heladas, se han desarrollado diversas rotaciones (como trigo/soya/leguminosa de invierno/maíz, trigo/maíz para ensilaje; pasto ryegrass anual y posteriormente se puede sembrar de nuevo soya/grano pequeños de invierno/sembrados intercaladamente en cultivos de verano).

En Inglaterra, en sistemas agrícolas combinados de pastos/trébol (ley farming)), el período de este sistema supone una acumulación fija de nitrógeno, con el fin de soportar la siguiente siembra de cultivos. Los próximos cultivos pueden obtener el

nitrógeno acumulado mediante la descomposición microbial de la materia vegetal que sigue al cultivo del pastizal. Además, la restitución de estiércol y lechada a partir del pastoreo y del ganado confinado permite el movimiento de nutrientes (en especial, del fósforo y del potasio) alrededor del predio. La característica importante de dichas rotaciones radica en que la fase donde se crea la fertilidad (pastizal de pasto/trébol), es económicamente productiva, dado que mantiene una empresa de ganado viable (Briggs y Courtney 1985).

Los rendimientos del maíz, después del trébol dulce, son efectivamente mayores que los rendimientos si se fertiliza con nitrógeno. En un experimento de 6 años en Indiana, el maíz, después del trébol dulce, produjo 5.952 kg. por hectárea; mientras que el maíz con 94 kg. de nitrógeno por hectárea produjo 5.506 kg. por hectárea. El sorgo aumentó las cosechas por 4 temporadas cuando se cultivó después del trébol dulce, con un efecto mayor en el primer año (Francis y Clegg 1990).

En la agricultura moderna la necesidad de rotaciones de cultivo, desde el punto de vista de la fertilidad del suelo, ha disminuido debido a la disponibilidad de fertilizantes inorgánicos. El gran incremento del abastecimiento de nitrógeno químico en EE.UU., durante los años 50, dio énfasis al cultivo continuo. A medida que los precios de la energía y del fertilizante nitrogenado sigan subiendo, las rotaciones pueden, de nuevo, convertirse en rentables asegurando un ahorro importante de energía. Heichel (1978) señaló que las rotaciones de cultivos basadas en maíz, que incorporan leguminosas de forraje y granos, reducen la demanda de energía. Comparado con el cultivo continuo, el flujo de energía fósil en las rotaciones, se reduce hasta en un 45% (Tabla 11.3).

Obviamente que la secuencia especial de cultivos utilizada en una rotación, variará con el clima, la tradición, la economía y otros factores. Se debería esperar, sin embargo, que las rotaciones de cultivos amplíen la base económica de la empresa agrícola, distribuyan las demandas de mano de obra en forma más equitativa durante el año y permitan la producción de cultivos de alta utilidad, aumentando, de este modo, las oportunidades de ingresos (Briggs y Courtney 1985). Cada predio, en particular, tiene rotaciones específicas, por lo que no tiene gran sentido el realizar generalizaciones. El siguiente ejemplo, proveniente de Escocia, de una rotación de tierra intensamente labrada con un ganado vacuno comprado para fines de engorde, indica la adaptación secuencial a la topografía y al clima, haciendo uso intensivo de las necesidades del ganado como de los ingresos de un cultivo comercial (Widdowson 1987):

TABLA 11.3 Intensidad y eficiencia del uso de energía en maíz continuo comparada con rotaciones de cultivos que incorporan leguminosas de granos y forraje (Heichel 1978).

Rotación	1 Maíz continuo	2 2 maíz soya	3 2 maíz avena 2 alfalfa	4 3 maíz 3 soya trigo 3 alfafa	5 2 maíz alfalfa	6 maíz soya arveja
Flujo de energía fósil (Mcal/acre/día)	17,4	12,9	10,7	9,7	11,1	8,9
Rendimiento del cultivo (lbs materia seca/ acre)	7,767	6,216	7,337	6,150	6,645	5,200
Rendimiento de energía del cultivo/Flujo de energía fósil	6,1	6,6	7,8	8,3	8,1	8,2

- Año 1: Trigo de invierno. Cultivo comercial después de papas.
- Año 2: Tubérculos. Para alimentación del ganado: un cultivo limpio después del cereal. También un cultivo para recibir abono del corral del predio.
- Año 3: Cebada de primavera. Cultivo comercial que utiliza los residuos dejados luego de la saca de tubérculos para alimentar el ganado. El nivel de oxígeno será bajo por lo que es posible una germinación de cebada.
- Año 4: Semilla de pastos. Heno para ganado.
- Año 5: Avena de primavera. Para alimentación del ganado.
- Año 6: Papas semillas. Un cultivo comercial. Tiempo suficiente para lograr cultivos profundos antes de la siembra, y la aplicación de grandes cantidades de abono del predio preparado el año anterior.

La rotación utiliza la mitad de los cultivos para la alimentación del ganado y la otra para generar ingresos. La meta es lograr dos cultivos comerciales de altos ingresos, cebada germinada y papas para semillas. Las papas pueden venderse para semillas, ya que la velocidad del viento es tan alta que no permite que el pulgón produzca daño y por ende la posibilidad de una enfermedad de tipo viral es imperceptible. En la actualidad el ganado se adquiere de los criaderos cercanos en las tierras altas de Escocia, pero tradicionalmente se compraba en Irlanda (mostrando las implicancias multinacionales del sistema agrícola). El ganado vacuno se «termina» de engordar en corrales cubiertos, usando la paja del trigo, avena y cebada para la producción del abono del predio. Se alimenta a los animales con paja de avena y heno para asegurar una ingesta adecuada de fibra. El grano de la avena, mas las papas rechazadas y los tubérculos, completan la dieta del ganado. Los nutrientes entregados por esta dieta, aseguran que el ganado se engorde y venda totalmente en el invierno. En este tipo de rotación agrícola, cada cultivo dura sólo un año.

Sistemas de labranza mínima

La labranza mínima es cualquier sistema de labranza que reduce la pérdida de suelo y conserva su humedad al compararla con la labranza convencional o limpia (Mueller et al. 1981). Con este sistema, los residuos no incorporados de la planta, se dejan en el suelo y su superficie permanece, así, lo más áspera posible. La mayoría de los investigadores consideran que la labranza de conservación es como cualquier sistema que deja un 30% o más de cobertura de residuos después de sembrar. Los diferentes tipos incluyen labranza mínima, arado con cincel, cero labranza, surco de plantas y la labranza de conversión. Cuando estos sistemas se aplican exitosamente pueden reducir el consumo de energía y controlar eficazmente la erosión.

La producción de cultivos que usan métodos de no labranza, han demostrado que disminuyen los insumos de energía y material y, quizás lo más importante, reducen la erosión del suelo. Los sistemas de no labranza también mejoran el itinerario y planificación de las operaciones sirviendo como paliativo ante varias restricciones de tipo meteorológico. En la Tabla 11.4 se representan las diferencias generales entre ambos sistemas. Los cultivos que crecen con estas prácticas habitualmente pueden sembrarse, tratarse para el control de las malezas y cosecharse cuando los campos labrados están demasiado fangosos para entrar. Otras ventajas incluyen la conservación de la humedad, la compactación reducida del suelo y, el incremento en el potencial de cultivos múltiples. Aún más, el rendimiento de cultivos proveniente de sistemas de no labranza equivalen o exceden, con frecuencia, al rendimiento producido por métodos convencionales (Phillips y Phillips 1984). Un estudio del USDA

estimó que para el año 2000, el 65% de los acres en campos de trigo, heno y soya en EE.UU serán producidos por métodos de labranza reducidos (Phillips et al. 1980).

El sistema sin labranza causa muy pocas alteraciones al suelo. La operación de siembra y labranza de una sola pasada, labra un canal de aproximadamente 5 cm de ancho para la ubicación de la semilla. El canal se abre generalmente con una cuchilla acanalada colocada en la punta de la unidad de plantío. Con un suelo no disturbado más del 95% del residuo queda en la superficie.

TABLA 11.4 Comparación de efectos de labranza con los factores que influyen en la productividad del cultivo.

Factores	Labranza Convencional	Labranza Mínima	Efecto en el Cultivo ^a
<i>Factores del Suelo</i>			
Temperatura	Días cálidos, noches heladas	Poca variación	+/-
Consumo de agua	Alta después de la labranza decrece el encostramiento	Tasa inicial baja mantenida a través de la temporada	+/0
Minerales aplicados superficialmente	Combinados con suelo a profundidad de la siembra	Filtrar lentamente	0
Densidad del suelo	Disminuido por labranza primaria	Poco efecto	0/-
Compactación	Alterada por labranza	Poca alteración	-
Aireación	Incremento inicial	Poco efecto	0/-
Tasa de descomposición de la materia orgánica	Combinado con el suelo	Cerca de la superficie	-
<i>Factores Biológicos</i>			
Control de malezas	Excelente, inicialmente	Confiable en los herbicidas	-
Enfermedades	Inóculo enterrado (no incorporado)	A nivel de la superficie	-
Invertebrados del suelo benéficos	Ciclo de vida disturbados	Poco efecto	+
destrutivos	Igual que los benéficos	Poco efecto	-
<i>Función Maquinaria</i>			
Siembra	Máquina diseñada para suelo suelto	Equipo especial para suelo no alterado	0/-
Cultivación	Efectivo en suelo suelto, corte de raíces	Más difícil por mulch	0/-
Resistencia al pisoteo (en suelo húmedo)	Pobre	Buena	+
<i>Manejo</i>			
Operaciones a tiempo	Pueden atrasarse	Más a tiempo para ser seguras	+
Demanda de fuerza	Incrementada por operaciones sucesivas	Mínima	N/A
Demanda de mano de obra	Incrementada por operaciones sucesivas	Mínima	N/A
Confiable	Alta	Errática	N/A

^a Códigos: + efecto positivo para no labranza; 0 efecto neutral o no efecto; - no labranza detrimental, N/C no aplicable.

Efectos en las características del suelo y en el crecimiento de las plantas

Humedad del suelo. Los sistemas de labranza que dejan cubierto con residuo el 50% o más de la superficie del suelo después de la siembra, generalmente aumentan la humedad de éste durante toda la temporada, debido al aumento de la filtración y a la baja de evaporación. El incremento de agua debería elevar el potencial de rendimiento en áreas con bajo régimen anual de lluvias y en suelos con poca capacidad para retener agua. El agua extra puede retrasar la siembra y reducir el potencial del rendimiento en suelos escasamente drenados en las latitudes del norte (Sprague y Triplett 1986). Durante la temporada, los cultivos con suelos no labrados y cubiertos con mulch experimentan menos estrés de sequía que en un suelo labrado. El rendimiento de terrenos, con o sin labranza, es similar en años con amplio régimen de lluvias.

Temperatura del suelo. Varios estudios han demostrado que el aumento de residuos en la superficie demora la velocidad de calentamiento del suelo en primavera, por lo tanto, se retrasa la germinación, la emergencia y el crecimiento prematuro de los cultivos, especialmente, en el norte de EE.UU. Sin embargo, esto podría ser un beneficio en el sur de EE.UU y en climas más tropicales. Los diferentes tipos de sistemas de labranza dejan diversas cantidades de residuos en la superficie, teniendo como resultado una variación de temperaturas en los suelos. Estas diferencias de temperatura entre las prácticas sin labranza y las convencionales pueden variar de 1 a 4°C.

Fertilidad del suelo. Debido al aumento de residuos y a la disminución de labranza, los sistemas de labranza mínima producen variados niveles de humedad, temperatura, contenido de materia orgánica, tasa de descomposición y población microbial. Todos estos factores influyen en la disponibilidad de nutrientes y, por lo tanto, en la necesidad de fertilizantes. El dejar residuos en la superficie, crea materia orgánica cerca de ésta, lo que desencadena efectos positivos en las propiedades físicas del suelo. Desafortunadamente, los investigadores no han sacado ninguna conclusión de los estudios realizados hasta ahora, para saber si los programas de fertilización nitrogenada deben modificarse por los sistemas de labranza mínima.

Algunas pruebas señalan que los residuos dejados en la superficie, en el primer año después de la adopción del sistema sin labranza, ejercerán una gran demanda de nitrógeno pudiendo causar deficiencias o, al menos, una baja en la disponibilidad de nitrógeno. Sin embargo, cuando se ha utilizado la labranza mínima durante varios años, este sistema se estabiliza y la disponibilidad de nitrógeno no es tan diferente a la de la labranza convencional. En el sistema sin labranza existe, en general, un incremento de N orgánico en la capa superficial del suelo de 0 a 5 cm. Además comparado con el sistema convencional, el sistema sin labranza parece tener igual o mayor disponibilidad de fósforo, sin tomar en cuenta si el fertilizante se aplicó en franja o al voleo. Al no haber labranza, este fenómeno se manifiesta a pesar del hecho de que el fósforo disperso al voleo se acumula en el primer centímetro del suelo, debido a la falta de incorporación y movimiento a través del perfil de éste. Los residuos en la superficie permiten, posiblemente, una humedad suficiente para el crecimiento de las raíces y la captación de los nutrientes fosfóricos.

En este tipo de sistema, existe un desacuerdo acerca de la disponibilidad de potasio. Algunos investigadores han descubierto una disminución en la disponibilidad de potasio, especialmente, bajo algunas condiciones de humedad y frío, mientras que otros han señalado que no existe tal deficiencia. Las investigaciones a futuro debie-

ran aclarar estos puntos de vista conflictivos, sin embargo, en un manejo sin labranza, las aplicaciones continuas del fertilizante potásico provoca una acumulación de potasio (K) en los 5 cms. de la capa superior del suelo (D•Itri 1985).

Acidez del suelo. La acidez del suelo se convierte en un factor significativo dentro del sistema sin labranza. Un problema es la aireación de la superficie del suelo donde se aplica el fertilizante nitrogenado. Los bajos niveles de pH, cerca de la superficie, pueden desencadenar pérdidas en el rendimiento del cultivo debido a la poca disponibilidad de nutrientes y a la competencia adicional de malezas. La rápida disminución del pH en el suelo no es tan problemática cuando se utilizan leguminosas, lo que implica una demanda menor del fertilizante nitrogenado. De los microelementos, el magnesio se ve poco afectado y el azufre probablemente se encuentre menos disponible a partir de la materia orgánica del suelo. Tiende a haber más zinc debido al alto contenido de materia orgánica y al bajo nivel de pH. En general, la fertilidad del suelo, en sistemas sin labranza, se encuentra fuertemente influida por los efectos interactivos de la humedad incrementada en el suelo, de los altos niveles de la materia orgánica que se descompone lentamente en el suelo, de la mayor acidez y de las menores temperaturas en la primavera (Sprague y Triplett 1986). Es un gran desafío la identificación de cultivos que dejan residuos en la superficie con actividad alelopática hacia una amplia gama de especies de malezas.

Efectos sobre las plagas

Control de malezas. La conservación de los sistemas de labranza mínima dependen de aplicaciones masivas de herbicidas. Generalmente la máxima relación de herbicidas se usa con el maíz, dada la acumulación de semillas en la superficie, las que potencialmente ejercen una mayor presión de malezas que en los sistemas convencionales de labranza. Además los rastros superficiales interceptan e inactivan parte del herbicida aplicado.

Al eliminar la labranza, se producen cambios en las especies de malezas. Las perennes que generalmente son controladas por la labranza, se vuelven estables y persisten en campos no labrados. A menudo, las malezas, que tienen relación botánica con el cultivo, y otros, que escapan de control, crecen convirtiéndose en un problema mayor. Un ejemplo clásico es el incremento de *Panicum* en el maíz después de repetidas aplicaciones de atrazina para controlar las malezas anuales en sistemas sin labranza (Sprague y Triplett 1986).

Control de enfermedades. Las alteraciones del microclima que provocan los residuos en la superficie, pueden retardar, aumentar o no afectar las enfermedades de los cultivos. Generalmente, el grado de influencia en las enfermedades de las plantas provocadas por los residuos, se relaciona con la cantidad residual que permanece después de la siembra. Los residuos de la superficie pueden afectar a las enfermedades de la planta de diversas maneras. Estos proporcionan un hábitat para sobrevivir al invierno (supervivencia), permiten el crecimiento y multiplicación de agentes patógenos, particularmente de tipo fungal y bacterial. Existen varios agentes patógenos que sobreviven mejor, al invierno, en los residuos de superficie, porque se encuentran protegidos del ambiente y de otros microorganismos. La labranza superficial aumenta la probabilidad de epidemias causadas por estos agentes patógenos. Durante un estudio de 7 años, nunca se observó que las enfermedades foliares fueran un problema del trigo o del sorgo de grano cultivados en un sistema de labranza mínima en Nebraska (Doupnik y Boosalis 1980). La incidencia de la descomposición del

pecíolo del sorgo de grano, una enfermedad de estrés causada por *Fusarium moniliforme* se redujo fuertemente en el sistema sin labranza comparado con el sistema convencional de labranza. Su incidencia se redujo de un 39% a un 11% y el rendimiento aumentó (Sprague y Triplett 1986). El incremento del almacenamiento de humedad en el suelo y su temperatura más baja, pero constante, asociados con la labranza mínima son, sin duda, los factores principales que provocan una incidencia menor en la descomposición del pecíolo del maíz. Bajo estas condiciones más favorables de cultivo, las plantas son menos vulnerables a este hongo. Contrariamente, en Wisconsin la mancha ocular (una enfermedad de la hoja del maíz) es más grave en el maíz cultivado en el sistema sin labranza.

La rotación de cultivos es especialmente importante para controlar las enfermedades en sistemas de labranza superficial. Existe una mayor posibilidad de que ciertas enfermedades de la planta aumenten al sembrar un cultivo en el propio residuo proveniente de la temporada anterior, sin un período de barbecho, que al sembrar un cultivo en el residuo de un cultivo no relacionado. La rotación de sistemas de labranza es otra forma de disminuir enfermedades asociadas con la labranza reducida. La inclusión de la rotación de labranza más la rotación de cultivos es un excelente método para manejar las enfermedades. Esto podría realizarse, de tal forma, que se pueda retener de un 20% a un 30% de los residuos superficiales, brindando los beneficios de la labranza de superficie y, al mismo tiempo, reduciendo el potencial brote de enfermedades.

Las enfermedades fungosas del suelo asociadas con la labranza superficial, pueden disminuir según el tipo, la cantidad y el tiempo de aplicación del fertilizante. Aplicando sulfato de amonio en la primavera se logró una cosecha normal de trigo, mientras que con una baja aplicación de nitrógeno al trigo sembrado en primavera, aumentó.

Dinámica de los insectos. Los entomólogos, que trabajan en agricultura sin labranza, descubrieron que la capa de mulch esparcida en el suelo no labrado, brinda un microhábitat favorable para algunos insectos que atacan el maíz, como el gusano ejército, el gusano alambre y trozadores (House y Stinner 1983). La pérdida de métodos seguros de destrucción mecánica del maíz no labrado, incrementa la supervivencia de insectos plagas que habitan en el residuo de cultivo o que residen en o cerca de la superficie del suelo. El mayor peligro de infestación de plagas ocurre en las etapas de semilla y plántula, por plagas de insectos subterráneos. Hay dos tendencias de las plagas en los sistemas sin labranza: (a) el nivel de actividad de plagas está relacionado con el tipo anterior de cultivo y (b) generalmente los sistemas sin labranza mantienen una diversidad mayor de insectos plaga que los sistemas convencionales de labranza. La mayoría de los enfoques para solucionar los problemas de plagas en los sistemas sin labranza, han sido muy sintomáticos. Se ha puesto una confianza casi única en los insecticidas de amplio espectro, y poco se ha dedicado la investigación a crear métodos culturales y biológicos para eliminar y prevenir las plagas.

Recientemente investigadores en Georgia, han informado los aspectos entomológicos benéficos inherentes a los sistemas sin labranza (House y Stinner 1983). Por ejemplo, el gorgojo menor del pecíolo del maíz *Elasmopalpus lignosellus* se alimenta de preferencia, de los granos y pecíolos residuales del maíz sin labranza. De esta manera las infestaciones de este gorgojo se pueden atrasar. En la tropical Costa Rica, Shenk y Saunders (1983) descubrieron que la incidencia del gusano cortador *Spodoptera frugiperda* y el crisomélido *Diabrotica balteata* era mucho mayor en terrenos de maíz arados que en aquellos no labrados. En el norte de Georgia, en la zona de cultivos de soya, la abundancia y diversidad de las escarabajos carábidos

son, a menudo, mayores en los campos sin labranza que en los labrados convencionalmente. Las malezas y los residuos de superficie en un sistema sin labranza, brindan a la fauna arácnida y carábida depredadora, más recursos de alimentación y protección ante las condiciones desfavorables del clima (House y Stinner 1983). El control que ejercen sobre poblaciones de semillas de maleza puede ser sustancial. Tal como se observó en el sorgo no labrado, el aumento de la humedad y la disminución de temperatura pueden incrementar el desarrollo de patógenos de insectos como es el caso de los nemátodos Rhabditidae (Sprague y Triplett 1986).

Rendimiento de los cultivos

A pesar de la variabilidad de las respuestas entre los rendimientos de los sistemas con y sin labranza, se pueden hacer ciertas generalizaciones:

1. Los residuos de superficie, dejados en la labranza de conservación, reducen la evaporación y el escurrimiento del agua. En zonas, donde el régimen pluviométrico inadecuado es el principal factor que limita el crecimiento de las plantas, la propiedad del mulch de conservar la humedad de la superficie es una ventaja clara y, probablemente, esto explica el alto porcentaje de tierras en labranza de conservación en las praderas del norte de EE.UU.

2. Los residuos de superficie, y el aumento asociado en la humedad del suelo, retarda el calentamiento del suelo en primavera, demorando la germinación de las semillas y la emergencia de las plántulas. En lugares donde la temporada de cultivo es, en sí, corta, como en las latitudes altas, esta característica de la labranza de conservación es una desventaja en el rendimiento.

3. La labranza de conservación tiene desventajas de rendimiento en suelos escasamente drenados. Aparentemente la humedad del suelo es el factor único más importante que restringe la adopción de la labranza de conservación en el cordón maicero de EE.UU; haciéndose menos restrictivo a medida que uno se desplaza de este a oeste. Los organismos infecciosos y las malezas, favorecidos por ambientes húmedos, son los culpables de los bajos rendimientos en suelos con mal drenaje; el frío y las condiciones de humedad también retardan la mineralización del nitrógeno orgánico facilitando la desnitrificación y descomposición de los herbicidas por las bacterias del suelo.

4. Cuando los herbicidas no controlan adecuadamente las malezas, los sistemas reducidos de labranza exhiben menores rendimientos. En especial, las malezas perennes pueden llegar a ser un problema, pues son menos vulnerables que las anuales a los herbicidas, debido a la regeneración bajo tierra.

5. La labranza de conservación ahorra tiempo entre la cosecha de un cultivo y la siembra de otro, siendo más favorable para los cultivos dobles que para los monocultivos. El rendimiento económico de la tierra se incrementa al haber dos cultivos por año en vez de sólo uno. En el sur de EE.UU, esta ventaja es donde más se destaca, aquí el alargamiento de la temporada de cultivo, de por sí larga, favorece la duplicación de cultivos. También se practica en lugares del cordón maicero al sur de EE.UU.

Requerimientos de energía

En muchos sistemas sin labranza se necesita menos energía para las operaciones de labranza. Los beneficios de ahorrar energía en la labranza de conservación son: (a) menor consumo de combustible debido a las reducidas operaciones agrícolas, (b) menor necesidad de tiempo y mano de obra, (c) posibilidad de duplicar los cultivos y

(d) menor inversión en maquinaria agrícola. Sin embargo, algunas actividades como el alto consumo de herbicidas, uso de semillas especiales y equipo demandan más energía. Dado que se elimina el arado, y otras operaciones sobre el suelo, estos sistemas dan por resultado, reducciones del 34% al 76% en combustible en las operaciones de labranza. No obstante, los requerimientos de uso adicional de herbicidas, en sistemas sin labranza, pueden contrarrestar algunas de estas ganancias. Sin embargo, en general, en el medio oeste de EE.UU, los costos totales de producción del maíz se elevan lentamente con la intensidad de la labranza. Se necesita investigar en rotaciones de cultivo, que incluyan cultivos que dejen residuos con actividad alelopática contra ciertas malezas (ver Capítulo 14), para garantizar en forma clara el uso de herbicidas en los sistemas de no labranza. Se eliminan muchas malezas anuales de hoja ancha si se dejan en la superficie del suelo, mulches, especialmente coberturas de pequeños granos (Putnam y DeFrank 1983). El centeno «Balboa» disecado en otoño y el trigo «Tecumseh» usados en rotaciones pueden reducir, en gran cantidad, la biomasa de malezas de la siguiente temporada de crecimiento. Al inhibir por alelopatía la germinación y el crecimiento de varias especies de malezas.

Diseño de sistemas de ecolabranza y ecobarbecho

Al adoptar un enfoque holístico que considere todos los factores que afectan a la producción, se puede aplicar alguna forma de labranza de conservación a una amplia gama de suelos y regiones ecológicas (D'Itri 1985). La labranza de conservación requiere una serie especial de prácticas culturales que pueden ser diferentes de aquellas necesarias para el cultivo basado en la labranza (Figura 11.2). Se debieran considerar en forma especial la serie de prácticas culturales, que han sido específicamente desarrolladas para la labranza de conservación. Este tipo de sistema no es sólo un concepto, sino que un conjunto de prácticas culturales especialmente desarrolladas y adoptadas para conservar los recursos del suelo y del agua, generar rentabilidades altas y satisfactorias, minimizar la degradación del suelo y del medio ambiente manteniendo los recursos básicos.



FIGURA 11.2 Prácticas culturales necesarias para la adopción exitosa de la labranza de conservación.

Capítulo 12

Sistemas agroforestales

John G. Farrell y Miguel A. Altieri

La agroforestería es el nombre genérico utilizado para describir un sistema de uso de la tierra antiguo y ampliamente practicado, en el que los árboles se combinan espacial y/o temporalmente con animales y/o cultivos agrícolas. Esta combina elementos de agricultura con elementos de forestería en sistemas de producción sustentables en la misma unidad de tierra. Sin embargo, sólo recientemente se han desarrollado los conceptos modernos de agroforestería y hasta la fecha no ha evolucionado ninguna definición aceptable universalmente, a pesar de que se han sugerido muchas, incluyendo la definición de ICRAF: «La agroforestería es un sistema sustentable de manejo de cultivos y de tierra que procura aumentar los rendimientos en forma continua, combinando la producción de cultivos forestales arbolados (que abarcan frutales y otros cultivos arbóreos) con cultivos de campo o arables y/o animales de manera simultánea o secuencial sobre la misma unidad de tierra, aplicando además prácticas de manejo que son compatibles con las prácticas culturales de la población local» (Consejo Internacional para la Investigación en la Agroforestería 1982). Cualquiera sea la definición, generalmente se está de acuerdo en que la agroforestería representa un concepto de uso integrado de la tierra que se adapta particularmente a las zonas marginales y a los sistemas de bajos insumos. El objetivo de la mayoría de los sistemas agroforestales es el de optimizar los efectos benéficos de las interacciones de los componentes boscosos con el componente animal o cultivo para obtener un patrón productivo que se compara con lo que generalmente se obtiene de los mismos recursos disponibles en el monocultivo, dadas las condiciones económicas, ecológicas, y sociales predominantes (Nair 1982).

Características de la agroforestería

La agroforestería incorpora cuatro características:

Estructura. A diferencia de la agricultura y la actividad forestal modernas, la agroforestería combina árboles, cultivos y animales. En el pasado, los agricultores rara vez consideraban útiles a los árboles en el terreno para el cultivo, mientras que los forestales han tomado los bosques simplemente como reservas para el crecimiento de árboles (Nair 1983). Aun así, durante siglos los agricultores tradicionales han proporcionado sus necesidades básicas al sembrar cultivos alimenticios, árboles y animales en forma conjunta.

Sustentabilidad. La agroforestería optimiza los efectos beneficiosos de las interacciones entre las especies boscosas y los cultivos o animales. Al utilizar los ecosistemas naturales como modelos y al aplicar sus características ecológicas al sistema agrícola, se espera que la productividad a largo plazo pueda mantenerse sin

degradar la tierra. Esto resulta particularmente importante si se considera la aplicación actual de la agroforestería en zonas de calidad marginal de la tierra y baja disponibilidad de los insumos.

Incremento en la productividad. Al mejorar las relaciones complementarias entre los componentes del predio, con condiciones mejoradas de crecimiento y un uso eficaz de los recursos naturales (espacio, suelo, agua, luz), se espera que la producción sea mayor en los sistemas agroforestales que en los sistemas convencionales de uso de la tierra.

Adaptabilidad cultural/socioeconómica. A pesar de que la agroforestería es apropiada para una amplia gama de predios de diversos tamaños y de condiciones socioeconómicas, su potencial ha sido particularmente reconocido para los pequeños agricultores en áreas marginales y pobres de las zonas tropicales y subtropicales. Si se considera que los campesinos generalmente no son capaces de adoptar tecnologías muy costosas y modernas, que han sido pasados por alto por la investigación agrícola y que no tienen poder social o político de discernimiento, la agroforestería se adapta particularmente a las realidades de los pequeños agricultores.

Clasificación de los sistemas agroforestales

Varios criterios se pueden utilizar para clasificar las prácticas y sistemas agroforestales (Nair 1985). Se utilizan más corrientemente la estructura del sistema (composición y disposición de los componentes), función, escala socioeconómica, nivel de manejo y la distribución ecológica. En cuanto a la estructura, los sistemas agroforestales pueden agruparse de la siguiente manera:

- **Agrosilvicultura:** el uso de la tierra para la producción secuencial o concurrente de cultivos agrícolas y cultivos boscosos.
- **Sistemas silvopastorales:** sistemas de manejo de la tierra en los que los bosques se manejan para la producción de madera, alimento y forraje, como también para la crianza de animales domésticos.
- **Sistemas agrosilvopastorales:** sistemas en los que la tierra se maneja para la producción concurrente de cultivos forestales y agrícolas y para la crianza de animales domésticos.
- **Sistemas de producción forestal de multipropósito:** en los que las especies forestales se regeneran y manejan para producir no sólo madera, sino también hojas y/o frutas que son apropiadas para alimento y/o forraje.

Otros sistemas agroforestales se pueden especificar, como la apicultura con árboles, la acuicultura en zonas de manglar, lotes de árboles de multipropósito y así sucesivamente. Los componentes se pueden disponer temporal o espacialmente y se utilizan varios términos para señalar las variadas disposiciones. La base funcional se refiere al producto principal y al papel de los componentes, en particular los arbolados. Estos pueden ser funciones productivas (producción de las necesidades básicas, como alimento, forraje, leña, otros productos) y roles protectores (conservación del suelo, mejoramiento de la fertilidad del suelo, protección ofrecida por los rompevientos y los cinturones de protección).

Basándose en la ecología, los sistemas se pueden agrupar para cualquier zona agroecológica definida como las zonas tropicales húmedas de las tierras bajas, zonas tropicales áridas y semiáridas, tierras altas tropicales y así sucesivamente. La escala socioeconómica de la producción y el nivel de manejo de los sistemas se puede utilizar como los criterios para designar a los sistemas como comerciales, interme-

dios o de subsistencia. Cada uno de estos criterios tienen méritos y aplicabilidad en situaciones específicas, pero también tienen limitaciones, por lo que ninguna clasificación única se puede aplicar universalmente. La clasificación dependerá del propósito para el que se planifique.

El papel potencial de los árboles

Los árboles generalmente se subutilizan en la agricultura y, si bien se ha escrito mucho respecto a sus virtudes (Smith 1953, Douglas y Hart 1976, MacDaniels y Lieberman 1979), su potencial se ha explotado relativamente poco. A causa de sus hábitos de crecimiento y su forma, los árboles influyen a otros componentes del sistema agrícola (Figura 12.1). Sus grandes doses afectan la radiación solar, precipitaciones y movimiento del aire, a la vez que su extenso sistema de raíces ocupa grandes volúmenes de suelo. La absorción de agua y nutrientes y la redistribución de los nutrientes como el humus, al igual que el movimiento irruptivo de las raíces y las posibles asociaciones bacteriales/fungales, también pueden alterar el ambiente de crecimiento.

Los árboles pueden mejorar la productividad de un agroecosistema, al influir en las características del suelo, del microclima, de la hidrología y de otros componentes biológicos asociados.

Características del suelo. Los árboles pueden afectar el nivel de nutrientes del suelo al explotar las reservas minerales más profundas de la roca parental y recuperar

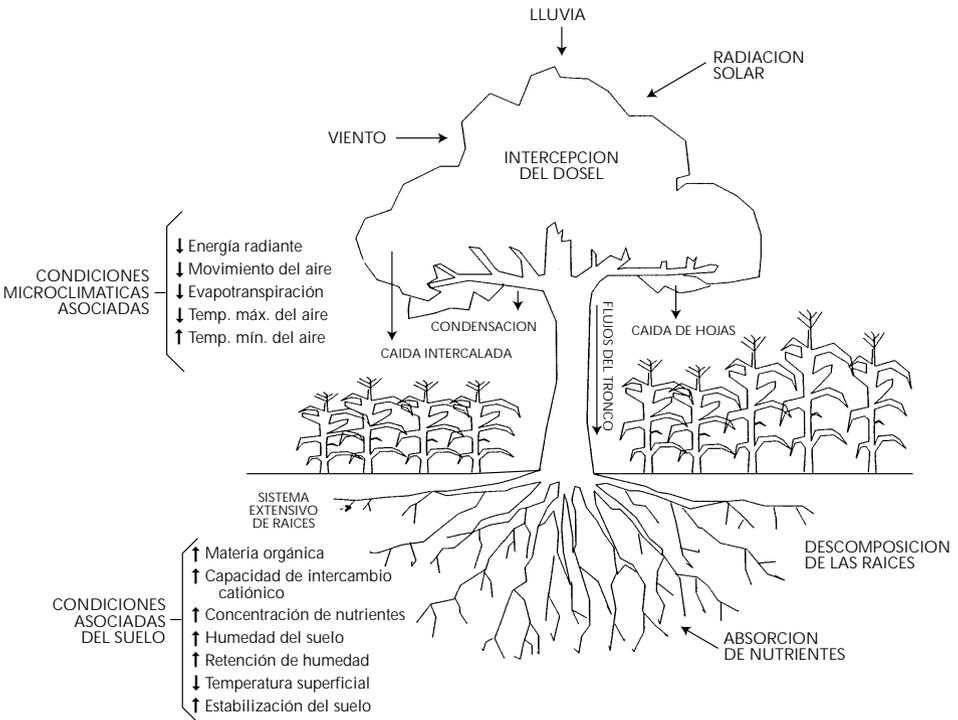


FIGURA 12.1 Influencia de los árboles en Tlaxcala, México, en el ambiente de crecimiento del maíz (Farrell 1984).

los lixiviados y depositarlos sobre la superficie como humus. Esta materia orgánica aumenta el contenido de humus del suelo, el cual a su vez aumenta su capacidad de intercambio de cationes y disminuye las pérdidas de nutrientes. La materia orgánica adicionada modera además las reacciones del suelo extremas (pH) y la consecuente disponibilidad de nutrientes esenciales y elementos tóxicos. Puesto que el nitrógeno, fósforo y azufre se tienen fundamentalmente en forma orgánica, la abundancia de materia orgánica es especialmente importante para aprovecharlos. La asociación de árboles con bacterias fijadoras de nitrógeno y micorrizas también incrementará los niveles de nutrientes disponibles. La actividad de microorganismos tiende a aumentar debajo de los árboles, debido a que la materia orgánica es incrementada (un abastecimiento de alimentos mejorado) y al ambiente de crecimiento (temperatura y humedad del suelo).

Un estudio realizado para evaluar el papel de los árboles en los sistemas de agricultura tradicional de México Central (Farrel 1984), ilustra la influencia potencial de los árboles sobre la fertilidad del suelo. Las propiedades de la superficie del suelo se midieron a distancias crecientes de dos especies de árboles, capulín (*Prunus capuli*) y sabino (*Juniperus deppeana*) que se encontraron dentro de campos de maíz. Se encontraron valores superiores de todas las propiedades medidas bajo los doceles de capulín, y se observó una gradiente que disminuía al incrementar la distancia desde los árboles. El fósforo disponible aumentó de cuatro a siete veces bajo los árboles (Figura 12.2) y los totales de carbón y potasio aumentaron dos a tres veces; el ni-

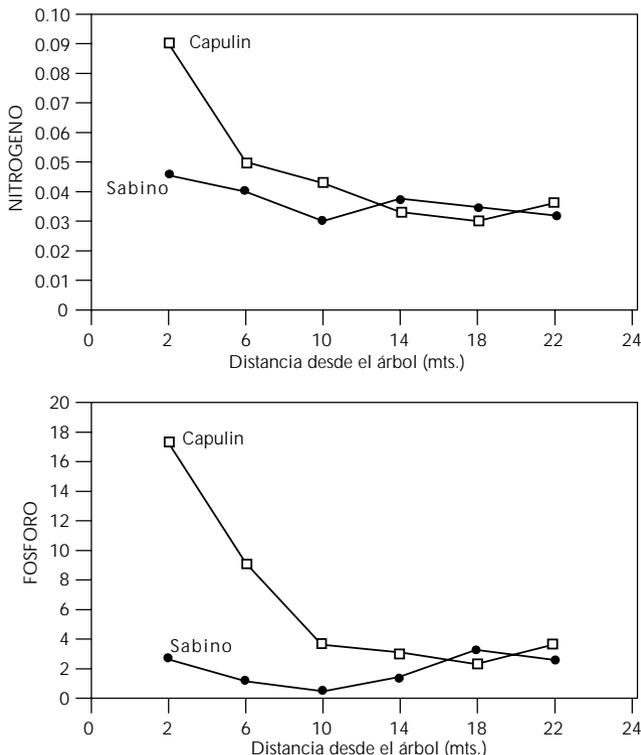


FIGURA 12.2 Gradientes de Concentración de Nitrógeno y fósforo a medida que muestras de suelo se toman a distancias crecientes de 2 especies de árboles.

trógeno, el calcio y magnesio aumentaron de uno y medio veces a tres y la capacidad de intercambio catiónico aumentó de uno y medio a dos veces. También se encontró que el pH del suelo era mayor bajo los doseles. Este patrón espacial se atribuyó fundamentalmente a la redistribución de nutrientes con la caída de las hojas y la acumulación de materia orgánica cerca de los árboles de ciruelo (capulín).

Los árboles también pueden aumentar las propiedades físicas del suelo, siendo la estructura del suelo la más importante. La estructura mejora como resultado del incremento de materia orgánica (hojas y raíces), de la acción disociadora de las raíces de los árboles y la actividad de los microorganismos, todos los cuales ayudan a desarrollar agregados del suelo más estables. La temperatura del suelo se modera por la sombra y la cubierta de la hojarasca.

La función que pueden desempeñar los árboles en la protección del suelo es bien reconocida. Además de reducir la velocidad del viento, el follaje de los árboles disipa el impacto de las gotas de lluvia que golpean la superficie del suelo. La capa de hojarasca que cubre el suelo y su estructura mejorada también pueden ayudar a reducir la erosión de la superficie. El sistema de raíces penetrantes de los árboles realizan una función importante en la estabilización del suelo, especialmente en laderas escarpadas.

La inclusión de especies compatibles y convenientes de perennes leñosos en terrenos de cultivos, pueden dar como resultado un mejoramiento acentuado en la fertilidad del suelo, mediante lo siguiente:

1. Aumento en los contenidos de materia orgánica del suelo por la adición de hojarasca y otras partes de plantas.
2. Un ciclaje eficiente de nutrientes dentro del sistema y consecuentemente una mejor utilización de los nutrientes tanto nativos como los nutrientes aplicados.
3. La fijación biológica de nitrógeno y la solubilización de nutrientes relativamente escasos, por ejemplo el fósforo por medio de la actividad de micorrizas y bacterias solubilizadoras de fosfato.
4. Aumento en la fracción cíclica de nutrientes de las plantas y reducción de la pérdida de nutrientes más allá de la zona absorbente de nutrientes del suelo.
5. Interacción complementaria entre las especies componentes del sistema, dando como resultado una repartición más eficiente de los nutrientes entre sus componentes.
6. Economía adicional de nutrientes debido a diversas zonas absorbentes de nutrientes de los sistemas de raíces de las especies componentes.
7. Efecto moderador de la materia orgánica del suelo en reacciones de suelo extremo y la consecuente liberación y disponibilidad de nutrientes.

Microclima Los árboles moderan los cambios de temperatura, dando como resultado temperaturas máximas más bajas y mínimas más altas bajo los árboles, en comparación con las áreas abiertas. La disminución de temperatura y la reducción de los movimientos del aire debido al dosel de los árboles reduce el promedio de evaporación. También se puede encontrar mayor humedad relativa bajo los árboles en comparación con los sitios abiertos.

Hidrología. El equilibrio del agua de un micrositio dado, predio o región está influido por las características funcionales y estructurales de los árboles. En distintos grados, dependiendo de la densidad del follaje, y las características de las hojas, la precipitación pasa a través de ellas hasta el suelo, se intercepta y se evapora o se redistribuye a la base del tronco por el propio flujo. La humedad del aire también puede ser recogida por el follaje de los árboles y ser depositada como precipitación

interna (niebla de goteo), una significativa fuente potencial de agua en áreas de neblinas húmedas. Como resultado de una mejorada estructura del suelo y la presencia de una capa de hojarasca, el agua que llega al suelo se utiliza más eficientemente debido al incremento de la filtración y permeabilidad, reduciendo la evaporación y el escurrimiento superficial. En gran escala, particularmente en áreas propensas a las inundaciones, los árboles pueden reducir las descargas de aguas subterráneas, existiendo la evidencia de que las características hidrológicas de las áreas de captación son influidas favorablemente por la presencia de árboles.

Componentes biológicos asociados. Todas las plantas, los insectos y los organismos del suelo pueden resultar beneficiados por la presencia de árboles compatibles. Aunque los mecanismos específicos son poco entendidos, por lo general involucran un microclima más benigno; temperatura de suelo favorable, régimen de humedad y estado de materia orgánica; una mayor disponibilidad de nutrientes así como su eficiente utilización y reciclaje. El mejoramiento en el estado de la materia orgánica del suelo puede dar como resultado una mayor actividad de los microorganismos favorables en la zona de raíces. Tales microorganismos también pueden producir sustancias que promueven el crecimiento mediante interacciones deseables provocando efectos comensalísticos en el crecimiento de especies de plantas.

Función productiva. Los árboles producen gran cantidad de productos importantes para los humanos y los animales. Además del forraje y alimentos proporcionan productos madereros, subproductos como aceites y taninos y productos médicos. Por ejemplo, la acacia negra (*Robinia pseudoacacia*) es una productora de miel importante, fija nitrógeno y es productora de postes para cercos muy durables. *Leucaena*, otra leguminosa que fija nitrógeno, es valiosa como alimento de ganado y de aves en los trópicos, debido a su alto contenido de vitaminas y proteínas. También es una fuente primaria de leña (NAS 1977). Los cultivos de árboles, también pueden complementar la producción de granos. Especies como el castaño (*Castanea*), el algarrobo (*Ceratonia*) y la acacia honey (*Gleditsia*) tienen un valor alimenticio en proteínas, carbohidratos y grasas mayor que granos convencionales creciendo en tierras marginales sin labranza (Smith 1953).

Ventajas de los sistemas agroforestales

Mediante la combinación de la producción agrícola y forestal se pueden alcanzar mejor diversas funciones y objetivos de la producción de bosques y cultivos alimenticios. Existen ventajas ambientales, como también socioeconómicas, de tales sistemas integrados sobre la agricultura y/o monocultivos forestales (Wiersum 1981).

Ventajas ambientales

1. Se hace un uso más eficiente de los recursos naturales. Las diversas capas de vegetación proporcionan una eficiente utilización de la radiación solar, los diferentes tipos de sistemas de raíces a distintas profundidades hacen buen uso del suelo y las plantas agrícolas de corta duración pueden aprovechar de la capa superficial enriquecida, como resultado del ciclaje mineral mediante las copas de los árboles. Además la integración de animales en el sistema puede aprovecharse para la producción secundaria y el reciclaje de nutrientes.

2. La función protectora de los árboles con respecto al suelo, la hidrología y la protección de las plantas puede utilizarse para disminuir los peligros de degradación

ambiental. Sin embargo, se debe tener en cuenta que en muchos sistemas agroforestales, los componentes pueden competir por luz, humedad y nutrientes, por lo tanto se deben considerar los intercambios. El buen manejo puede reducir al mínimo estas interferencias y aumentar las interacciones complementarias.

Ventajas socioeconómicas

1. Mediante la eficiencia ecológica se puede aumentar la producción total por unidad de tierra. No obstante que la producción de cualquier producto individual puede ser menor que en los monocultivos, en algunos casos la producción del cultivo base puede aumentar. Por ejemplo, en Java se ha demostrado que después de la introducción del sistema *Taungya*, la producción de arroz de secano aumentó considerablemente.

2. Los diferentes componentes o productos de los sistemas podrían ser utilizados como insumos para la producción de otros (por ejemplo, implementos de madera, abono verde), y disminuir así la cantidad de inversiones e insumos comerciales.

3. En relación con las plantaciones puramente forestales, la introducción de cultivos agrícolas junto con prácticas culturales intensivas bien adaptadas, a menudo se traduce en un aumento de la producción forestal y en una merma en los costos del manejo arbóreo (por ejemplo, la fertilización y desmalezaje de los cultivos agrícolas también puede beneficiar el crecimiento de los árboles), y proporciona una serie más amplia de productos.

4. Los productos arbóreos a menudo se pueden obtener a lo largo de todo el año, proporcionando oportunidades de mano de obra y un ingreso regular anualmente.

5. Algunos productos arbóreos se pueden obtener sin necesidad de un manejo muy activo, otorgándoles una función de reserva para los períodos en que fallan los cultivos agrícolas, o para necesidades sociales determinadas (por ejemplo, la construcción de una casa).

6. En la producción de varios productos se distribuye el riesgo, en la medida que varios de ellos serán afectados de manera diferente por condiciones desfavorables.

7. La producción se puede enfocar hacia la autosuficiencia y el mercado. La dependencia de la situación del mercado local se puede ajustar de acuerdo con la necesidad del agricultor. Si se desea, los diversos productos son consumidos total o parcialmente, o son destinados al mercado cuando se dan las condiciones adecuadas.

Algunas restricciones de los sistemas agroforestales

Existe un número de restricciones o condiciones limitantes para la aplicación de los sistemas agroforestales. Es necesario reconocerlas y hacer esfuerzos por superarlas, si se desea aplicar con éxito la agroforestería.

Una de las principales limitaciones es en relación con el hecho que los sistemas agroforestales son específicos del ecosistema, y en ciertos suelos de baja calidad la elección de las especies vegetales apropiadas puede resultar limitante, aún cuando muchos árboles tienen mayor capacidad para adaptarse a los suelos pobres que los cultivos anuales. La competencia entre los árboles y los cultivos de alimentos, y la prioridad que se les debe dar para satisfacer necesidades básicas, puede excluir del cultivo arbóreo a los agricultores pobres, que cuentan con muy poca tierra, para cultivar árboles.

Al promover la plantación arbórea, se necesitan beneficios a corto y largo plazo. Estos beneficios económicos o productivos deben ser considerados. Una restricción

económica común es que algunos sistemas agroforestales establecidos recientemente, pueden requerir costos sustanciales de inversión para comenzar (por ejemplo, material de cultivo, conservación del suelo, fertilizante). Para dichas inversiones se puede necesitar crédito. En la mayoría de los sistemas agroforestales pueden ser necesarios algunos años antes de obtener los primeros rendimientos. En algunos casos, dicho período de espera requiere apoyo financiero.

El tamaño del terreno puede afectar el tipo de insumos. En áreas con una alta presión poblacional y suelos pobres, los predios particulares pueden resultar demasiado pequeños como unidades confiables de producción. En este caso, es necesario hacer algún tipo de esfuerzo cooperativo. La disponibilidad de semillas y/o plántulas es una variable primordial para los proyectos agroforestales. En la mayoría de los casos, una planificación a más largo plazo, incluye el desarrollo de pequeños semilleros junto con la plantación y mantención de árboles.

El manejo de ganado en algunas ocasiones puede entrar en conflicto con las actividades agroforestales, especialmente en áreas donde se practica la ganadería vacuna o caprina. En áreas con sistemas comunales o de clanes complejos de tierras, puede resultar difícil desarrollar métodos agroforestales. Los derechos de posesión constituyen una consideración fundamental para la agroforestería. Ellos pueden ser un factor limitante.

La tenencia de árboles también constituye una posible restricción. En algunos casos, la tierra en la cual los árboles pueden ser plantados y protegidos no pertenece a aquellos que los plantaron. De manera que los que los plantaron pueden no estar legalmente autorizados para hacer usufructo de los árboles y su producción. Aún más, en algunos países existen leyes que restringen la cosecha/tala de los árboles para cualquier propósito, sin considerar al dueño de la tierra en que se encuentran plantados.

Diseño de sistemas agroforestales

Los ecosistemas naturales pueden ser útiles como modelos para diseñar sistemas agrícolas sustentables. El rasgo más sobresaliente de los bosques naturales radica en la organización múltiple de los árboles, arbustos, malezas y hongos, en la que cada uno utiliza diferentes niveles de energía y recursos, y donde cada uno contribuye al funcionamiento del sistema total. Estos estratos reducen el impacto mecánico de las gotas de lluvia sobre la superficie y disminuyen la cantidad de luz directa que alcanza el suelo, como consecuencia de lo cual se reduce al mínimo la pérdida potencial de suelo, se disminuye la evaporación y se retardan los índices de descomposición de materia orgánica. Generalmente, a nivel de suelo existe muy poco viento. Sobre la superficie, el humus proveniente de los vegetales en descomposición proporciona una cubierta protectora y una fuente de nutrientes para reciclar (Figura 12.3).

Todas estas condiciones crean un ambiente ideal para la microflora y fauna, insectos y lombrices que facilitan la descomposición de la materia orgánica en el suelo, creando así una buena estructura del suelo, la que a su vez aumenta la ventilación y el drenaje del agua. Los depredadores y parásitos residentes mantienen controlados a aquellos insectos potencialmente dañinos para la vegetación. También existen múltiples capas bajo la superficie, donde las raíces de diversas formas vegetales mejoran la aireación y la filtración del agua. Los insectos potencialmente dañinos para la vegetación y que se mantienen controlados en las plantas, utilizan diferentes volúmenes del suelo. De esta manera, las raíces de los árboles, que alcanzan mayor profundidad, interceptan los nutrientes lixiviados bajo la zona radicular de la vegetación más pequeña y los llevan a la superficie en la forma de humus foliar.

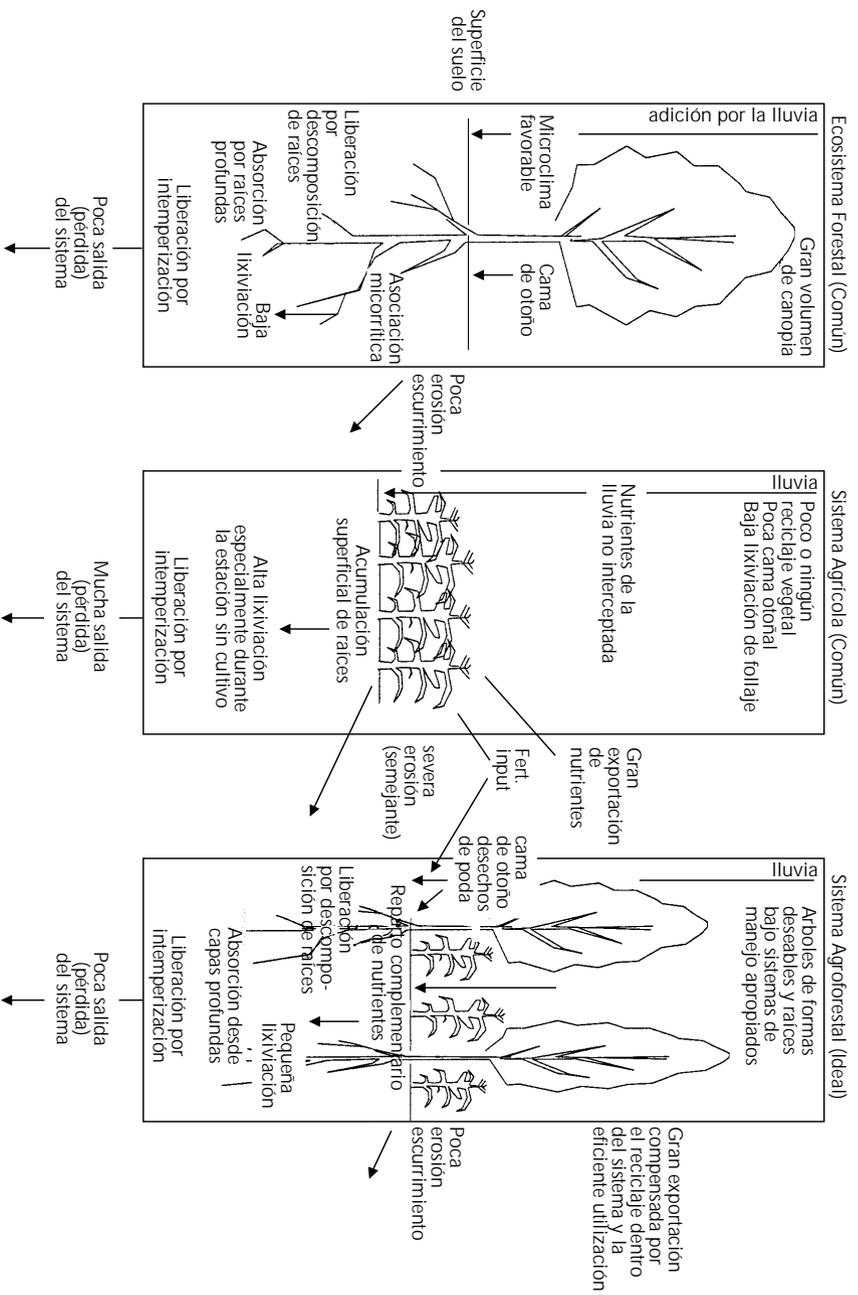


FIGURA 12.3 Presentación esquemática de las relaciones de nutrientes y ventajas del sistema agroforestal ideal, en comparación con los sistemas agrícola y forestal comunes (según Nair 1982).

El objetivo principal al diseñar un sistema agroforestal es resaltar las características ecológicas fundamentalmente del bosque, de modo que la comprensión de estos procesos en un sistema natural resulta de vital importancia. La mayoría de los principios que se presentan en el Capítulo 5 se pueden aplicar al diseño de sistemas agroforestales, especialmente las ideas de Hart (1978), sobre el diseño de secuencias de cultivos de manera análoga a la sucesión natural. En las zonas tropicales húmedas, los modelos de sucesión pueden ser particularmente apropiados para diseñar ecosistemas agrícolas. En Costa Rica, los ecólogos realizaron reemplazos espaciales y temporales de especies silvestres por especies de plantas botánica, estructural y ecológicamente similares. Las especies del ecosistema natural tales como *Heliconia*, curcubitáceas, especies de *Ipomoea*, leguminosas, arbustos, pastos y árboles pequeños fueron reemplazadas por platanos, variedades de zapallo, ñames, camotes, cultivos de frijoles locales, *Cajanus cajan*, maíz/sorgo/arroz, papaya, cashew (nuez tropical) y especies de *Cassava*, respectivamente. Alrededor del segundo y tercer año, los cultivos arbóreos de rápido crecimiento (por ejemplo, nuez del Brasil, duraznero palisandro) formaron un estrato adicional y mantuvieron así una cubierta continua del cultivo; evitando la degradación del terreno y la lixiviación de nutrientes; y proporcionando rendimientos a lo largo del año. Este enfoque puede resultar muy útil en regiones carentes de vegetación natural, donde se pueden iniciar modelos de sucesión a partir de áreas ecológicamente homólogas. Oldeman (1981) propuso el concepto de «transformación» como otro diseño opcional. De manera complementaria al método análogo, dicho concepto se basa en el análisis estructural de unidades colectivas (ecounidades). La transformación se puede lograr al reemplazar especies silvestres por especies útiles que cumplen el mismo nicho estructural y funcional de los silvestres. Este proceso transforma la estructura del sistema natural al mismo tiempo que mantiene sus propiedades benéficas.

En ocasiones en que un área totalmente forestada no es apropiada para un predio, los árboles se pueden combinar de otras formas con cultivos y animales para aumentar las relaciones funcionales requeridas. Wiersum (1981) y Combe y Budowski (1979) han resumido estas prácticas en sus intentos por desarrollar un sistema de clasificación para las técnicas agroforestales.

Arreglos vegetacionales

Al ordenar las especies vegetales componentes en el tiempo y el espacio, se deben considerar algunos factores. Ellos pueden incluir los requerimientos culturales de las especies componentes al crecer juntas, su fenología y forma de crecimiento (sobre y bajo el suelo), las necesidades de manejo para todo el sistema y la necesidad de acciones adicionales como la conservación del suelo o el mejoramiento del microclima. Es por esto que los arreglos de ordenamiento tienen propiedades específicas. Los posibles arreglos comprenden (Nair 1983):

1. Cultivar intercaladamente especies arbóreas con cultivos agrícolas anuales, sembrar, en forma simultánea, especies herbáceas y arbóreas (o durante la misma temporada). El espaciamiento de las especies arbóreas variará considerablemente, sin embargo, en general, en las regiones más secas, este espacio será de un ancho superior. Este esquema también se puede aplicar en cultivos agrícolas como el caucho (rubber) y la palma de aceite.

2. Limpiar las franjas casi a un metro de ancho en bosques primarios o secundarios a intervalos convenientes, y sembrar especies agrícolas perennes que toleren la sombra,

como el cacao. Luego, cuando las especies sembradas crezcan, la vegetación forestal se entresacará según convenga y, dentro de 5 años, se contará con un dosel de 2 ó 3 capas que estará compuesto por las especies agrícolas perennes y las forestales elegidas.

3. Introducir prácticas de manejo como la entresiembrada y la poda con el fin de que penetre más luz en la superficie del terreno y así sembrar especies agrícolas seleccionadas entre las hileras de los árboles. El grado de entresacado o de poda dependerá de la densidad arbórea de la estructura del dosel y otros.

4. En áreas inclinadas, las especies arbóreas seleccionadas pueden sembrarse en líneas perpendiculares a la pendiente (a lo largo del contorno) con diferentes disposiciones de siembra (hileras únicas, dobles, alternadas) con diversas distancias entre las hileras; los pastos del suelo pueden establecerse entre los árboles a lo largo del contorno. El área entre las hileras se puede usar para las especies agrícolas.

5. Sembrar, en forma proximal, árboles de múltiples propósitos alrededor de los lotes de los campos. Los árboles formarán cercos vivos y rompevientos, proporcionarán forraje y combustible y marcarán los límites de los predios agrícolas. El esquema es particularmente apropiado para áreas de tierra de uso extensivo.

6. Intercalar intensivamente con árboles, las áreas agrícolas manejadas en una forma regular o al azar. El sistema es conocido, por campesinos dueños de pequeños terrenos, en Asia, el Pacífico, África y América del Sur.

Ejemplos de agroforestería

Los huertos familiares, en áreas tropicales, representan uno de los ejemplos clásicos de la agroforestería. Estos constituyen formas altamente eficientes de uso de la tierra, incorporando una gran variedad de cultivos con diferentes hábitos de crecimiento. El resultado es una estructura similar a los bosques tropicales con diversas especies y una configuración por estratos. A través de las áreas tropicales, los sistemas agroforestales tradicionales pueden incluir, sin ningún problema, más de 100 especies de plantas por campo. Estas se usan para la obtención de materiales de construcción, leña, herramientas, medicamentos, alimentos para el ganado y el hombre. Por ejemplo, en México, los indios Huastecas manejan varios campos agrícolas y de barbecho, complejos huertos domésticos y lotes forestales que suman casi 300 especies. Las áreas pequeñas que rodean las casas, generalmente tienen un promedio de 80 a 25 especies de plantas útiles, en su mayoría plantas medicinales nativas. El manejo de la vegetación no perteneciente al cultivo, llevado a cabo por los Huastecas en estos complejos sistemas agrarios, ha influido en la evolución de las plantas individuales, en la distribución y composición del cultivo total y en las plantas no cultivadas. Igualmente, el sistema tradicional *pekarangan*, descrito en el Capítulo 6, abarca, en general, alrededor de 100 ó más especies de plantas. De dichas plantas, casi el 42% proporciona materiales de construcción y leña, el 18% corresponde a árboles frutales; el 14%, a hortalizas y el resto constituye plantas ornamentales y medicinales, especias y, además, cultivos comerciales.

Otra técnica agroforestal comprende el cultivo intercalado intensivo con cultivos de plantación, como el coco, el cacao, el café y el caucho (rubber). En India, los cultivos como la pimienta negra, el cacao y la piña se siembran bajo el coco, usando la luz disponible como también un gran porcentaje del volumen del suelo (Nair 1979). El café, el té y el cacao se siembran tradicionalmente bajo uno o dos estratos de árboles que proporcionan sombra; éstos corresponden, a menudo, a leguminosas fijadoras de nitrógeno que también otorgan valiosos productos madereros.

En lugares semiáridos y áridos, la práctica agroforestal preponderante es la utilización de árboles multipropósitos mezclados con cultivos o como parte de sistemas pastorales. Las especies como *Acacia* y *Prosopis*, no son valoradas sólo por sus productos madereros y de forraje, sino que también por la capacidad de enriquecimiento del suelo. La fenología única de la *Acacia albida* (sin hojas durante la temporada lluviosa) la convierte en un componente ideal de las regiones productoras de sorgo y mijo en el Oeste de África y en la zona de Sahel.

En México, se han descrito usos similares de árboles (Wilken 1977), donde los agricultores estimulan el cultivo de leguminosas nativas en campos cultivados. Desde Puebla y el sur de Tehuacan cruzando por Oaxaca, los predios pueden ser abiertos ó moderadamente densos con especies de mésquita (*Prosopis* spp.), guaje (*Leucaena esculenta*) y guamuchil (*Pithecellobium* spp.), todos éstos de propiedades familiares. La densidad de los cultivos varía desde campos con sólo unos pocos árboles hasta virtualmente bosques con cultivos sembrados abajo.

Cerca de Ostuncalco, Guatemala, se descubrió una práctica algo diferente, el sauco (*Sambucus mexicana*) es rigurosamente podado y colocado en algunos puntos de los campos de maíz y papas. Anualmente se extraen las hojas y las ramas, se esparcen alrededor de las plantas del cultivo, luego se cortan y se entierran con un azadón ancho. Los agricultores locales manifiestan que el rendimiento y la calidad del cultivo en los suelos volcánicos de esta región dependen de las aplicaciones anuales de hojas de sauco.

En muchas áreas, los árboles también se integran al predio al igual que los animales. Los predios se caracterizan por tener desde pequeños animales destinados a huertos domésticos en áreas tropicales, hasta ganado que pastorean los huertos de Chile (Altieri y Farrell 1984) y ganado que pastorea en plantaciones forestales en Nueva Zelandia y el sureste de EE.UU (Lewis et al. 1984, Tustin et al. 1979).

Opciones de manejo agroforestal

Cultivos en hileras en áreas de alto potencial

El cultivo intercalado constituye un sistema apropiado para los huertos domésticos y para las tierras cultivables. Este sistema puede ser beneficioso por lo siguiente:

- Proporciona abono verde o mulch para cultivos asociados de alimentos y regula los nutrientes de las plantas desde las capas más profundas del suelo.
- El material podado se aplica como mulch y proporciona sombra durante la temporada otoñal.
- Elimina las malezas.
- Proporciona las condiciones favorables para los macro y microorganismos del suelo; y al sembrarlo a lo largo del contorno del terreno elevado, proporciona una barrera para el control de la erosión del suelo.
- Realiza podas para la obtención de forraje, materiales para estacas y leña.
- Proporciona nitrógeno, biológicamente fijo, al cultivo asociado.

Siembra en contorno

La siembra en contorno es útil si se presentan las siguientes condiciones:

- Suelos agotados o pobres.
- Terrenos con pendientes (sometidos a erosión) y tierras no erosionadas.
- Densidad de población de media a alta.

La siembra en contorno puede ayudar de la siguiente manera:

- Abastece/mejora los nutrientes del suelo y aumenta el contenido de materia orgánica.
- Reduce la pérdida de agua y suelo.
- Reduce el riesgo de perder el cultivo durante temporadas extremadamente secas, moderando los efectos de la excesiva evaporación de humedad en terrenos expuestos.
- Brinda productos madereros para el consumo en el hogar o para la venta.

El sistema agrícola adecuado donde se puede utilizar este sistema está conformado por un cultivo permanente, un predio de tamaño medio o pequeño y un requerimiento de mano de obra de medio a alto por unidad de tierra. Las especies de crecimiento rápido pueden establecerse a comienzos de la temporada de cultivo, lo que brinda la posibilidad de crecer mientras que el ganado se mantenga fuera del área cultivable.

Banco de forraje (para corte)

Es de gran utilidad el establecimiento de bancos de forraje en lugares donde existe una alta densidad de población y mercados cercanos para los productos del ganado. Los bancos de forraje pueden mejorar la calidad y disponibilidad de forraje, sobre todo a fines de la estación seca o a comienzos de la estación húmeda. Además, estos bancos reestablecen/mejoran el contenido de material orgánico y los nutrientes del suelo.

El crear estos bancos de árboles facilitará la obtención de madera para cercos. Los cultivos puros (bloques, fajas, líneas) de árboles (principalmente forraje de hojas) se pueden plantar cerca de los corrales del ganado, en los jardines del predio, en tierras arables y áreas de pastoreo y a lo largo de los cursos de agua y alrededor de los márgenes de regadío.

El sistema agrícola apropiado para los bancos de forraje es en pequeños predios, donde hay un uso intensivo de la tierra, un sistema alimenticio de corral y una alta cantidad de mano de obra por animal.

Bancos de forraje (para pastoreo)

Los bancos de forraje para el pastoreo por lo general se ubican en las áreas de pastoreo. Pueden estar en cerros (especialmente especies de vainas) y en tierras elevadas a lo largo de los cursos de agua.

Los bancos de forraje para el pastoreo mejorarán la existencia y calidad del forraje en zonas cuya densidad de población es baja a media, y mejorarán/restaurarán los nutrientes del suelo y el nivel de la materia orgánica.

Una combinación de árboles (vainas y hojas) y pastos (cercados) se pueden plantar en bloques. Las especies de vainas y las especies foliares deberían plantarse a lo largo de los cercos. Los árboles aislados necesitan ser protegidos por espinas. Las especies proporcionarán un complemento alimenticio para el ganado durante las lluvias.

Las especies seleccionadas se deben adaptar al suelo y clima local y además tener otros atributos como palatabilidad, alto contenido protéico, facilidad de establecimiento al sembrar semillas o transplantar directamente. Los árboles de vainas para los cerros y tierras elevadas se siembran desde Agosto hasta Diciembre. Las variedades que se siembran por sí solas en los lugares de riego deben tolerar hasta seis meses de anegamiento.

Mejoramiento de los frutales

En el huerto y el área arable del predio es útil añadir árboles frutales. Los árboles aislados, plantados cerca del hogar, permitirán la protección de los animales. Los árboles frutales también se pueden plantar para crear límites alrededor del predio. Esto mejorará la nutrición, producirá frutas para la venta y proporcionará sombra y leña.

El uso del sistema está limitado por la disponibilidad de las variedades de frutas. Se necesita ajustar a la extensión de tierra disponible las variedades y el manejo, por ejemplo, propagación, injerto y yemación, plantación, aplicación de mulch, riego y el control de las malezas, plagas y enfermedades.

Bordes/cercos vivos

Los bordes y cercos vivos son útiles en áreas con una densidad de población alta a media y donde los animales deambulan libremente en el sector. Los cercos vivos o bordes proporcionan una alternativa a las rejas construidas, puesto que:

- Demarcan los límites; por ejemplo entre/alrededor de escuelas, predios y campos (en especial prados en sistemas de pastoreo).
- Protegen de la devastación causada por el ganado que pastorea libremente, por ejemplo, tierras de cultivo, huertos, semilleros, bosquetes forestales, embalses, bancos de proteínas (sistemas de pastoreo), huertos de verduras y casas.

Además, los cercos pueden ofrecer beneficios secundarios, tales como la reducción de la influencia adversa del viento, y proporcionan no sólo material orgánico a suelos adyacentes, sino también diversos productos a las comunidades locales (leña, palos, frutas, fibra, medicina, etc.).

El sistema agrícola apropiado para los cercos vivos es el predio pequeño o medio con un cultivo permanente.

Cultivo intercalado o combinado

El cultivo intercalado o combinado es más útil en suelos pobres o que se agotan fácilmente, en tierras planas o con poca pendiente y en áreas con una densidad de población media. Este sistema servirá para restaurar/mejorar los nutrientes del suelo y para aumentar la materia orgánica.

Aquí el sistema agrícola apropiado es un cultivo permanente, predios de tamaño pequeño a medio que utilicen un requerimiento de mano de obra medio, por unidad de tierra, y que no crien animales (cuando hay una alta densidad arbórea).

Plantación de árboles domésticos/industriales en estratos múltiples

El cultivo de árboles en estratos múltiples se adapta mejor a los huertos familiares y al estrato más alto de árboles productivos en cercos o plantaciones. La plantación de multiestratos es apropiada en áreas donde existe una alta densidad de población y donde existe un régimen de lluvias considerable. Aportará recursos para los productos de los árboles, algunos de los cuales abastecerán las necesidades de la familia. Esto también puede reducir los gastos de dinero y puede aumentar el ingreso de éste. Los sistemas de cultivo de árboles en estratos múltiples son apropiados para los sistemas agrícolas pequeños con un alto requerimiento de mano de obra por área.

Plantación de árboles alrededor de canales de riego y embalses

Plantar árboles alrededor de canales de riego y embalses es apropiado donde exista una densidad alta de población o hay una gran cantidad de animales. El plantar árboles reducirá el daño causado a los canales de riego y embalses por el ganado. Proporcionará además, materiales para los productos de madera que se consumen en el hogar o que se venden. Los árboles se pueden plantar en franjas o en bosquetes. Una combinación de árboles con pasto también ayuda. La plantación también se puede separar y combinar con especies de estratos múltiples. El sistema agrícola apropiado es un predio pequeño ó mediano con un cultivo permanente.

Desmalezaje selectivo

Donde existen grandes cantidades de acres de bosque nativo con bosques madereros, el desmalezaje selectivo es útil. También es particularmente útil en áreas descongestionadas donde exista una baja densidad de población. El desmalezaje selectivo conservará la vegetación nativa funcional, la biodiversidad, y ayudará a asegurar el abastecimiento futuro de productos del bosque y germoplasma. En este sistema los árboles seleccionados se dejan en las tierras de cultivo. Las líneas de árboles y arbustos se dejan alrededor de tierras recién abiertas, entre campos y a lo largo de caminos, huellas y cursos de agua. El sistema agrícola apropiado son los predios medianos y grandes con un bajo requerimiento de mano de obra por área.

Plantación de bosquetes para leña y postes

La plantación de bosquetes para leña y postes es apropiada para áreas deforestadas y para todas las zonas con un mercado para postes y/o leña. Dichos bosquetes pueden producir leña/postes para satisfacer las necesidades familiares y/o las necesidades de la industria familiar. También pueden proporcionar dinero para la familia. Los bosquetes deben cercarse. Se recomienda poner «cercos vivos», donde sea posible, dentro del área de protección que ofrecen los postes. Se recomienda además, utilizar rompe fuegos. El sistema agrícola apropiado es el predio de mediano a grande con un requerimiento de mano de obra de bajo a medio por área unitaria. El sistema también es apropiado para los predios de tabaco (para la construcción de establos y para curación) y en los pequeñas industrias, por ejemplo, albalínería y pequeñas minas.

Cuarta parte

Manejo ecológico de insectos
plaga, enfermedades y malezas

Manejo integrado de plagas

El movimiento MIP surgió a principios de los años 70 como respuesta a las preocupaciones acerca de los impactos de los plaguicidas en el medio ambiente. Al proporcionar una alternativa a la estrategia de intervención unilateral con productos químicos, el MIP cambió la filosofía de la protección de los cultivos a una que desencadenó un entendimiento más profundo de la ecología de los insectos y cultivos, basada en el uso de diversas tácticas complementarias. Se consideraba que la teoría ecológica debía proporcionar una base para la predicción de cómo los cambios específicos en los insumos y las prácticas de producción podrían afectar los problemas de plagas. Se pensaba que la ecología también podía ayudar en el diseño de sistemas agrícolas menos vulnerables a la aparición de plagas (Kogan 1986). De este modo, el MIP se puede definir como una estrategia para el manejo de plagas que, en el contexto socioeconómico de los sistemas agrícolas, el medioambiente asociado y la dinámica de la población de las diversas especies, utiliza todos los métodos, técnicas apropiadas y compatibles para mantener las poblaciones de plagas bajo el nivel de daño económico (Dent 1991).

En teoría, el manejo integrado de plagas debería incorporar diversas y variadas tácticas para el control, apoyándose primero en los factores de control natural (por ejemplo: agentes patógenos, parásitos, depredadores y clima), y en el manejo de estos factores, utilizando plaguicidas como último recurso. Dicho manejo se basa en la dinámica de las poblaciones de plagas, como es la duración del estado inmaduro o el período reproductivo, para sugerir una acción de control relacionada con la biología de la plaga. Otra parte importante del MIP comprende la determinación del umbral económico de daño y la abstención de controlar los insectos pasado este umbral. En el MIP, los agricultores evalúan si habrán plagas suficientes para justificar el control, si la plaga puede durar un tiempo considerable o si las poblaciones de ésta serán tan altas como para bajar el rendimiento, y si habrán intervenciones de los controles naturales. Las acciones adoptadas pueden ser métodos culturales, controles biológicos, el uso de productos químicos tóxicos o una combinación de ambos. Los métodos culturales incluyen la manipulación de la densidad y la diversidad de la vegetación, el laboreo, la sanitización, la variación de los períodos de siembra y cosecha y de las variedades sembradas, la alteración de los niveles de riego y fertilización. El control biológico depende del uso de depredadores, parásitos, agentes patógenos y nemátodos y puede suponer la exploración en el extranjero, para encontrar enemigos naturales, la liberación masiva de insectos benéficos y la conservación de estos enemigos naturales mediante manejo del hábitat.

La transición de la teoría a la práctica, sin embargo, ha sido desalentadora. Algunos programas de manejo de plagas han sido injustificablemente lentos para poner

en práctica la teoría basada en la ecología. La falta de capacitación en el «pensamiento holístico», el sentido de poca urgencia en la investigación, «práctica» aplicada y la «necesidad» de defender una disciplina en particular de la intromisión de «otras», han sido factores que inhiben la integración de la teoría y la práctica.

Desgraciadamente, la investigación para el manejo de plagas ha estado demasiado subordinada a los grupos de presión legislativos, las grandes asociaciones de agricultores y, en especial, a la industria de plaguicidas. Dado que los métodos biológicos para suprimir las plagas no se adecúan rápidamente en los sistemas agroindustriales para una fabricación y comercialización a gran escala, al contrario de los plaguicidas, está comprobado que las empresas privadas no se inclinan mucho para incurrir en los gastos que implica su elaboración. Como concepto, el MIP se ha incorporado a sistemas agrícolas de gran escala para reducir los costos del control de plagas. A pesar de que las aplicaciones de plaguicidas han sido menores y más eficaces, el uso de sustancias tóxicas aún se mantiene. De ahí que el MIP, en muchos casos, significa un manejo integrado de plaguicidas que pone énfasis en supervisar los niveles de plagas, regulando el uso de insecticidas y sembrando cultivos de variedades resistentes, pero como tal, no ha sido capaz de desafiar la estructura fundamental de la industria de la agricultura moderna (Soule y Piper 1992).

Además, en algunos casos, las estrategias bioambientales para la protección de los cultivos comprende optimización del ambiente en vez de su maximización. En los sistemas manejados (ecológicamente), la productividad de un sólo cultivo se puede reducir; pero otras características ambientales deseadas, como la capacidad de uso múltiple del habitat, aumentan. El resultado neto parece ser una diversidad mayor de recursos y una estabilidad biológica total, también mayor, aunque se podría señalar que estas ventajas no son lo suficientemente importantes y tangibles como para justificarlas desde el punto de vista del rendimiento de los cultivos comerciales. Sin embargo, la escasez de energía, la degradación del medio ambiente y la inflación económica demuestran, cada vez más, que la ganancia a corto plazo ya no debería ser la fuerza principal conducente en la agricultura. Poco a poco, la conservación de la energía, la sustentabilidad y la calidad ambiental asumirán esa función.

El manejo integrado de plagas (MIP) debería orientarse a prevenir los brotes de éstas, mejorando la estabilidad de los sistemas, más bien que tratando de sobrellevar los problemas de los insectos dañinos después de que éstos aparecen, enfatizando así un enfoque curativo. Actualmente, el problema en el manejo de las plagas radica en el diseño de agroecosistemas que prevengan y/o supriman un complejo de plagas mientras se obtiene una calidad y un rendimiento máximo, y un daño ambiental mínimo. Dichos objetivos pueden parecer conflictivos, especialmente cuando se hace demasiado hincapié en el rendimiento y la calidad comercial. Sin embargo, el conflicto se puede evitar cuando los sistemas MIP se coordinan con sistemas más amplios de uso de la tierra y agua, conservación de los recursos, protección ambiental y desarrollo socioeconómico. Los sistemas MIP se deberían diseñar para balancear las plagas y los organismos benéficos, basados en las consecuencias económicas, sociales y ecológicas que esto implique.

Es posible establecer un equilibrio de la fauna del cultivo, organizando la diversidad de la vegetación dentro y alrededor de los cultivos específicos. Al proporcionar el tipo adecuado de diversidad de cultivos a lo largo del año y al manipular el período de siembra, el tamaño de los campos y la composición de las especies en los márgenes de los campos de cultivo, se puede hacer que los hábitats y los recursos de ali-

mento estén continuamente disponibles para las poblaciones de artrópodos benéficos y, menos favorables para las plagas.

Control cultural de plagas insectiles

El control cultural de las plagas insectiles se produce por la manipulación del medio ambiente, de tal manera que se torna desfavorable para las plagas o, por el contrario, óptimo para la acción de los enemigos naturales. Esto se logra mediante el uso de varias técnicas como la rotación, la manipulación temporal de la siembra de los cultivos y otras técnicas para mejorar la biodiversidad tales como el cultivo intercalado y el manejo de las malezas dentro y en los bordes del campo. Los objetivos son reducir la colonización inicial de las plagas, su reproducción, supervivencia y dispersión (Dent 1991).

La rotación de cultivos, la época de siembra y la labranza son tres prácticas agronómicas que pueden afectar directamente el rendimiento de los cultivos así como el nivel de infestación de plagas insectiles en un cultivo. Por lo general, la rotación de cultivos es más eficaz contra las especies de plagas que tienen un margen estrecho de huéspedes y un margen limitado de dispersión. Es más difícil planear las rotaciones contra plagas polípagas y/o móviles. Una nueva generación de una plaga de insectos que puede haber invernado en las cercanías de su cultivo huésped se enfrentará con un cultivo no huésped y diferente en una próxima estación. La plaga se verá obligada a dispersarse y, para los insectos que tienen poco poder de dispersión, éste podría reducir la probabilidad de encontrar un huésped, con el resultado de que la colonización de algunos campos de cultivos huéspedes, pueda retardarse. Se ha demostrado que las rotaciones de papa/trigo son eficaces contra el escarabajo de la papa (*Leptinotarsa decemlineata*), al retardar el período de infestación de los cultivos. En Europa, las rotaciones típicas comprenden pastos, leguminosas y cultivos de raíces, las que se han utilizado para controlar *Agriotes* spp., *Melolontha melolontha*, *Amphimallon solstitialis* y *Tipula* spp. (Burn et al. 1987).

El tipo de labranza puede influir poderosamente en el entorno del suelo y afectar la supervivencia de los insectos, ya sea indirectamente mediante la creación de condiciones desfavorables y mediante la exposición de los insectos a sus enemigos naturales, o directamente mediante el daño físico producido durante el proceso real de labranza (Stinner y House 1990). Es conocido por muchos, que la labranza afecta los huevos y ninfas de dos plagas de langostas, *Kraussaria angulifera* y *Oedaleus senegalensis*, al disecar las vainas de los huevos, al reducir el nivel de alimentos, protección y vegetación disponible y al transformar el suelo en un ambiente duro e inapropiado para el desove.

La emergencia del gorgojo de la semilla del girasol (*Smicronyx fulvus*) se redujo en 29-56% con el uso de un arado de vertedera que remueve el suelo y entierra las etapas de larva tardía y pupa. Sin embargo, se pensó que el efecto de cubierta era sólo parcialmente responsable del aumento de la mortalidad, ya que cuando se usó un arado de cinsel, se observó una emergencia reducida entre 36 y 39% sin tener que enterrar, substancialmente, las larvas a mucha profundidad. Por lo tanto, se concluyó que factores tales como la aireación, la temperatura del suelo, el secado y el daño físico resultante de la labranza, también son importantes aspectos a tener en cuenta (Dent 1991).

En muchas regiones, los cultivos sembrados tempranamente pueden beneficiarse de una infestación reducida de una plaga de insectos. Al variar el período de cultivo

como medio para el control cultural, se establece una asincronía entre la fenología del cultivo y la plaga de insectos, lo que puede retardar el índice de colonización o evitar la coincidencia de la plaga con una etapa esencial del crecimiento de un cultivo. Sin embargo, para que dichos métodos tengan un fuerte impacto habría que sincronizar las épocas de siembra entre los predios de una región, con el fin de reducir la variación en las etapas disponibles de los cultivos. En Etiopía, el maíz sembrado en Abril y a principios de Mayo tiene un nivel de infestación mucho más bajo en la primera generación de larvas que en la segunda generación, donde el nivel de infestación fue mucho mayor en los lotes que fueron sembrados más tarde, lo que influyó de forma negativa en el rendimiento del maíz (Dent 1991).

En general, el aumento en la densidad de siembra; es decir, una reducción en el espaciamiento de éste, parece reducir el número de plagas. Una de las razones principales de la respuesta de los insectos a la variación de la densidad de la siembra ha sido el contraste entre los cultivos y el suelo, y el efecto de esto en la respuesta optomotora de aterrizaje de los insectos voladores. *Aphis craccivora*, *Aphis gossypii* y *Longiunguis sacchari* fueron atrapados alrededor de un metro sobre el suelo, con mayor frecuencia sobre plantas de maní sembradas más espaciadas que sobre plantas menos espaciadas. A la altura de los cultivos, *A. craccivora* y *A. gossypii* demostraron una respuesta mayor al espaciamiento de los cultivos. Este efecto se atribuyó a una respuesta optomotora con respecto al contraste entre la tierra descubierta y los cultivos y, por lo tanto, el estímulo fue mayor en los sembrados más espaciados.

Otras razones que se han dado para explicar las cantidades menores de plagas en sembrados densos comprenden la condición de la planta huésped (Farrell 1984), la presencia de una vegetación excesiva que actúa como impedimento (Delobel 1981), los cambios en el microambiente que favorecen las plagas y sus enemigos naturales y la capacidad de atracción de los cultivos (Brom et al. 1987).

Diversidad vegetal y problemas de plagas

Muchos entomólogos, fitopatólogos e investigadores de malezas concuerdan en que la intensificación que ha acompañado al crecimiento de la agricultura, ha promovido prácticas que favorecen las plagas de insectos, malezas y enfermedades. Estas comprenden (Zadoks y Schein 1979, Pimentel y Goodman 1978):

- Expansión de los campos, lo que trae como resultado monocultivos extensivos o patrones de rotación cortos con poca diversidad de especies.
- Siembra homogénea de especies y/o variedades similares, lo que reduce la diversidad a nivel regional.
- Aumento en la densidad de cultivos huéspedes mediante la adopción de espaciamientos que fomentan las epidemias y brotes de plagas.
- Aumento en la uniformidad de las poblaciones huéspedes, reduciendo, por lo tanto, la diversidad genética. La alteración genética de los cultivos se realiza con el propósito de aumentar su rendimiento, sin prestar atención a la reducción de factores de regulación natural y la resistencia de insectos y agentes patógenos

Los fitopatólogos reconocen los siguientes patrones de comportamiento de una enfermedad en los monocultivos (Zadoks y Schein 1979):

1. La enfermedad aumenta al máximo su intensidad y gravedad, permaneciendo durante toda la duración del monocultivo.

2. La enfermedad aumenta hasta un nivel determinado, pero con una intensidad moderada, manteniéndose en equilibrio.
3. La enfermedad muestra un desarrollo mínimo o indetectable durante todo el monocultivo.
4. La enfermedad muestra una intensidad variable de desarrollo en ciclos irregulares.
5. La enfermedad aumenta hasta una intensidad máxima seguida por un período en que la gravedad declina.

Estos patrones no se han definido claramente con los insectos; sin embargo, el análisis de Andow (1983) y Altieri y Letourneau (1982) señala que la abundancia de las plagas de insectos, por lo general, aumenta con los períodos extensos de monocultivo, la destrucción de los bosques y cercos vivos, el aumento desproporcionado del área bajo cultivo, el reemplazo de la agricultura diversificada, y con el desplazamiento de los bosques naturales por cultivos anuales. Andow (1983) menciona cuatro ejemplos (dos en algodón y dos en trigo) en los cuales el aumento de los monocultivos eliminó las plantas huéspedes alternativas, de manera que no se podían formar grandes poblaciones de insectos multivoltinos y herbívoros polífagos (ej. *Heliothis zea*, *Bemisia tabaci* y *Oscinella* spp.). Las pruebas actuales apoyan la hipótesis de Andow, la cual indica que las plagas menos ágiles y monófagas son buenas candidatas para alcanzar proporciones de epidemia según aumenta el monocultivo. Otras prácticas agrícolas como la fertilización, el riego y las aplicaciones de plaguicidas pueden hacer que las plantas sean más o menos susceptibles al ataque de las enfermedades o plagas.

Los investigadores que buscan un método ecológico para controlar las plagas plantean la restauración de la diversidad vegetal en la agricultura. Ellos esperan que al añadir una diversidad selectiva a los sistemas de cultivo, es posible capturar algunas de las propiedades estables de las comunidades naturales para los agroecosistemas (Root 1973). Varios investigadores han explorado los efectos del aumento de la diversidad en el manejo de las plagas (Litsinger y Moody 1976; Perrin 1977; Cromartie 1981; Altieri y Letourneau 1982).

Monocultivos en los Estados Unidos

Los monocultivos han aumentado drásticamente en los Estados Unidos, ya sea espacialmente, por el hecho de que la tierra dispuesta para un sólo cultivo se ha expandido dentro de un área geográfica, y temporalmente, a través de la producción año a año de las mismas especies en la misma tierra. Aún cuando resulta difícil cuantificar la extensión de los monocultivos con la información actual, un grupo especializado en la heterogeneidad espacial de los paisajes agrícolas señaló que la diversidad de cultivos por unidad de tierra arable ha disminuido y las tierras de cultivo se han concentrado cada vez más (USDA 1973). Estas tendencias son particularmente evidentes en el cinturón de maíz, en el delta del Mississippi, en el valle del Red River, en las planicies altas de Texas, en las áreas de regadío de California, en el sur de Florida y en la región de trigo de invierno de Kansas/Oklahoma.

En el estado de Illinois, un análisis piloto estudió las tendencias en la diversidad agrícola durante 32 años (USDA 1973). Al estudiar los pastizales, el maíz, la soya, el trigo, la avena y el heno, los científicos de USDA aplicaron el indicador Shannon-Weaver a nueve distritos agrícolas para realizar comparaciones anuales de la diversidad. En siete distritos, la diversidad cayó abruptamente, comenzando a mediados de

la década de los 50. La especialización en la producción de maíz y soya fueron responsables por el aumento del monocultivo y por la agregación de tierras de cultivo en la mayoría de los distritos estudiados.

Por lo general, fuerzas políticas y económicas influyen en la tendencia destinada a dedicar grandes áreas al monocultivo. El énfasis de la investigación dirigida en un producto especial aumenta la productividad y tecnología de producción de algunos cultivos, lo que contribuye al monocultivo. Los productos de la investigación que promueven un uso intensivo de capital tienden a beneficiar en gran escala a los grandes agricultores de monocultivos. También, la concentración de la experiencia administrativa, la mecanización y comercialización apoyan la tendencia hacia las prácticas de monocultivo, todo debido a la economía de escala (Buttel 1980b).

Diversidad y poblaciones de insectos

Teoría ecológica

Los campos expuestos y las concentraciones de especies de un sólo cultivo abren el camino a una infestación por plagas, ya que proporcionan recursos concentrados y condiciones físicas uniformes que fomentan la invasión de insectos (Root 1973). La abundancia y eficacia de los depredadores se reduce, debido a que estos medioambientes simplificados no proporcionan fuentes alternativas adecuadas de alimentación, refugio, reproducción y otros factores ambientales (van den Bosch y Telford 1964). Las plagas de insectos herbívoros son más propensas a colonizar y a permanecer más tiempo en los cultivos huéspedes que están concentrados, ya que el conjunto de necesidades de vida de las plagas se satisfacen en estos medioambientes simplificados (Root 1973). Como resultado, las poblaciones de plagas especializadas alcanzan niveles económicamente indeseados.

Dos hipótesis explican la reducción de plagas en los policultivos (Root 1973, Altieri et al. 1978, Bach 1980, Risch 1983, Altieri y Liebman 1986 y 1988). La primera, la hipótesis de *los enemigos naturales*, predice una mayor mortalidad de plagas de insectos generalistas y especialistas en los policultivos, debido a que existen más parásitos y depredadores de insectos. El incremento de estos enemigos naturales se debe a las mejores condiciones de sobrevivencia en los policultivos. Comparados con los monocultivos, los policultivos pueden proporcionar más fuentes de néctar y polen (que pueden atraer a enemigos naturales y aumentar su potencial reproductivo); incrementar la cubierta del suelo (que favorece a ciertos depredadores como los escarabajos carábidos); y, por último, aumentar la diversidad de los insectos herbívoros (que pueden servir como fuente de alimento alternativo para los enemigos naturales disminuyendo la posibilidad de que los insectos benéficos dejen los campos cuando las especies principales de plagas sean escasas).

La segunda hipótesis, es la de *la concentración de recursos*, que predice que las plagas especializadas de insectos serán menos abundantes en los policultivos cuando las combinaciones se componen de cultivos huéspedes y no huéspedes. Las plagas especialistas tendrán mayor dificultad temporal para ubicarse, permanecer y reproducirse en sus huéspedes predilectos cuando estas siembras estén más dispersas en el espacio y, además, se encuentren enmascaradas, debido a estímulos visuales y químicos emanados de los cultivos asociados no huéspedes que producen confusión. En la Tabla 13.1, se encuentran los posibles mecanismos sugeridos por ambas hipótesis que explican la menor cantidad de poblaciones de plagas insectiles en los sistemas de cultivo múltiple.

TABLA 13.1 Posibles efectos del cultivo intercalado sobre la población de insectos plagas (según Altieri y Liebman 1986).

Interferencia en el comportamiento de la búsqueda del huésped	
a. Camuflaje:	Una planta huésped puede protegerse de los insectos plagas gracias a la presencia de otras plantas sobrepuestas (i.e., camuflaje de las plántulas de frijol por rastrojos de arroz para la mosca del frijol).
b. El fondo del cultivo:	Ciertas plagas prefieren que un cultivo tenga un trasfondo de un color y/o textura determinada (i.e., pulgones, escarabajos y <i>Pieris rapae</i> son más atraídos a un cultivo de col con un fondo de suelo desnudo que con el fondo de malezas).
c. Escondite o dilución:	La presencia de plantas no huéspedes pueden esconder o diluir el del estímulo atrayente: estímulo atrayente de las plantas huéspedes provocando y alterando los procesos de alimentación y reproducción (i.e., <i>Phyllotreta cruciferae</i>).
d. Repelente del estímulo químico:	Los olores aromáticos de ciertas plantas pueden interrumpir la dinámica de búsqueda de huésped (i.e., los pastos de la orilla repelen los saltamontes en los frijoles; las poblaciones de <i>Plutella xylostella</i> se ven repelidos de los cultivos intercalados de col/tomate).
Interferencia con el Desarrollo Poblacional y Supervivencia	
a. Barreras mecánicas:	Todo cultivo asociado puede bloquear la dispersión de herbívoros a través del policultivo. Esta dispersión restringida también puede resultar al combinar componentes resistentes y susceptibles de un cultivo con otros no huéspedes.
b. Carencia del estímulo:	La presencia de diferentes plantas huéspedes y no huéspedes arrestante: en un predio puede afectar la colonización de herbívoros. Si un herbívoro desciende a una planta no huésped, abandonará el predio más rápidamente que si lo hace en una planta huésped.
c. Influencias del microclima:	En un sistema cultivado intercaladamente, los aspectos favorables del microclima se encuentran altamente fraccionados, por lo cual, los insectos pueden tener más dificultades para encontrar y permanecer en microhábitats apropiados. La sombra que proviene de follajes más densos pueden afectar la fuente de alimentación de algunos insectos y/o aumentar la humedad relativa la que puede favorecer los hongos entomopatógenos.
d. Influencias bióticas:	El cultivo intercalado puede incrementar los complejos de enemigos naturales.

La diversificación del agroecosistema y el control biológico de plagas

Es difícil inducir un control biológico eficaz de plagas en los ambientes de los monocultivos, porque estos sistemas carecen de recursos adecuados para que los enemigos naturales actúen de forma efectiva ya que muchas prácticas culturales a veces utilizadas en estos sistemas afectan directamente los agentes de control biológico. Aquellos sistemas que constan de cultivos diversos, ya contienen ciertos recursos específicos para los enemigos naturales proporcionados por la diversidad vegetal, en especial, cuando no son alterados por plaguicidas (Altieri y Letourneau 1984). Por lo tanto, al reemplazar o agregar diversidad a los sistemas existentes, se diversifica el hábitat, lo que aumenta la abundancia y eficacia de los enemigos naturales (van den Bosch y Telford 1964, Powell 1986) al:

1. Proporcionar huéspedes/presa alternativos cuando existe escasez de huésped para plagas.
2. Proveer alimentos (polen y néctar) a depredadores y parasitoides adultos.

3. Brindar refugios para invernar y otros fines similares.
4. Mantener poblaciones aceptables de plagas durante períodos prolongados para asegurar una supervivencia continua de los insectos benéficos.

El efecto específico resultante de la estrategia de diversificación que se usará, dependerá tanto de las especies de herbívoros y de los enemigos naturales asociados como de las propiedades de la vegetación, de la condición fisiológica del cultivo o de la naturaleza de los efectos directos de las especies particulares de plantas (Letourneau 1987). Además, el éxito de las medidas de incremento de diversidad vegetal pueden ser influidas por la escala en que son implementadas (es decir, a nivel de campo o región agrícola), dado que el tamaño del campo, la composición de la vegetación circundante y el nivel de aislamiento de éste (es decir, la distancia de la fuente de los colonizadores) afectarán las tasas de inmigración y emigración y el tiempo efectivo que permanece un determinado enemigo natural en un campo cultivado.

Quizás, una de las mejores estrategias para incrementar la eficacia de los depredadores y parasitoides es la manipulación de recursos alimenticios atípicos (polen, néctar y huéspedes-presa alternativos) (Rabb et al. 1976). En este aspecto no sólo es importante que la densidad de estos recursos sea alta para influir las poblaciones de enemigos, sino que también la distribución espacial y la dispersión temporal del recurso deben ser adecuadas. Una manipulación apropiada de los recursos mencionados debería permitir que los enemigos colonicen el hábitat antes que las plagas y que encuentren regularmente una fuente de recursos distribuida en forma equitativa; de esta manera, aumentaría la probabilidad de que los enemigos permanecieran en el hábitat y se reprodujeran (Andow y Risch 1985). Ciertas disposiciones de los policultivos aumentan y otras reducen la heterogeneidad espacial de recursos específicos de alimentación; por lo tanto, las especies determinadas de enemigos naturales pueden ser más o menos abundantes en un policultivo específico. Estos efectos y respuestas sólo pueden determinarse experimentalmente a través de toda una gama de agroecosistemas. La tarea es, de hecho, abrumadora, dado que las técnicas de incremento deben adecuarse necesariamente al lugar.

La literatura está llena de ejemplos que demuestran que la diversificación de los sistemas de cultivos reducen las poblaciones de herbívoros. Los estudios sugieren que mientras más diverso sea el agroecosistema y mayor sea el tiempo en que su diversidad permanece inalterada, más son los eslabones internos que se desarrollarán para fomentar una mayor estabilidad de la comunidad de insectos. Sin embargo, es claro que esta estabilidad no sólo depende de la diversidad trófica, sino también de la naturaleza de la respuesta dependiente de la densidad de los niveles tróficos (Southwood y Way 1970). En otras palabras, la estabilidad dependerá de la precisión de respuesta de un determinado eslabón trófico frente al aumento en la población de un nivel inferior.

Aún cuando la mayoría de los experimentos han documentado las tendencias poblacionales de insectos en los hábitats de cultivos complejos, sólo algunos se han concentrado en dilucidar la naturaleza y dinámica de las relaciones tróficas entre plantas-herbívoros y enemigos naturales en los agroecosistemas diversificados. Se han desarrollado varias líneas de investigación:

Estudios de la interacción cultivo-maleza-insectos. La evidencia indica que las malezas influyen en la diversidad y abundancia de los insectos herbívoros y enemigos naturales asociados a los sistemas de cultivos. Ciertas malezas (especialmente Umbelliferae, Leguminosae y Compositae) desempeñan un papel ecológico impor-

tante, pues hospedan y mantienen un conjunto de artrópodos benéficos que ayudan a eliminar poblaciones de plagas (Altieri et al. 1977, Altieri y Whitcomb 1979). En el Capítulo 14, se mencionan ejemplos específicos de las asociaciones cultivo-maleza que incrementan el biocontrol.

Dinámica de insectos en los policultivos anuales. Evidencias abrumadoras señalan que los policultivos sostienen una menor carga herbívora que los monocultivos. Uno de los factores que explica esta tendencia es que los policultivos preservan poblaciones de enemigos naturales relativamente más estables, debido a la disposición más continua de fuentes de alimentación y a una mayor diversidad de microhábitats (Risch 1981, Helenius 1989). El otro factor es que los herbívoros especializados tienen más oportunidades de encontrar y permanecer en los monocultivos puros, ya que éstos brindan recursos concentrados y condiciones físicas monótonas (Root 1973). En la Tabla 13.2 se mencionan ejemplos específicos de policultivos que afectan las poblaciones de plagas.

Las reducciones en las poblaciones de plagas puede ser debio al uso de policultivos que a su vez tiene dramáticos efectos en los rendimientos del cultivo (Tabla 13.3). Por ejemplo, la dramática con el caupí reduce el rendimiento de yuca en el policultivo cuando la mosca blanca de a yuca fue controlada con insecticidas. Sin embargo, cuando no se utilizaron insecticidas para el control de esta plaga, los rendimientos de la yuca en el policultivo fueron mayores que en el monocutivo. Sin insecticidas, el efecto competitivo del caupí fue más compensatorio por la protección provista a la yuca (Gold 1987).

Herbívoros en sistemas de cultivos complejos perennes. Muchos de los estudios han explorado los efectos de la manipulación de los cultivos de cobertura sobre los insectos plagas y los enemigos asociados, los datos indican que huertos con un desarrollo floral exhiben bajo índice de insectos plaga que en huertos limpios, especialmente por el incremento en la abundancia y la eficiencia de los depredadores y parasitoides (Altieri y Schmidt 1985). En algunos casos, los cultivos de cobertura afectan directamente especies de herbívoros que pueden distinguir árboles con y sin cobertura.

Diversidad y enfermedades de plantas

Los monocultivos son casi siempre más propensos a enfermedades. Una de las estrategias epidemiológicas para minimizar las pérdidas por enfermedades o nematodos en las plantas es el incrementar las especies y/o la diversidad genética de los sistemas de cultivo. Larios (1976) documentó la evidencia de supresión de enfermedades en varios sistemas tropicales. El caupí intercalado con maíz mostró menor liberación y diseminación del inoculo que en monocultivos de caupí. La infestación del mildew causada por *Oidium manihotis* y la roña causada por *Sphaceloma* sp. fue retardada en cultivos asociados de yuca y frijol o camotes. El virus del mosaico y el virus clorótico del caupí se manifestó a bajos niveles en cultivos de caupí intercalados con yuca o platanos.

El uso de cultivos no hospederos en sistemas intercalados puede reducir significativamente la distribución del virus. Un cultivo amortiguador como el maíz, cuando se siembra entre la fuente de la polilla del mani y el cultivo susceptible de soya, se puede reducir la separación requerida para prevenir la expansión de la enfermedad. El virus del mosaico de la alfalfa tiene mayor prevalencia en monocultivos que en los cultivos combinados con pastos cocksfoot grass. Los cultivos de mostaza

TABLA 13.2 Selección de ejemplos de sistemas de cultivo múltiples que previenen eficazmente los brotes de plagas de insectos (basados en Altieri et al. 1978, Altieri y Letourneau 1982, y Andow 1991).

Sistemas de cultivo múltiple	Plaga(s) regulada(s)	Factor relacionado
Frijoles cultivados en relevo de manera intercalada con trigo de invierno.	<i>Empoasca fabae</i> y <i>Aphis fabae</i>	Deterioro de la conducta de búsqueda visual de los áfidos dispersos.
Cultivos de <i>Brassica</i> y frijoles.	<i>Brevicoryne brassicae</i> y <i>Delia brassicae</i> .	Mayor depredación e interrupción del compartamiento de oviposición.
Brotes de brúselas intercalados con haba y/o mostaza.	<i>Phyllotreta cruciferae</i> y áfido de la col <i>Brevicoryne brassicae</i>	Reducción de los cultivos trampa de apariencia vegetal, aumento del control biológico.
Col intercalada con trébol blanco y morado.	<i>Erioischia brassicae</i> , áfidos de la col, y mariposas de la col importadas (<i>Pieris rapae</i>).	Interferencia con la colonización y aumento de los escarabajos del suelo.
Cultivo intercalado de <i>Cajanus cajan</i> con garbanzos asiáticos morados, negros y verdes.	Gorgojo de las vainas, jásidos Colonización retardada de <i>cajan</i> con garbanzos asiáticos y membrácidos.	Colonización retardada de herbívoros.
Yuca intercalada con caupí.	Mosca blanca <i>Aleurotrachelus socialis</i> y <i>Trialeurodes variabilis</i> .	Cambios en el vigor de la planta y mayor abundancia de enemigos naturales.
Cultivo en franjas alternadas de coliflor con nabos o caléndulas.	Escarabajo de los brotes <i>Meligethes aeneus</i> .	Cultivo trampa.
Maíz intercalado con frijoles.	Saltahojas (<i>Empoasca kraemeri</i>), escarabajo de las hojas (<i>Diabrotica balteata</i>) y gusano cortador (<i>Spodoptera frugiperda</i>).	Aumentos de insectos benéficos e interferencia con la colonización.
Maíz intercalado con frijol, haba y zapallo.	Áfidos, <i>Tetranychus urticae</i> y <i>Macroductylus</i> sp.	Mayor abundancia de depredadores.
Maíz intercalado con trébol.	<i>Ostrinia nubilalis</i>	?
Maíz intercalado con soya.	Gorgoro europeo del maíz <i>Ostrinia nubilalis</i> .	Diferencia en la resistencia varietal del maíz.
Maíz intercalado con camotes.	Escarabajo de las hojas (<i>Diabrotica</i> spp.) y langostas (<i>Agallia lingula</i>)	Aumento de avispas parásitas.
Cultivo intercalado de maíz y frijoles. de los saltahojas.	<i>Daibulus maidis</i> .	Interferencia con el movimiento de los saltahojas.
Algodón intercalado con caupí forrajero.	Gorgojo del algodón (<i>Anthonomus grandis</i>).	Aumento poblacional de avispas parásitas (<i>Eurytoma</i> sp.).
Cultivo intercalado de algodón con sorgo o maíz.	Gusano del maíz (<i>Heliothis zea</i>).	Mayor abundancia de depredadores.
Algodón intercalado con quimbombó.	<i>Podagrica</i> sp.	Cultivo trampa
Cultivo en franjas de algodón y alfalfa.	Insecto de la planta (<i>Lygus hesperus</i> y <i>L. elisus</i>).	Prevención de la emigración y sincronía de las relaciones entre las plagas y los enemigos naturales.

Sistemas de cultivo múltiple	Plaga(s) regulada(s)	Factor relacionado
Cultivo en franjas de algodón y alfalfa, por una parte, y maíz y soya, por otra.	Gusano del maíz (<i>Heliothis zea</i>) y gusano de la col (<i>Trichoplusia ni</i>).	Mayor abundancia de depredadores.
Cultivo intercalado de caupí y sorgo.	Escarabajo defoliador <i>Oetheca bennigseni</i> .	Interferencia de corrientes de aire.
Pepinos intercalados con maíz y brocoli.	<i>Acalymma vittatum</i> .	Interferencia con el movimiento y tiempo de permanencia en las plantas huéspedes.
Maní intercalado con frijol de campo.	<i>Aphis craccivora</i> .	Afidos atrapados en pelos epidérmicos de los frijoles.
Cultivo intercalado de maíz-frijol.	<i>Prorachia daria</i> y gusano cortador <i>Spodoptera frugiperda</i> .	No registrados.
Cultivo en franjas de melón de Castilla y trigo.	<i>Myzus persicae</i> .	Índices de oviposición inferiores, cultivos trampa.
Avena intercalada con frijol de campo. <i>Rhopalosiphum padi</i> .	<i>Rhopalosiphum padi</i> .	Interferencia con la dispersión secundaria luego de posarse en el cultivo.
Duraznos intercalados con fresas.	<i>Ancylics comptana</i> y <i>Grapholita molesta</i>	Aumento poblacional de parásitos (<i>Macrocentrus ancylivora</i> , <i>Microbracon gelechise</i> y <i>Lixophaga variabilis</i>).
Maní intercalado con maíz.	Perforador del maíz (<i>Ostrinia furnacalis</i>).	Abundancia de arañas (<i>Lycosa</i> sp.).
Sésamo intercalado con maíz o sorgo.	<i>Antigostra</i> sp.	Sombra proporcionada por el cultivo asociado más alto.
Sésamo intercalado con algodón.	<i>Heliothis</i> spp.	Aumento de los insectos benéficos y cultivos trampa.
Soya cultivada en franjas con arverjas.	<i>Epilachna varivestis</i> .	Cultivos trampa.
Zapallo intercalado con maíz	<i>Acalymma thiemei</i> , <i>Diabrotica balteata</i>	Mayor dispersión debido a la ausencia de plantas huéspedes a la sombra del maíz e interferencia con los movimientos de vuelo por los tallos del maíz.
Tomate y tabaco intercalados con col.	Escarabajos (<i>Phyllotreta cruciferae</i>)	Inhibición alimenticia debido a los olores provenientes de plantas no huéspedes.
Tomate intercalado con col.	Polilla de la col (<i>Plutella xylostella</i>).	Camuflaje o repelencia química.

o cebada que alcanzan alturas de 66 a 41 cm respectivamente cuando se siembran combinados con plantulas de remolacha pueden disminuir la incidencia del virus del amarillamiento de la remolacha (Altieri y Liebman 1986). Los ejemplos disponibles indican que las combinaciones de cultivos o variedades (multilíneas) amortiguan las pérdidas por enfermedades, reduciendo la diseminación de esproas o modificando las condiciones microambientales como humedad, luz, temperatura y movimiento

TABLA 13.3 Rendimiento comercial de yuca en mono y policultivo con caupí, con y sin aplicaciones de insecticidas. La yuca se cultivo a la misma densidad en los cuatro tratamientos. Los experimentos se llevaron a cabo en Nataima, Colombia (Gold 1987).

Rendimiento de Yuca (Kg/planta)		
Insecticidas	En monocultivo	En policultivo
Aplicados	1.91	1.31
No aplicados	0.80	1.15

del aire (Browning y Frey 1969, Larios 1976). Algunas plantas asociadas pueden actuar como repelentes, inhibidores del apetito, interruptores del crecimiento, o como elementos tóxicos. En el caso de los agentes patógenos del suelo, algunas combinaciones de plantas y abonos orgánicos aumentan la fungiestasis y la antibiosis mediante efectos directos sobre la materia orgánica del suelo (Sumner et al. 1981).

Diversidad y nemátodos

Una estrategia basada en la diversidad es el uso de cultivos trampas, los cuales son cultivos huéspedes sembrados para atraer nemátodos, pero destinados a ser cosechados o destruidos antes que los nemátodos incuben. Esta táctica se ha empleado contra nemátodos quistes, mediante la siembra de crucíferas que son aradas antes que los nemátodos de la remolacha se desarrollen completamente. El mismo objetivo se alcanza en las plantaciones de piñas (*Ananas comosus*) al sembrar tomates y destruirlos antes que los nemátodos radiculares se puedan reproducir (Palti 1981).

También existe evidencia de que la acción tóxica de algunas plantas afectan desfavorablemente a las poblaciones de nemátodos. Oostenbrink et al. (1957) demostró que numerosas variedades de *Tagetes erecta* y *T. patula* reducían la población de ciertas especies de nemátodos que atacan a la raíz, tales como *Pratylenchus*, *Tylenchorchynchus*, y *Rotylenchus*. El efecto de las caléndulas sobre *Pratylenchus* parece deberse a la acción nematocida de las raíces de la planta en crecimiento, que secretan alfa-terthienil. En estudios posteriores, Visser y Vythilingum (1959) también informaron que estas dos especies de caléndulas disminuían considerablemente las poblaciones de *Pratylenchus coffeae* y *Meloidogyne javanica* en el suelo de té (*Camellia sinensis*). El cultivo de caléndulas reducía la presencia de nemátodos con mayor rapidez y eficacia que si se mantenía el suelo de té en barbecho. Existen otras plantas cuyos extractos radiculares presentan características nematocidas. Por ejemplo, la *Ammrosia* spp. e *Iva xanthiifolia*, que reducen las poblaciones de *P. penetrans*.

Se han realizado muy pocos estudios sobre la supresión de nemátodos en sistemas de cultivo intercalado. El nemátodo *Anguina tritici*, que penetra la plántula de trigo desde el suelo e infesta las espigas, ha sido controlado parcialmente en India al sembrar *Polygonum hydropiper* con trigo (*Triticum* sp.). También en India, se ha descubierto que la planta *Sesamum orientale* produce exudaciones radiculares nematocidas que disminuyen la infestación de nemátodos radiculares en *Abelmoschus esculentus* que crece en los costados (Altieri y Liebman 1986).

Egunjobi (1984) estudió la ecología de *P. brachyurus* en sistemas tradicionales de maíz en Nigeria. El autor encontró que las aplicaciones de fertilizantes NPK aumentaron el número de nemátodos en suelos con monocultivo de maíz, a diferencia de terrenos de maíz intercalados con caupí, maní o garbanzo verde.

Diversidad y poblaciones de malezas

Las continuas manipulaciones de los campos, necesarias para la producción moderna de cultivos, han favorecido la selección de malezas oportunistas y competitivas, dado que la mayoría de estas especies son estimuladas por las alteraciones regulares en los monocultivos. De los factores que influyen en el equilibrio cultivo/maleza dentro de un campo, la densidad de las malezas y plantas del cultivo desempeñan un papel principal en el resultado de la competencia. Cuando el patrón de cultivo es intensivo, el nivel y el tipo de la comunidad de malezas es producto del cultivo y de su manejo. En sistemas de cultivo múltiple, la naturaleza de las combinaciones (especialmente del cierre del dosel) puede mantener el suelo cubierto durante toda la temporada de crecimiento, dando sombra a especies de malezas sensibles y reduciendo al mínimo la necesidad de controlar las malezas. Los sistemas de cultivo intercalado de maíz/frijol mungo y maíz/camote son sistemas comunes que inhiben la competencia de malezas. En estos sistemas, los doseles complejos con grandes áreas foliares interceptan una proporción significativa de luz incidente, dejando en la sombra a las especies de malezas sensibles (Bantilan et al. 1974).

En general, la supresión de malezas en los sistemas de cultivo intercalado depende de la densidad, de las proporciones relativas, de la disposición espacial de los cultivos componentes y de la fertilidad del suelo. Los mecanismos que explican los rendimientos excesivos y la supresión de malezas en policultivos se han visto limitados por la preferencia dada a los nichos y recursos, la exclusión competitiva y la interferencia aleloquímica (Altieri y Liebman 1988).

La alelopatía puede contribuir al aumento de la competitividad de los cultivos sobre las malezas coexistentes en los monocultivos y policultivos. Los cultivos tales como el centeno, la cebada, el trigo, el tabaco y la avena liberan en el ambiente sustancias tóxicas, ya sea mediante la exudación radicular o el material vegetal en descomposición de la planta, que inhiben la germinación y crecimiento de algunas malezas. Las sustancias lixiviantes de algunas variedades de pepinos tienen efectos alelopáticos sobre el mijo. Las secreciones radiculares del centeno y de avena pueden inhibir la germinación y crecimiento de malezas tales como la mostaza silvestre, *Brassica* spp. y la amapola (*Papaver rhoeas*) (Putnam y Duke 1978). El papel potencial de la alelopatía en el manejo de las malezas se discute más detalladamente en el Capítulo 14.

Ecología y manejo de malezas

La agricultura ha influido fuertemente en la evolución de las malezas. Las actividades agrícolas han mantenido a la sucesión de comunidades de plantas en sus etapas pioneras. Los principales componentes de la vegetación de estas comunidades, son las que la agricultura ha denominado «malezas». Hasta ahora, cerca de 250 especies de plantas son lo suficientemente problemáticas como para ser llamadas, en general, malezas. Muchas de éstas provienen de lejanas áreas geográficas o son «oportunistas» nativas favorecidas por determinadas alteraciones humanas. Los monocultivos, rara vez, usan toda la humedad, la cantidad de nutrientes y la luz disponible para el crecimiento de la plantas, dejando, con ello, nichos ecológicos abiertos que deben protegerse de la invasión y competencia de las malezas oportunistas.

La mayoría de los estudios sobre la ecología de las malezas han puesto énfasis en las adaptaciones y características de crecimiento, que permiten a las malezas explotar los nichos ecológicos abiertos que son dejados en las tierras de cultivo y en los mecanismos de ajustes que habilitan a las malezas a sobrevivir bajo condiciones de máxima alteración en el suelo, tales como los sistemas convencionales de labranza. Estos estudios señalan que las características que permiten que las malezas pueblen exitosamente los agroecosistemas, incluyen (Baker 1974):

1. Requisitos de germinación ampliamente satisfechos: la labranza aumenta la germinación de semillas de muchas especies de malezas porque incrementa el número de micrositios (lugares determinados en el suelo con condiciones adecuadas para la germinación para una especie dada, en un ambiente heterogéneo).

2. La discontinua y marcada periodicidad de germinación: la mayoría de las especies germinan mejor en ciertos periodos del año. Por ejemplo, *Avena fatua* germina mejor en primavera y en otoño, y *Cheno-podium album*, a fines de primavera y a principios de otoño.

3. La longevidad de las semillas: las semillas de *Oenothera biennis*, *Verbascum blattaria* y *Rumex crispus* pueden permanecer viables, incluso, después de 80 años.

4. La dormancia variable de las semillas.

5. El rápido crecimiento entre la fase vegetativa y la floración.

6. La alta producción de semillas bajo condiciones favorables: por ejemplo, *Amaranthus retroflexus* puede producir hasta 110.000 semillas por planta.

7. La capacidad para producir semillas prácticamente durante todo el período de crecimiento: la producción de semillas comienza, generalmente, después de un corto período de crecimiento vegetativo.

8. Autocompatibles, pero no totalmente autógamas o apomícticas: muchas malezas anuales pueden producir semillas sin agentes polinizantes externos.

9. La adaptación a la polinización cruzada mediante visitantes no especializados o por el viento.
10. La adaptación a la dispersión de larga y corta distancia .
11. Las perennes tienen una reproducción o regeneración vegetativa vigorosa a partir de fragmentos (rizomas, brotes alarmantes, bulbos, raíces primarias, etc.)
12. La capacidad para competir entre especies mediante medios especiales (rosetas, incremento de obstrucción, sustancias aleoquímicas).
13. La capacidad para tolerar y adaptarse a ambientes variables.

Competencia cultivo/maleza

Las interacciones cultivo/maleza varían de acuerdo a las regiones geográficas, a los diferentes cultivos e incluso son distintas entre los mismos cultivos en diversas situaciones. De hecho, estas interacciones son abrumadoramente específicas en cuanto al lugar y a la temporada. Ellas cambian según la especie de planta involucrada, la densidad, las prácticas de manejo y los factores ambientales (Radosevich y Holt 1984). En consecuencia, puede que sean irrelevantes las cifras mundiales que reflejan las pérdidas de los cultivos por competencia. Sin embargo, la evaluación general de las pérdidas en el rendimiento del cultivo, causadas por las malezas, ha justificado el fomento de monocultivos libres de malezas, que se basan en herbicidas químicos de alto costo. Esta postura se ha mantenido, en cierta forma, por las demandas de las industrias químicas que dicen que al reemplazar los herbicidas por un control no químico de malezas, se reducirían las entradas agrícolas en un 31% y habría una pérdida económica de trece billones de dólares (Aldrich 1984).

El resultado final de la competencia de las malezas es una reducción en el rendimiento o la calidad del cultivo. En muchos cultivos donde no existe un control de malezas durante la temporada, no hay, en general, producción comercial. No obstante, el resultado de esta competencia es afectado de por diversos factores (Figura 14.1) Zimdahl 1980:



FIGURA 14.1 Factores que afectan la competencia maleza-cultivo (Bleasdale 1960).

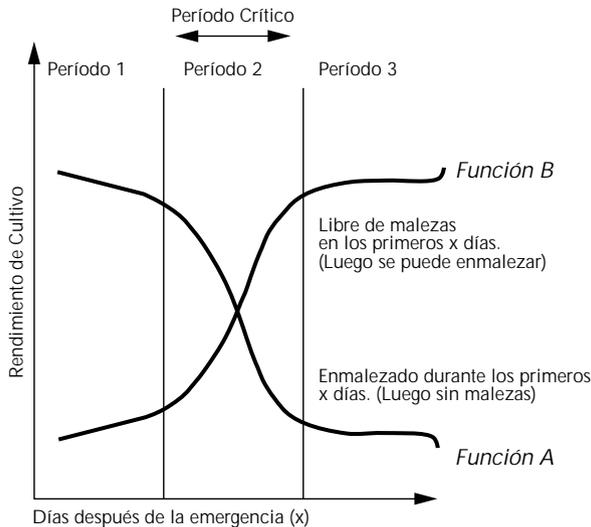


FIGURA 14.2 Ilustración esquemática del concepto del período crítico de competencia de malezas. (Alstrom 1990).

1. Período de crecimiento de malezas en relación con la emergencia del cultivo: la competencia de malezas durante, aproximadamente, el primer tercio del ciclo del cultivo tiende a tener un mayor efecto en el rendimiento de éste. En general, dicho rendimiento aumenta poco cuando los cultivos se encuentran con malezas después de este importante periodo de competencia (Kasasian y Seeyave 1969). Esta etapa representa el intervalo de tiempo entre dos componentes medidos separadamente: el periodo máximo de infestación con malezas, es decir, el tiempo que pueden permanecer las malezas, que aparecen con el cultivo, antes de que comiencen a interferir con el crecimiento de este último; y el periodo mínimo sin malezas o bien el tiempo que debe estar un cultivo, después de su siembra, sin malezas para evitar pérdidas de rendimiento. Estos componentes se encuentran experimentalmente determinados al medir la pérdida en el rendimiento de los cultivos como una función de períodos sucesivos de eliminación o emergencia de malezas, respectivamente (Figura 14.2). El umbral de cada uno de estos períodos se puede usar para predecir cuándo controlar las malezas para prevenir pérdidas en el rendimiento. Con el fin de evitar estas pérdidas, el control de malezas a tiempo debería tener como objetivo la reducción al mínimo de la interferencia de malezas en los cultivos, durante el periodo crítico de competencia. La Figura 14.3 ilustra el efecto negativo que produce en el rendimiento de un cultivo, un desmalezamiento tardío versus el efecto de cuando éste se realiza oportunamente.

2. Variedades y tipos de cultivos: los cultivos difieren en su capacidad para competir: la cebada tolera más la interferencia que el trigo y éste, más que la avena. Cultivos con dosel de rápida formación y los cultivos altos con un aextensa área foliar, sufren menos con la competencia de malezas.

3. Densidad de las poblaciones de malezas: el aumento de la densidad de malezas reduce el crecimiento y el rendimiento del cultivo.

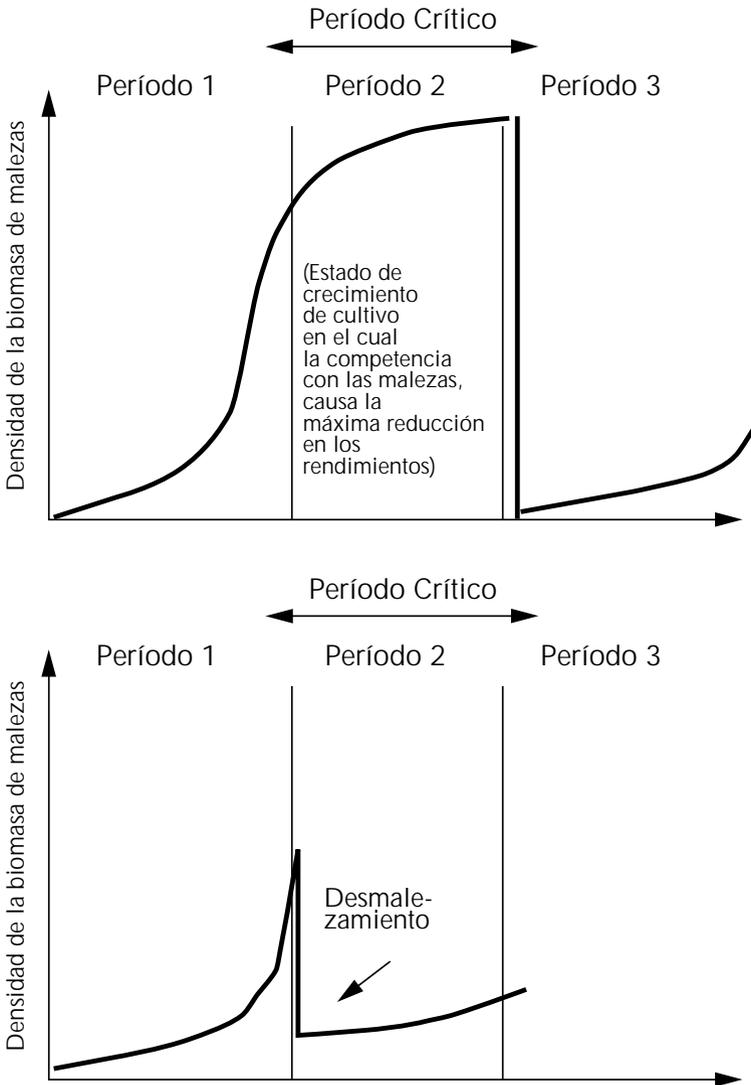


FIGURA 14.3 Desmalezamiento oportuno e inoportuno, con extracción de biomasa de maleza antes y después del período crítico de competencia maleza-cultivo.

4. Especies de malezas: la maravilla alta (*Ipomoea purpurea*) es más competitiva en el algodón que la *Cassia obtusifolia* a similares densidades de malezas. En general, con poblaciones iguales, las malezas anuales de hoja ancha, compiten mucho más que las de hojas angostas.

5. Tipo de suelo: el efecto competitivo de las malezas varía según las características y la fertilidad del suelo. Donde existe gran fertilidad, la diferencia de rendimientos de cultivos, con y sin malezas, no es muy notable. Sin embargo, si la fertilidad es menor, el rendimiento de cultivos con malezas es inferior a los de aquellos sin malezas.

6. Humedad del suelo: los incrementos comparativos en los rendimientos de cultivos con y sin malezas, en suelos de humedad deficiente, difieren según las especies de malezas y cultivos. La competencia mínima entre la soja y la *Setaria* spp. se manifestó cuando el contenido de agua en el suelo, fue casi adecuado o restrictivo durante toda la temporada (Radoserich y Holt 1984).

7. Fisiología de las malezas: el mecanismo fotosintético C⁴ proporciona cierta ventaja a malezas que colonizan cultivos, donde la intensidad de la luz y la temperatura son altas. Al mediodía, cuando estos factores se encuentran en su nivel más alto, las malezas de C⁴ fijan el dióxido de carbono a una tasa mucho mayor que los cultivos, que la soja y el algodón. Las malezas con el mecanismo C⁴ incluyen algunos pastos, *Amaranthus* spp. y *Setaria* spp.

Una prueba reciente indica que la presencia de malezas en los cultivos no puede ser automáticamente juzgada como un elemento dañino. Las relaciones densidad de malezas/rendimiento de cultivos son más bien sigmoides que lineales. En general, una baja densidad de malezas no siempre afecta el rendimiento de los cultivos e incluso, en algunas situaciones, ciertas densidades estimulan el crecimiento de los cultivos.

Por ejemplo, en áreas lluviosas de la zona árida de India, malezas como *Arnebia hispidissima*, *Borreria articularis* y *Celosia argentea*, estimularon el crecimiento y rendimiento de *Pennisetum triphoideum*, pero no el del sésamo (*Sesamum indicum*). La presencia de *Indigofera cordiflora* fue beneficiosa para ambos cultivos. Algo similar ocurrió en el noroeste de India: el aumento en la densidad de la maleza leguminosa *Triponella polycersta* dio como resultado un incremento de peso seco del trigo; y sólo a densidades muy altas esta maleza (cerca de 3200 plantas por m²) bajó realmente el rendimiento del cultivo. Al parecer, esta interacción positiva fue producida por una mejor nutrición nitrogenada del trigo debido a la bacteria nodular presente en las raíces de la *Triponella* (Kapoor y Ramakrishnam 1975).

Estudios de esta naturaleza señalan que antes de darle importancia al control de malezas, se debería aclarar si una «maleza», en particular, es dañina o no para un cultivo determinado en una cierta área.

El grado de competencia entre los cultivos y las malezas puede verse afectado al manipular diversos factores. La distancia entre hileras del cultivo, la tasa de siembra, la disposición espacial y temporal o la combinación de diferentes prácticas pueden influir en el equilibrio cultivo/maleza (Buchanan 1977):

1. Disposición espacial de las plantas: al no estar tan separadas las hileras, sombrean el área entre ellas, reprimiendo por tanto el crecimiento de malezas.

2. Densidad de siembra del cultivo: en cultivos anuales de cereales, una alta densidad de siembra puede controlar las malezas.

3. Fecha de siembra: cuando la germinación del cultivo coincide con la aparición del primer brote de malezas, existe una interferencia intensa maleza/cultivo. Una alternativa sería posponer la siembra de manera que malezas como *Cyperus* puedan cultivarse después del punto máximo de crecimiento para reducir los carbohidratos en un 60% y disminuir el vigor consecutivo de la maleza.

4. Secuencia de cultivos: las rotaciones de cultivos pueden influir ciertas poblaciones específicas de malezas. Al inspeccionar la literatura, Liebman y Dick (1993) descubrieron que la rotación de cultivos provocaba una emergencia en la densidad de malezas en los cultivos que era, en 21 casos, menor; en uno, mayor, y en 5, equivalente al sistema de monocultivos. En 12 casos donde se informó la densidad

TABLA 14.1 Control de malezas a través de la rotación de cultivos: comparación con el monocultivo (Liebman y Dyck 1993).

Rotación del cultivo	Densidad de malezas emergidas en Cultivo de prueba	Rendimiento del cultivo de prueba la rotación	en la rotación
1. Trigo/remolacha	trigo	menor	mayor
2. Papa/papa/arveja/remolacha/remolacha/trigo	trigo	menor	mayor
3. Trigo/trébol rojo/papa/remolacha/frijol de campo	trigo	menor	mayor
4. Alfalfa (5 años)/papa/remolacha/arveja/remolacha/trigo	trigo	menor	mayor
5. Papa/avena/maíz/frijol de campo	avena	menor	mayor
6. Alfalfa (3 años)/avena/remolacha/remolacha/avena	avena	menor	mayor
7. Barbecho/centeno de invierno/papa/avena + trébol/trébol/lino	centeno de invierno papa avena trébol lino	menor uniforme menor menor menor	no disponible no disponible no disponible no disponible no disponible
8. Barbecho verano/trigo	trigo	menor	mayor
9. Barbecho verano/trigo/trigo	trigo	menor	mayor
10. Maíz/maíz/soya	maíz	(menor)	mayor
11. Maíz/soja/trigo	soja	(menor)	mayor
12. Maíz/maní/algodón/soya	maíz maní algodón soya	menor uniforme uniforme menor	uniforme uniforme uniforme mayor
13. Remolacha/frijol de campo/cebada de primavera/centeno de invierno/uva de invierno/trigode invierno	remolacha menor cebada de primavera centeno de invierno uva de invierno trigo de invierno	mayor (menor) menor menor menor menor	no disponible no disponible no disponible no disponible no disponible no disponible
14. Trigo de invierno/maíz	maíz	menor	no disponible
15. Maíz/trigo de invierno/maíz	maíz	menor	no disponible
16. Trigo de invierno/maíz/maíz	maíz	uniforme	no disponible
17. Trigo de invierno/trigo de invierno/maíz	maíz	menor	no disponible

de semillas de las malezas, ésta era menor en 9 y equivalente en 3 casos en una rotación de cultivo, comparada con los monocultivos de los mismos componentes. La Tabla 14.1 resume diversos estudios que indican la dinámica de las malezas entre los sistemas de monocultivos y de rotación de cultivos. El éxito de este último sistema para eliminar las malezas, parece radicar en el uso de cultivos secuenciales, que crean distintos patrones de competencia por recursos, interferencias alelopáticas, alteraciones en el suelo y un daño mecánico que origina un ambiente inestable y, frecuentemente, inhóspito que interfiere con la proliferación de determinadas especies de malezas.

5. Combinación de cultivos: al cultivar intercaladamente puede incrementarse la capacidad competitiva del cultivo para reprimir el crecimiento de las malezas. En un caso de la literatura, Liebman y Dick (1993) descubrieron que en los sistemas de cultivos intercalados, donde se entresembraba un cultivo principal con una serie de cultivos «sofocantes», la biomasa de malezas, en el cultivo intercalado, era menor en 47 y mayor en 4 casos que en el cultivo principal sembrado aisladamente; se observó una respuesta variable, en 3 casos. Cuando en los cultivos intercalados se incluían dos o más cultivos principales, la biomasa de las malezas, en el cultivo intercalado, era menor, en 12 casos, que en todos los monocultivos aislados, intermedio en 10 casos, y mayor, en 2 casos, que todos los monocultivos. Los cultivos intercalados demostraron, en dos formas, las ventajas del control de malezas sobre los monocultivos. La primera se refiere al mayor rendimiento del cultivo y al menor crecimiento de malezas que puede lograrse en el caso de que los cultivos intercalados sean más eficaces en usurpar los recursos de las malezas o suprimir el crecimiento de éstas a través de la alelopatía. Alternativamente este tipo de cultivos pueden proveer ventaja en el rendimiento sin reprimir el crecimiento de malezas por bajo el observado en los monocultivos si los cultivos intercalados utilizan los recursos que no pueden explotar las malezas o bien pueden convertirlos en material cosechable más eficazmente que los monocultivos. Los sistemas de cultivos intercalados, que reprimen las malezas, comprenden asociaciones de maíz y frijol, sorgo-caupí, cebada y trébol rojo, yuca-frijol, guandul-sorgo, caupí, cebada y trébol rojo, yuca-frijol, guandul-sorgo.

6. Cultivo de cobertura: ciertos cultivos de cobertura sembrados en otoño, dentro de huertos, pueden reducir, en gran medida, la población de malezas y la biomasa en la próxima temporada de cultivo. El trigo «*Tecumseh*», disecado en primavera o en otoño, puede disminuir los contenidos de malezas en un 76% y 88%, respectivamente. En cultivos sembrados en zonas tropicales (café, cacao, coco, palma africana), es común el uso de cultivos de cobertura, tales como *Centrosoma pubescens*, *Perania phaseoloides*, *P. javanica* y *Calopo-gonium mucunoide*, para reprimir el crecimiento de malezas (Akobundu 1987).

7. Aplicación de mulch: algunos residuos de siembra como paja permiten un control excepcional de malezas. Por ejemplo, la paja del sorgo Sudán y el sorgo reducen la biomasa de las malezas en 90% y 85% respectivamente, considerando que el musgo de pantano proporciona sólo una reducción marginal. Aun cuando los agricultores conocen los beneficios de la aplicación de mulch, la logística de adquirir y transportar el mulch limita su uso en cultivos considerados de gran valor económico. Otra alternativa sería cultivar el mulch en el lugar, tal como si fuera una leguminosa (por ejemplo, *Mucuna pruriens*). *Mucuna* se forma a partir de semillas y cubre la superficie en 10 a 12 semanas, y muere al final de las lluvias, dejando un mulch tupido que brinda una cobertura de superficie para una labranza moderada cuando se efectúe el

próximo cultivo. Las leguminosas arbóreas de rápido crecimiento, como la *Leucaena leucocephala*, que se cultivan en callejones, son podadas cada cierto tiempo, proporcionando gran cantidad de biomasa, que se utiliza como mulch, para controlar las malezas y agregar materia orgánica al suelo (Akobundu 1987).

Alelopatía

La competencia no siempre puede explicar el porqué de la supresión del crecimiento de las plantas en los agroecosistemas. A veces se manifiestan interacciones bioquímicas (alelopatía) entre las plantas. La alelopatía es cualquier efecto dañino, directo o indirecto, provocado por una planta a otra, a través de la producción de componentes químicos, liberados al ambiente. Contraria a la competencia, la alelopatía se desencadena cuando se agrega, al ambiente, un factor tóxico. Se postula a la alelopatía como un mecanismo importante mediante el cual las malezas afectan el crecimiento del cultivo y vice versa (Altieri y Doll 1978, Putnam y Duke 1978, Gliessman 1982a). Con el apoyo de pruebas, se señala enfáticamente que ciertos cultivos, como el centeno, la cebada, el trigo, el tabaco y la avena, liberan sustancias tóxicas al ambiente, ya sea a través de la exudación de las raíces o debido a los residuos de las cosechas. Ambos tipos de alelopatía, del cultivo en crecimiento y de sus residuos se han utilizado para reducir las malezas, evitando la germinación y la aparición de malezas y también, afectando el crecimiento de éstas. Los residuos de una variedad determinada de centeno mostraron cierto potencial en la reducción de malezas, en un sistema de producción vegetal sin labranza. Se obtuvo hasta un 95% de control de la biomasa de malezas cuando se sembró el centeno en otoño, cuando se eliminó en primavera y cuando las hortalizas se sembraron en los residuos (Aldrich 1984).

Los tipos silvestres de los cultivos existentes pueden haber tenido un alto potencial alelopático y esta característica puede que haya disminuido o desaparecido en el momento en que dichos cultivos se cruzaron y se seleccionaron para otras propiedades. Se han determinado algunas variedades de la *Avena* sp para demostrar las influencias alelopáticas que tiene sobre la mostaza silvestre (*Brassica kaber*). Algo similar ocurrió, en condiciones ambientales no controladas, cuando el pepino mostró un potencial alelopático contra *Brassica kaber* y un tipo de pasto, *Panicum miliacum*. En ciertas condiciones seleccionadas de campo los pepinos inhibieron el crecimiento del proso millet, el pasto barnyard y amaranto. Incluso se realizaron pruebas de bioensayos para confirmar que la inhibición se debía a una toxina producida por ciertos pepinos.

Se ha hecho poco esfuerzo para mejorar cultivos con potencial alelopático a través del cruce de variedades corrientes de cultivos con tipos silvestres. Se observa, a menudo, una mayor influencia alelopática cuando las plantas se acercan a su periodo de maduración, lo que sugeriría que esta influencia sería mejor usada contra problemas incipientes de malezas, adecuadamente, después de que el cultivo se haya establecido. Un fenómeno, de tal magnitud, sería considerado de gran valor, por cierto, para influir en el control de malezas al final de la temporada.

La alelopatía puede llegar a ser un medio real para controlar las malezas si estas características se manifiestan en tipos silvestres de especies cultivadas, y puedan transferirse a los cultivos deseados. Al lograr un control de malezas, de este modo, se evitan gastos, contaminaciones, y aplicaciones extras de herbicidas. Existen diversas alternativas para explotar la alelopatía en la agricultura:

- Sintetizar estos productos, o sus análogos, para usarlos como herbicidas, aislando e identificando los productos tóxicos naturales.
- Incorporar el mecanismo tóxico, en los cultivos, mediante una manipulación genética.
- Utilizar mulch, residuos y cultivos de cobertura alelopáticos.
- Manipular el comportamiento de las semillas de las malezas usando los componentes de las plantas para adelantar la germinación de estas semillas.

Los estudios que comparan los componentes competitivos y alelopáticos de la interferencia entre los cultivos y las malezas, determinarán la capacidad de tolerancia de las diferentes especies de malezas para cada tipo de cultivo.

Cuando un cultivo y su especie de maleza acompañante, se consideran como partes integrales del mismo agroecosistema, como puede observarse en agroecosistemas donde se clasifican y manejan las plantas no cultivadas, este agroecosistema se vuelve, cada vez, más importante para poder entender el nivel de complejidad de las relaciones entre las diferentes plantas y el ambiente. Los estudios de los mecanismos de la interferencia biótica entre los componentes del cultivo y los que no lo son, especialmente a través de interacciones alelopáticas, serán cada vez más importantes a medida que las limitaciones económicas y ecológicas sobre las prácticas de control de malezas modernas se hagan más restrictivas. La alelopatía ofrece una alternativa potencial (Gliessman 1982a).

Manejo de malezas

Debido a los cambios en la frecuencia de las especies de malezas agresivas, asociadas con las secuencias de los cultivos, en el tipo de labores en las aplicaciones de herbicidas, día a día se vuelve más obvio que se requiere más de un sólo método de manejo para mediar con los complejos de malezas dominantes. En consecuencia, los científicos de malezas han comenzado a desarrollar un enfoque integrado para enfrentar los problemas de las malezas cuyos objetivos son mantener el crecimiento de éstas a un nivel ecológica, agronómica y económicamente aceptable. Este enfoque se basa en el entendimiento de los factores abióticos, culturales y biológicos que causan los cambios agrícolas y estacionales en las poblaciones de malezas.

El objetivo central del manejo de malezas es manipular la relación cultivo/maleza de manera que el crecimiento del cultivo sea el más favorecido. Los esfuerzos están dirigidos a prevenir la reproducción de malezas, interrumpir el reciclaje de propágulos de éstas, prevenir la introducción de nuevas malezas, reducir, al mínimo, las condiciones que proporcionan nichos para la invasión de malezas y superar las adaptaciones que permitan a las malezas persistir en los hábitat alterados. Los enfoques principales en que más hincapié se hace, abarcan: a) la reducción de propágulos producidos, b) la reducción de la aparición de malezas, y c) la reducción, al mínimo, de la interferencia y competencia de malezas. Las prácticas de cultivo (elección del cultivo, rotación, espacio en el cultivo, dosis de semillas), las labranzas (profundidad de labranza, labranza mínima, manejo de residuos del cultivo) y prácticas con herbicidas son utilizadas, en conjunto, para lograr los objetivos mencionados. Las Figuras 14.4 a y b sugieren la forma de reducir la cantidad de propágulos en el banco de semillas, prevenir la aparición de malezas con el cultivo y disminuir la competencia cultivo-maleza dentro del contexto de un programa de manejo total.

Cualquier programa de manejo de malezas es sólo parte de un sistema total de producción de cultivos, lo que significa que cualquier combinación de técnicas de un

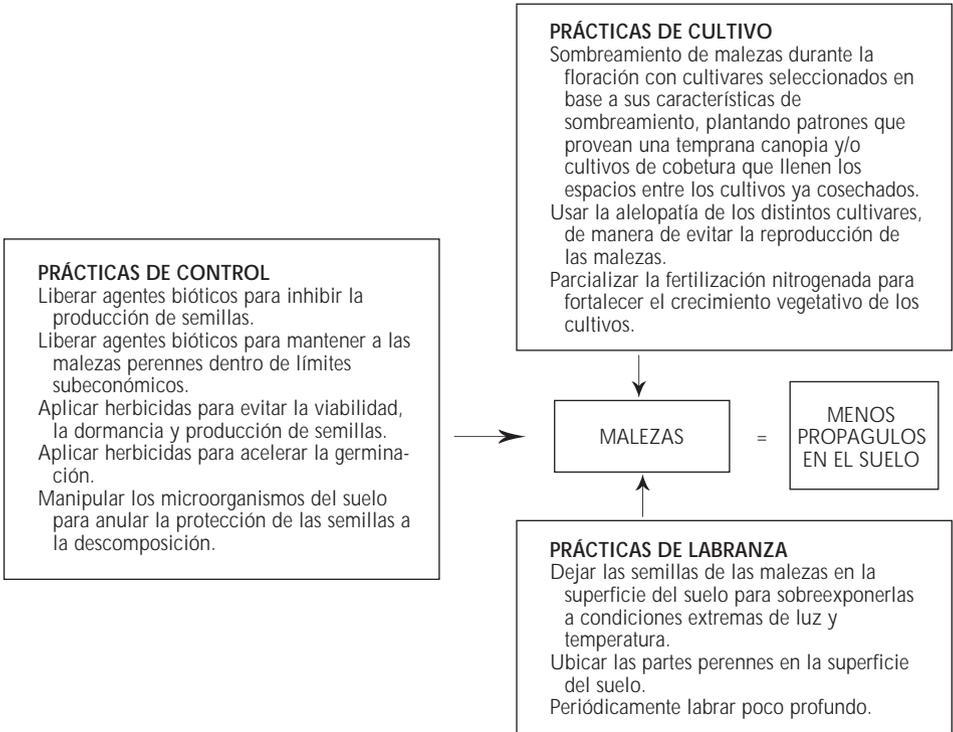


FIGURA 14.4a Resumen de métodos para reducir los propágulos de malezas en los bancos de semillas.

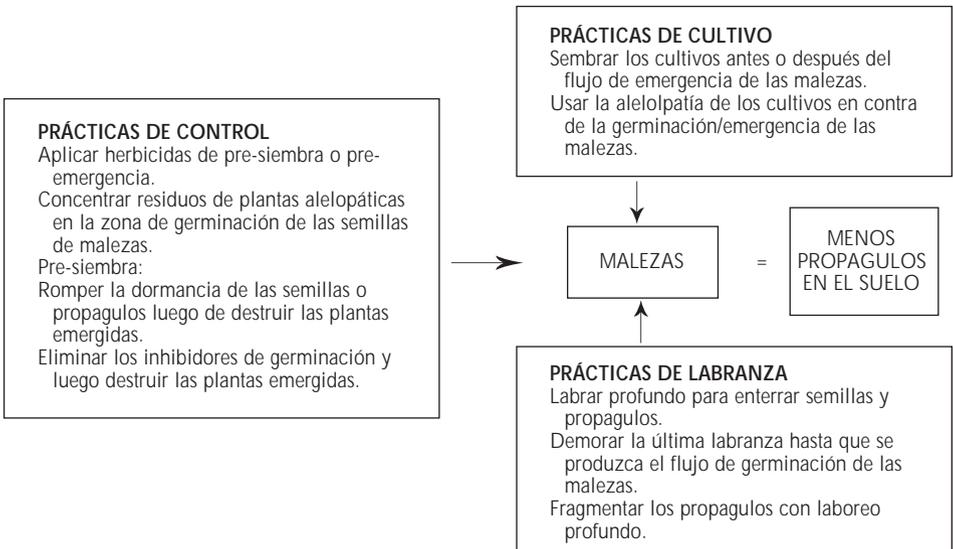


FIGURA 14.4b Resumen de los métodos para prevenir la emergencia de malezas en los cultivos.

manejo cultural, de la competencia de cultivos y de una manipulación ambiental, orientadas a aminorar los niveles de malezas, debe ser compatibles con otros esquemas agrícolas de manejo. En este aspecto son, especialmente, importantes, las interacciones entre los programas de manejo de malezas y plagas. También es esencial el esquema de fertilidad del suelo del agricultor, ya que puede afectar las interacciones cultivo/maleza en forma única.

Los ecólogos han puesto mayor importancia a determinar las relaciones sitio-específicas entre cultivo y maleza en cuanto a las tasas de crecimiento, germinación y limitación de recursos. Se da énfasis también a la identificación de la interacción ambiental de las malezas y la respuesta de éstas frente al manejo del agroecosistema para predecir los cambios de población de malezas y la abundancia de éstas. Ciertas pruebas indican que, en algunas circunstancias, el hecho de manipular uno o dos factores (composición y densidad de cultivo, espacio entre las hileras, fecha de siembra, manejo de agua, tasa del nitrógeno aplicado, labranza, combinación de cultivos) pueden cambiar favorablemente el equilibrio cultivo/maleza. El manejo de malezas, en su forma más simple, consiste en aprovechar el entendimiento de estas relaciones (Altieri y Liebman 1988).

Quizás se ha puesto mucho hincapié en la investigación de malezas y en la manipulación de genotipos de cultivos de manera que las relaciones competitivas, entre los cultivos y las malezas, cambien a favor de los primeros. Ghersa y Roush (1993), concuerdan en que las estrategias que se quieren alcanzar para reducir las pérdidas de rendimiento, mejorando la capacidad de un cultivo para competir contra las malezas, es menos productiva que aquellas que tratan de manejar la dispersión y distribución de los propágulos de las malezas. Por esta razón, creen que el mejor entendimiento de cómo se dispersan los propágulos de las malezas puede llevar a soluciones más estables en relación con los problemas de éstas.

Una vez que se hayan determinado los principios que determinan las relaciones de germinación, crecimiento y competencia, puede indicarse la forma más adecuada para manejar la comunidad de malezas de diversos agroecosistemas. Por ejemplo, si la capacidad competitiva de una especie determinada de malezas se basa en una germinación prematura, lo mejor sería sembrar y cultivar anticipadamente. Si el crecimiento rápido y el desarrollo de dosel son las estrategias más importantes, se deberían considerar los periodos de control, los umbrales de densidad de malezas y las combinaciones de cultivos con crecimiento rápido tanto temporal como espacialmente. En la Tabla 14.2 se muestran otros principios ecológicos relevantes, en los que pueden basarse las prácticas de control de malezas sin el uso de productos químicos.

Quizás las mayores contribuciones, que los agroecólogos puedan hacer para el manejo de las malezas, sean:

1. Determinar los factores ecológicos que determinan la abundancia de malezas.
2. Determinar las condiciones y el período en los cuales las malezas sean más vulnerables a las prácticas de manejo.
3. Proporcionar información para predecir, con precisión, las respuestas de la maleza frente a los diversos patrones de cultivos y prácticas de control.
4. Dilucidar los lazos funcionales existentes entre las malezas, cultivos y otras especies.

Dichos estudios pueden contribuir en forma importante a la comprensión de la dinámica temporal y espacial de las malezas en los ecosistemas agrícolas (Radosevich y Holt 1984).

TABLA 14.2 Listado de métodos no químicos para manejo de malezas y los principios ecológicos en que cada uno se basa (según Holt, no publicado).

Principio ecológico	Método de control de malezas
Reducir los insumos y aumentar la producción del banco de semillas del suelo	Prevención Asoleo del suelo Control de malezas pre-siembra
Permitir al cultivo recapturar espacio	Cultivo temprano Uso de trasplante de cultivos Elección de fecha de siembra
Reducir el crecimiento de la maleza y capturar, así, espacio	Labranza Poda Mulching
Maximizar el crecimiento del cultivo y su adaptabilidad	Elección de la variedad a cultivar Siembra temprana
Minimizar la competencia intraespecífica del cultivo y maximizar la captura de espacio	Elección de cantidad a sembrar Elección de espacio de hileras
Maximizar los efectos competitivos del cultivo sobre la maleza	Siembra de cultivos de cobertura
Modificar el medio ambiente para evitar adaptación de las malezas	Rotación de cultivos, Alternación de los métodos de control
Maximizar la eficiencia del cultivo en lo que a utilización de recursos se refiere	Cultivo intercalado

Sin embargo, realísticamente, no se puede saber todo acerca de las especies de malezas, con miras a desarrollar una estrategia para el manejo de éstas. Entrar a ejecutar una reducción práctica de malezas en un agroecosistema, puede requerir el conocer sólo algunas características biológicas y relaciones fundamentales claves de las malezas en cuestión. Esto a su vez, puede implicar tan sólo algunos cambios en las decisiones básicas del manejo agrícola. La conclusión es, por tanto, el identificar procesos y factores ecológicos claves que guíen a la dinámica de las malezas y su interacción en los agroecosistemas. Los siguientes pasos pueden llevar a un mejor entendimiento de las interacciones claves y ciclos susceptibles de la vida de las malezas para un mejor manejo de cultivos/maleza en agroecosistemas locales (Altieri y Liebman 1988):

1. Monitorear las poblaciones de semillas y plantas vegetativas, considerándolas como partes activas y pasivas de la población de malezas, es la única manera efectiva de comprender el sistema de vida de las especies de malezas.

2. Identificar las especies de malezas causantes de problemas dado que no hay un orden jerárquico importante para cultivos y malezas. Determinar cuando y con qué densidad, una especie determinada de maleza afecta el rendimiento de un cultivo determinado, y cuánto dura su efecto. Dichos estudios determinarán el control a ejercer con la maleza y qué tipo de control.

3. Estudiar los métodos existentes que tenga el agricultor para el control de malezas.

4. Determinar cuáles son las especies de malezas más importantes o complejos de malezas, clarificar su interacción con insectos, patógenos y otros componentes bióticos o abióticos del agroecosistema.

5. Predecir las poblaciones de malezas basado en cambios de cultivos anteriores en el tiempo tales como secuencias de cultivos y otros factores de cambio.

6. Decidir sobre la aplicación de una medida de control, basada en umbrales preestablecidos y la población de semillas del suelo y que consideren factores económicos sociales e históricos del campo en cuestión.

7. Optar por una tecnología compatible con la totalidad de los sistemas (programa de manejo insectiles, fertilización, etc.) porque las estrategias de manejo de las malezas tienden a interactuar con otros programas de control de plagas, en la mayoría de los casos.

8. Los programas de manejo de malezas que se recomiendan deben considerar las necesidades de los agricultores y sus recursos básicos. Si un tipo de tecnología de manejo de malezas es accesible a tan sólo un grupo específico de agricultores en una región, puede afectar el procedimiento económico de éstos de diversas maneras. Por otro lado, si los agricultores no aceptan una determinada tecnología puede ser por razones de tipo ecológicas.

9. Integrar las medidas de protección contra las malezas, con otro tipo de manejo de cultivos y esperar un poco antes de decidir sobre una futura protección.

10. Evaluar los impactos a largo plazo que tendrá el sistema de manejo de malezas, en relación al medio ambiente, y a aspectos sociales y económicos.

El rol ecológico de las malezas

La simplificación del medio ambiente, característico de los sistemas agrícolas modernos, ha acelerado la sucesión de modelos vegetal en la agricultura, creando hábitats específicos que favorecen a la selección de malezas competitivas y oportunistas. Aunque las malezas interfieren con la producción agrícola, son componentes importantes de los agroecosistemas pudiendo considerarlas como útiles (Sogar 1974).

En muchas zonas en México, por ejemplo, los campesinos de las localidades no sacan toda la maleza de sus sistemas de cultivo. El desyerbe «relajado» es vista generalmente por los agriculturistas como la consecuencia de poco trabajo y del bajo precio que se paga por trabajo extra. Sin embargo, si se mira con mayor detención se ve que algunas malezas se manejan e incluso se estimulan si sirven para algún fin de utilidad. En las tierras tropicales bajas de Tabasco, México, hay una clasificación única de plantas no cultivadas conforme a su uso potencial por una parte y su efecto sobre el suelo y cultivos por la otra. Con este sistema, los campesinos reconocen 21 tipos de plantas en los maizales llamadas Mal Monte (mala hierba) 20 denominadas Buen Monte (buena hierba). Las malezas buenas sirven como alimento, medicinas, material de ceremonias, té y mejoradores del suelo (Chacón y Gliessman 1982).

De igual forma, los Indios Tarahumara en la Sierra Mexicana dependen de las malezas comestibles en su estado de plántulas (*Amaranthus*, *Chenopodium*, *Brassica*) desde Abril a Julio, período crítico anterior a la maduración del maíz, frijoles, cucúrbitas y chiles en Agosto hasta Octubre. Las malezas sirven también como una reserva alimentaria alternativa cuando los cultivos de maíz son destruidos por las tormentas de granizo. De alguna forma, los Tarahumara practican un sistema de cultivo doble, que consisten en maíz y malezas que permite dos cosechas: una de las malezas en estado de semilla o *quelites* al comenzar el período de crecimiento, y otra después de este período, al cosechar el maíz (Bye 1981).

Las malezas interactúan ecológicamente con todos los otros subsistemas de un agroecosistema siendo un elemento valioso en el control de la erosión, mantención de la humedad del suelo, incremento de la materia orgánica y del nitrógeno en el suelo, preservación de los insectos benéficos y la vida silvestre (Gliessman et al.

1981). No se ha reconocido el beneficio que tiene un suelo cubierto de malezas para el control de la erosión. Un estudio que se llevó a cabo en los maizales de Malawi demostró que la cobertura del suelo con malezas reducía las pérdidas por erosión de 12,1 toneladas por hectárea en predios sin maleza a 4,5 toneladas por hectárea en predios con maleza. El economizar anualmente aproximadamente ocho toneladas por hectárea de suelo, debería ser potencialmente un beneficio capaz de balancear todas las reducciones en el rendimiento a largo plazo (Weil 1982).

Varias malezas que están presentes en los sistemas de cultivos tradicionales, en los países en desarrollo, son parientes silvestres de algunas plantas del cultivo. La amplitud ecológica de estos parientes silvestres puede exceder la de los cultivos, provenientes de ellos o relacionados a ellos, característica que han utilizado los mejoradores de plantas para aumentar la resistencia o el período de adaptación de los cultivos. En estas situaciones, las malezas y sus parientes silvestres han coexistido y coevolucionado durante un largo período de tiempo entre sí y con la cultura humana. Han sucedido ciclos naturales de hibridismo e introgresión, comúnmente, entre los cultivos y sus parientes silvestres, aumentando la variedad y diversidad genética de que disponen los campesinos. A través de la práctica del cultivo sin limpieza, los campesinos aumentaron, de forma inadvertida, el flujo genético entre los cultivos y sus parientes. Por ejemplo, en México los campesinos permiten que el *Teosinte* permanezca en o cerca de los campos de maíz de tal manera que se produzca el cruce natural cuando el viento poliniza al maíz. Aunque cruces de este tipo no se hacen evidentes de inmediato, las semillas de maíz/*Teosinte* producen plantas híbridas al próximo año cuando se planta la nueva cosecha de maíz con las semillas del año anterior (Altieri y Liebmann 1988).

Tales híbridos y sus descendientes son fértiles y fenotípicamente distintos siendo capaces, por tanto, de traspasar todas sus características genéticas. Es así como las malezas se mantienen como fuentes genéticas, que deben ser preservadas, dado que sus genes son valiosos para mejorar el desempeño de los cultivos existentes, especialmente en zonas marginales.

Tal vez el rol ecológico de las malezas se podría visualizar mejor si analizamos las consecuencias que observaríamos al erradicar completamente la flora de las malezas de los agroecosistemas. Algunas de estas consecuencias serían (Tripathi 1977):

- Reemplazo de las malezas susceptibles a los herbicidas por otras más resistentes.
- Disminución total de la producción por área por la remoción de la biomasa vegetal.
- Reducción drástica de las fuentes genéticas, dado que las malezas contribuyen sustancialmente al fondo genético existente.
- Las plantas de los cultivos serían atacadas por los insectos o patógenos que hasta ese momento preferían a las malezas.
- Reducción en el número de insectos benéficos y de la vida silvestre que usaban a las malezas como fuente de alimento alternativo, como protección y como lugar de refugio.
- Aumento de los problemas de erosión luego de la cosecha de los cultivos.
- Pérdida de los nutrientes almacenados por las malezas.

Un análisis objetivo del problema mencionado con antelación, debería preparar el escenario para hacer énfasis en el manejo de las malezas más bien que en el control de las mismas. La base ecológica de este cambio énfasis, fue elaborada por Bantilan et al. 1974, Buchanan y Frans 1979, Harper 1977, Sagar 1974, Tripathi 1977 y otros. Este nuevo examen sobre el rol de las malezas como componente ecológico puede,

de hecho, conducir al desarrollo de líneas de acción para el manejo total del agroecosistema.

Las malezas como fuentes de plagas insectiles en los agroecosistemas

Las malezas, tradicionalmente se han considerado como plantas no deseadas que merman los rendimientos al competir con los cultivos o por albergar plagas insectiles o enfermedades de las plantas. Entre los años 1934 y 1963 habían 442 menciones que daban cuenta de las malezas como reservas de plagas; 100 de estas menciones referidas a los cereales (van Emden 1965). El Centro de Desarrollo e Investigación Agrícola de Ohio editó una serie de publicaciones relacionadas con las malezas como reservorios de organismos que afectaban a los cultivos. Más de 70 familias de artrópodos que afectaban a los cultivos se informaron, primariamente, asociados con las malezas (Bendixen y Horn 1981). Ejemplos más detallados respecto al rol de las malezas en la epidemiología de las plagas insectiles y enfermedades de las plantas, se pueden ubicar en Thresh (1981).

Plantas de malezas cercanas a los campos de cultivos, pueden ser un requisito necesario para la erupción violenta de una plaga. La presencia de la *Urtica dioica* en los hábitats no cultivables circundantes a las plantaciones de zanahorias, fue el factor más importante que determinó altos niveles de daño a las zanahorias cercanas ocasionados por las larvas de la mosca de las zanahorias. Las langostas adultas invaden los huertos de duraznos comenzando por vegetación ubicada en los extremos de éste y, subsecuentemente colonizan los árboles cuyo suelo está compuesto por sus huéspedes silvestres preferidos. Llantén (*Plantago* spp.) es un alimento alternativo para el áfido róseo de la manzana *Dysaphis plantaginea*, plaga importante que afecta a la manzana en Inglaterra. Este áfido, permanece durante la mayoría del verano en el llantén, volviendo a la manzana casi al final del período estival. La *Ametrastegia glabrata* se alimenta normalmente de *Rumex* spp. y *Polygonum* spp, pudiendo la última generación de larvas desplazarse a los manzanos cercanos para agujerear los frutos o reventar sus puntas. (Altieri y Letourneau 1982, Altieri 1993).

El rol de las malezas en la ecología de los enemigos naturales

Algunas malezas son componentes importantes de los agroecosistemas al afectar positivamente la dinámica y biología de los insectos beneficios. Sirven como fuentes alternativas de polen o néctar, entregando micro hábitats a las presas/huésped, elementos que no se encuentran disponibles en los monocultivos desmalezados (van Emden 1965). La entomofauna benéfica, relacionada con muchas especies de malezas ha sido tema de amplia investigación (Altieri y Whitcomb 1979).

La investigación llevada a cabo durante los últimos 25 años, demuestra que los ataques violentos de ciertas plagas a los cultivos suelen ocurrir más frecuentemente en campos sin malezas que en sistemas de cultivos diversificados con malezas (Altieri et al. 1977). Los campos con cultivos con una cubierta de malezas densa, tienen generalmente una mayor cantidad de artrópodos depredadores que los campos libres de malezas. Los escarabajos de tierra *Carabidae*, las moscas *Syrphidae* y los *Coccinellidae* son abundantes en los sistemas diversificados con malezas. Ejemplos relevantes de sistemas de cultivos en los cuales la presencia de malezas específicas ha aumentado el control de algunas plagas en particular, se presentan en la Tabla 14.3.

TABLA 14.3 Ejemplos seleccionados de sistemas de cultivos en los cuales la presencia de malezas aumentó el control biológico de plagas específicas (basado en Altieri y Letourneau 1982 y Andow 1991).

Sistema de cultivo	Especie de maleza	Plaga(s) reguladas	Factor(es) comprometidos
Alfalfa	Florecimiento natural de un complejo.	Gusano de la alfalfa (<i>Colias eurytheme</i>) (<i>Apanteles medicaginis</i>).	Incremento en la actividad de la avispa parásita
Alfalfa	Pasto maleza	<i>Empoasca fabae</i>	?
Manzana	<i>Phacelia</i> sp. y <i>Eryngium</i> sp	Escama San José (<i>Quadraspidiotus perniciosus</i>) y áfidos	Incremento y abundancia de avispas parásitas (<i>Aphenlinis mali</i> y <i>Aphytis proclia</i>).
Manzana	Complejo de maleza natural	Gusano tejedor (<i>Malacosoma americanum</i>) y la polilla (<i>Carpocapsa pomonella</i>)	Incremento y abundancia de avispas parásitas.
Frijoles	Pasto de oca (<i>Eleusine indica</i>) y (<i>Leptochloa filliformis</i>)	Saltahojas (<i>Empoasca kraemeri</i>)	Repelencia química o camuflaje.
Brocoli	Mostaza silvestre	Phyllotreta cruciferae	Cultivo trampa.
Bruselas	Complejo de maleza natural	Mariposa de la col (<i>Pieris rapae</i>) y áfidos (<i>Brevicoryne brassicae</i>).	Alteración en la colonización de brotes y aumento de los depredadores
Brotos de bruselas	<i>Spergula arvensis</i>	<i>Delia brassicae</i>	?
Brotos de bruselas	<i>Spergula arvensis</i>	<i>Mamestra brassicae</i> <i>Evergestis</i> sp. <i>Brevicoryne brassicae</i>	Aumento de depredadores e interferencia con la colonización .
Col	<i>Crataegus</i> sp.	Polilla de la col (<i>Plutella maculipennis</i>)	Provisión de huéspedes alternativos para las avispas parásitas (<i>Herogenes</i> sp.)
Cítricos	<i>Hedera helix</i>	<i>Lachnosterna</i> spp.	Aumento del <i>Aphytis lignanensis</i> .
Cítricos	Complejo de maleza natural	Acaros <i>Eotetranychus</i> sp., <i>Panonychus citri</i> , <i>Metatetranychus citri</i>	?
Cítricos	Complejo de maleza natural	Escama diaspídae	?
Café	Maleza natural	<i>Antestiopus intricata</i>	?
Repollo	<i>Ambrosia artemisiifolia</i> (<i>Phyllotreta cruciferae</i>)	Escarabajos	Repelencia química o camuflaje.
Repollo	<i>Amarantus retroflexus</i> , <i>Chenopodium album</i> , <i>Xanthium strumarium</i>	Áfido verde del durazno (<i>Myzus persicae</i>)	Aumento en el número de depredadores de áfidos (<i>Chrysopa carnea</i> , Coccinellidae, Syrphidae).
Maíz	<i>Ambrosia artemisiifolia</i> gigante	Maíz europeo (<i>Ostrinia nubilalis</i>)	Provisión de huéspedes alternativos para el taquinido parásito <i>Lydella grisesens</i> .
Maíz	Maleza natural	<i>Heliothis zea</i> <i>Spodoptera frugiperda</i>	Aumento de depredadores.
Maíz	<i>Setaria virides</i> y <i>S. faberi</i>	<i>Diabrotica virgifera</i> y <i>D. barberi</i>	?
Algodón	<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	<i>Anthonomus grandis</i>	Provisión de huéspedes alternativos <i>Eurythoma tylodermais</i> .

Sistema de cultivo	Especie de maleza	Plaga(s) reguladas	Factor(es) comprometidos
Algodón	<i>Ambrosia artemisifolia</i> y <i>Rumex crispus</i>	<i>Heliothis</i> spp.	Aumento de depredadores.
Algodón	<i>Salvia coccinae</i> <i>Cassia adenecaulis</i>	<i>Lygus</i> sp.	?
Cultivos crucíferas	Mostazas de florecimiento rápido	Gusanos de la col (<i>Pieris</i> spp.)	Incremento en la actividad de la avispa parásita (<i>Apanteles glomeratus</i>).
Frijol mung	Complejo de maleza natural	Mosca del frijol (<i>Ophlomyia phaseoli</i>)	Alteración del fondo colonizador
Palma africana	<i>Pueraria</i> sp., <i>Flemingia</i> sp., helechos, enredaderas y pastos	Escarabajo sagrado <i>Xyloryctes</i> sp. y <i>Chalcosoma atlas</i>	?
Duraznos	<i>Ambrosia artemisifolia</i>	Polilla oriental de la fruta	Provisión de huéspedes alternativos para el parásito <i>Macrocentrus ancyliverus</i> .
Duraznos	Malezas rosáceas y <i>Dactylis glomerata</i>	Saltahojas, <i>Paraphlepsius</i> ? sp. y <i>Scaphytopius</i> sp.	
Sorgo	<i>Helianthus</i> spp.	<i>Schizophis graminum</i>	Aumento del parasitoides <i>Aphelinus</i> spp.
Soya	Pastos tipo malezas de hojas anchas	<i>Epilachina varivestis</i>	Aumento de los depredadores.
Soya	<i>Cassia obtusifolia</i>	<i>Nezara viridula</i> , <i>Anticarsia gemmatalis</i>	Aumento en el número de depredadores.
Soya	<i>Crotalaria</i> sp. <i>Trichopoda</i> sp.	<i>Nezara viridula</i>	Incremento del taquinido
Caña de azúcar	Malezas <i>Euphorbia</i> spp.	Gorgojo de la caña de azúcar (<i>Rhombosielus obscurus</i>)	Provisión de néctar y polen para el parásito <i>Lixophaga sphenpheri</i> .
Caña de azúcar	<i>Borreria verticillata</i> y <i>Hyptis atrorubens</i>	Grillo (<i>Scapteriscus vicinus</i>)	Provisión de néctar para el parásito <i>Larra americana</i> .
Camotes	Maravilla (<i>Ipomoea</i> sp.)	(<i>Chelymorpha cassidea</i>)	Provisión de huéspedes alternativas para el parásito <i>Emersonella</i> sp.
Cultivos de hortalizas	Zanahoria silvestre (<i>Daucus carota</i>)	Escarabajo japonés (<i>Popillia japonica</i>)	Incremento en la actividad de la avispa parásito <i>Tiphia popillivora</i> .
Viñedos	Moras silvestre (<i>Rubus</i> sp.)	Saltahojas de la vid (<i>Erythroneura elegantula</i>)	Aumento en el número de huéspedes alternativos para la avispa parásita <i>Anagrus epos</i> .
Viñedos	Pasto Johnson (<i>Sorghum halepense</i>)	Acaro del Pacífico (<i>Eotetranychus willamettei</i>)	Estructuración de ácaros depredadores (<i>Metaseiulus occidentalis</i>).

Se ha observado un espectacular aumento del parasitismo en cultivos anuales y huertos con gran cantidad de plantas subyacentes con flores silvestres. En el manzano, el parasitismo de los huevos y larvas de la oruga tejedora, y las larvas de la mariposa Tortricidae, fue 18 veces mayor en aquellos huertos con crecimientos florales subyacentes que en aquellos donde este último era escaso. Los investigadores soviéticos del Laboratorio Tashkent descubrieron que la falta de una fuente alimenticia para el adulto *Aphytis proclia* fue la causa de su inhabilidad para controlar a su huésped, la escama de San José (*Quadraspidiotus perniciosus*). La efectividad del parasitoides aumentó como resultado de plantar un cultivo de cobertura con *Phacelia* sp. en los huertos. Tres plantaciones sucesivas de *Phacelia* aumentaron el porcentaje de parasitismo de un 5% en

huertos cultivados limpios a un 75% donde se sembraron estas plantas productoras de néctar. Estas investigaciones también mostraron que *Apanteles glomeratus*, un parásito de dos especies de *Pieris* spp. en los cultivos de crucíferas obtenía néctar de las flores silvestres de la mostaza. Estos parásitos tenían una vida más larga y ponían más huevos cuando estas malezas se encontraban presentes. Cuando las mostazas de floración rápida se plantaban en los campos con cultivos de coles, el parasitismo en el huésped aumentó de un 10% a un 60% (Altieri 1983b).

Algunos insectos entomofagos se sienten atraídos hacia ciertas malezas, aún si no existe huésped o presa, por las sustancias químicas secretadas por el huésped herbívoro de la planta o cualquier otra planta asociada (Altieri et al. 1981). Por ejemplo, la mosca parasita *Eucelatoria* sp. prefiere la okra al algodón, la avispa *Peristenus pseudopallipes*, que ataca al chinche opaco de las plantas, prefiere al *Erigeron* que a otras especies de malezas (Monteith 1960, Nettles 1979).

De un significativo y práctico interés son los descubrimientos de Altieri et al. (1981), que mostraron que los porcentajes de parasitismo de los huevos de *Heliothis zea* por *Trichogramma* sp. eran mayores cuando los huevos se encontraban en la soya cerca del maíz y de las malezas *Desmodium* sp. *Cassia* sp. y *Croton* sp. que cuando la soya crecía sola. Aunque el mismo número de huevos yacían en la soya y plantas asociadas, muy pocos huevos que estaban en las malezas eran parasitados, insinuando que estas plantas no eran buscadas activamente por *Trichogramma* sp. pero así y todo aumentaban la eficiencia del parasitismo en las plantas asociadas a la soya. Es posible que emitieran sustancias volátiles con acción *kairomonal*. Pruebas posteriores determinaron que, la aplicación del extracto de agua de algunas de estas plantas asociadas (especialmente *Amaranthus* sp.), a la soya y otros cultivos aumentaba el parasitismo de los huevos *H.zea* por las avispas *Trichogramma* sp. Los autores hacen hincapié que una atracción mayor y la retención de las avispas en las parcelas tratadas pueden ser los responsables de los mayores niveles de parasitismo. La posibilidad que los terrenos de vegetación compleja sean químicamente distintos a los monocultivos, y por tanto más aceptables y atractivos para las avispas parasitas, abre nuevos horizontes para el control biológico a través del manejo y modificación del comportamiento de parásitos.

El trabajo de Altieri et al (1977) en Colombia aportó evidencia experimental sobre la reducción de las plagas insectiles en cultivos anuales maleza-diversificados. La densidad de adultos y ninfas de *Empoasca kraemeri*, la principal plaga del frijol en el área tropical de América Latina, se redujo en forma significativa en la medida que se aumentó la densidad de malezas en las parcelas de frijoles. Recíprocamente el crisomélido *Diabrotica balteata* era más abundante en los hábitats diversificados de frijoles que en los monocultivos, no siendo alterada la producción dado que al alimentarse de malezas reducía el daño a los frijoles. En otros experimentos las poblaciones de *E. kraemeri* se redujeron en forma significativa en los hábitats con malezas, especialmente en terrenos de frijoles asociados con pasto-malezas (*Eleusine indica* y *Laeptochloa filiformis*). Las densidades de *D. balteata* bajaron en un 14% en estos sistemas. Cuando las barreras de pasto-maleza, de un metro de ancho, rodearon a los monocultivos de frijoles, las densidades de adultos e inmaduros de *E. kraemeri* disminuyeron drásticamente. Cuando los terrenos con frijoles fueron rociados con una mezcla acuosa homogénea de hojas frescas pasto-maleza, los saltahojas adultos fueron repelidos; con aplicaciones continuas se afectó la reproducción de saltahojas, evidenciado por la reducción en el número de inmaduros (Altieri et al. 1977).

Las poblaciones de plagas insectiles y antrópodos depredadores asociados, fueron muestrados en hábitats simples y diversificados de maíz en dos lugares al norte de Florida, durante 1978 y 1979. A través de varias manipulaciones culturales, las comunidades de malezas características fueron implantadas selectivamente en hileras alternadas en las parcelas de maíz (Altieri y Letourneau 1982). La incidencia del gusano cortador (*Spodoptera frugiperda*) fue consistentemente más alta en hábitats libres de malezas que en del maíz con complejos de malezas naturales o asociaciones de malezas seleccionadas. El daño causado por el gusano del maíz (*Heliothis zea*) fue el mismo para con los tratamientos libres de malezas o con ella, sugiriendo que este insecto no se vea afectado mayormente por la diversidad de malezas.

La distancia entre las parcelas se redujo en una localidad. Mientras que los depredadores se movían libremente entre los hábitats, fue difícil identificar durante la inustipación, las diferencias que habían en la composición de la comunidad depredadora. En la otra localidad, al aumentar la distancia entre las parcelas se minimizó la migración entre parcelas, resultando una mayor densidad poblacional y diversidad de insectos depredadores en aquellos sistemas de cultivo de maíz con manejo de maleza, que en las parcelas sin maleza. Las relaciones tróficas en los hábitats con maleza fueron mucho más complejas que la trama alimenticia de los monocultivos.

Las malezas dentro de un sistema de cultivo, pueden reducir la incidencia de plagas, incitando a los insectos del cultivo. Por ejemplo, los escarabajos, *Phyllotreta cruciferae*, concentran su alimentación en la maleza *Brassica campestris*, en vez de las repollos (Altieri y Gliessmann 1983). Esta especie de maleza tienen una concentración significativamente más alta de sustancias químicas que atraen a pulguitas adultas y por tanto desvían a las pulguitas de los cultivos. Igualmente, en Tlaxcala, México, la presencia de *Lupinus* spp. En floración en campos de maíz, generalmente desvía el ataque del escarabajo frailecillo, *Macrodactylus* sp desde las flores del maíz femeninas hacia las flores del lupino (Trujillo y Altieri 1990).

En Inglaterra los predios de cebada de invierno con maleza-pasto tienen una cantidad menor de áfidos y diez veces más escarabajos estafilínidos que los predios sin maleza (Burn 1987). En forma similar, los predios sembrados con alfalfa en primavera y llenos de malezas, tienen un complejo depredador en las flores mayor que lo encontrado en predios libres de malezas (Barney et al. 1984). El carábido *Harpalus pennsylvanicus* y los depredadores en el follaje (i.e. *Orius insidiosus* y *Nabidae*) fueron más abundantes en campos de alfalfa donde dominaban los pastos-malezas.

Smith (1969) concluyó que las malezas entre los brotes de bruseles aumentaba la acción de enemigos naturales contra los áfidos al proveer de lugares de desove al depredador. Lo anterior, explicó en forma parcial la baja población áfida registrada en predios con malezas. Al permitir una cobertura selectiva de *Spergula arvensis* entre los brotes de bruseles, las poblaciones de *Mamestra brassicae*, *Evergestis forficallis*, mosca de raíz de la col y *Brevicoryne brassicae*, fueron reducidas drásticamente (Theunissen y den Auden 1980).

Manejo de malezas para regular las plagas insectiles

Tomando como base la evidencia comentada anteriormente, parece que alentando la presencia de algunas malezas específicas en los cultivos, es posible mejorar el control biológico de ciertas plagas insectiles (Altieri y Whitcomb 1979). Naturalmente, se deben definir estrategias de manejo muy cuidadosas a fin de evitar la competencia de malezas con cultivos y la interferencia con algunas prácticas culturales. En otras

palabras, el umbral económico de las poblaciones de malezas necesita ser definido y los factores que afectan el balance maleza/cultivo deben ser entendidos (Bantilan et al. 1974).

El manejo de las malezas involucra cambiar el equilibrio cultivo/maleza de tal manera que los rendimientos de los cultivos no sufran una reducción económica. Esto se puede lograr con herbicidas, através de prácticas culturales selectivas o mediante la manipulación de los cultivos a fin de favorecer a estos últimos y no a las malezas. Se pueden obtener niveles aceptables de malezas que toleren poblaciones de insectos benéficos, dentro de un predio, diseñando mezclas de cultivos competitivas, permitiendo el crecimiento alternado de malezas en hileras o que crezcan tan solo en los límites del predio, usando cultivos de cobertura, espacios más estrechos entre las hileras, dejando períodos de tiempo sin malezas (por ejemplo, mantener a los cultivos sin malezas durante el primer tercio de su ciclo de crecimiento, desde la emergencia hasta la cosecha), usando mulch y estableciendo regímenes de cultivos.

En el estado de Georgia, Estados Unidos, las poblaciones de *Anticarsia gemmatalis* y *Nezara viridula* eran mayores en los cultivos de soya sin malezas que en los que se dejó maleza por un período de 2 a 4 semanas después de la emergencia o por toda la temporada (Altieri et al. 1981).

También es deseable cambiar la composición de la comunidad de malezas a fin de asegurar la presencia de plantas que afecten la dinámica insectil. Las especies de malezas se pueden manipular de diversas maneras (Altieri y Whitcomb 1979), por ejemplo cambiando los niveles de los nutrientes claves del suelo, usando herbicidas que supriman a ciertas malezas y que alienten a otras, sembrando las semillas de malezas deseadas y variando la composición de la especie de maleza alterando la fecha de disturbancia del suelo con arado.

Manejo y ecología de las enfermedades de los cultivos

Recientemente, los patólogos de plantas han destacado el hecho de que las enfermedades epidémicas son más frecuentes en los cultivos que en la vegetación natural. Esta observación ha llevado a la conclusión de que las enfermedades epidémicas son en gran medida el resultado de la interferencia humana en el «balance de la naturaleza» (Thresh 1982). Las condiciones que permiten a un agente patógeno alcanzar niveles epidémicos, están particularmente favorecidas por la extensión de cultivos genética y horticulturalmente homogéneos, tendencia común en muchos sistemas de cultivo modernos (Zadoks y Schein 1979). Cultivos cercanos a grandes focos son particularmente vulnerables, y la invasión hacia lugares remotos se facilita por la presencia de áreas continuas de huéspedes susceptibles.

Epidemiología y manejo de las enfermedades

Las siguientes son, en resumen, las condiciones necesarias para el desarrollo a gran escala de una enfermedad nociva (Berger 1977):

1. La cepa virulenta de un agente patógeno (hongos, bacterias o virus) debe presentar una baja frecuencia en el huésped (cultivo).
2. El huésped (cultivo) que es susceptible a esta cepa se debe distribuir ampliamente en una región.
3. Las condiciones ambientales deben ser favorables para el desarrollo de los agentes patógenos.

Estos factores, en conjunto, forman el triángulo de la enfermedad; su incidencia e interacción producen la enfermedad de una planta. De hecho, la enfermedad no se generará a no ser que exista un agente patógeno activo, un huésped apropiado y condiciones ambientales adecuadas para la infección, colonización y reproducción de un agente patógeno. Entre los factores ambientales conducentes a una enfermedad se incluyen temperatura, luz, humedad relativa, etc., pero también el riego, el cual cambia el microclima y la fertilización química (especialmente N), que promueve el crecimiento frondoso de la vegetación y el aumento de la succulencia de las plantas huéspedes. Los factores ambientales también afectan la capacidad competitiva de un agente patógeno cuando éste se encuentra en el suelo (Manners 1993). El creciente conocimiento del triángulo de la enfermedad huésped/agente patógeno/medio ambiente ha permitido a los patólogos emplear ciertos principios ecológicos para reducir las pérdidas de una enfermedad epidémica. A pesar de que los cultivos difieren, sustancialmente en el tipo, la permanencia y la estabilidad del hábitat que ellos proporcionan a las enfermedades, se pueden reconocer diversas características que pueden afectar al esparcimiento de una enfermedad en el agroecosistema (Tabla 15.1).

La intensificación de la agricultura incluye varias prácticas que favorecen la enfermedad de las plantas:

1. Expansión de los campos
2. Agregación de campos
3. Aumento en la densidad de los cultivos huéspedes.
4. Disminución en la diversidad de especies y varietal de las poblaciones huéspedes.
5. Aumento de los patrones de corta rotación y o monocultivo.
6. Uso de fertilización, riego y otras modificaciones ambientales del cultivo.

Existe una relación directa entre la intensidad de un cultivo y el riesgo de una enfermedad. Está claro que los sistemas intensivos y semiintensivos de cereales y papas en Asia, Argentina o en Europa oriental tienen riesgos menores de enfermedad que los sistemas intensivos de los EE.UU. o Europa occidental (Zadoks y Schein 1974).

El propósito del control de la enfermedad es prevenir que el daño de ésta sobrepase aquel nivel donde las utilidades o el rendimiento requerido sea reducido significativamente. En general, se pueden aplicar tres estrategias epidemiológicas para disminuir al mínimo las pérdidas causadas por enfermedades:

1. Eliminar o reducir el inóculo inicial (X_0) o retardar su aparición a comienzos de la temporada.
2. Disminuir o bajar la tasa de desarrollo de la enfermedad (r) durante el período de crecimiento.
3. Acortar el tiempo de exposición de un cultivo al agente patógeno, utilizando variedades de corta duración o fertilización y prácticas de riego que eviten que el crecimiento de un cultivo sea lento. La Tabla 15.2 resume los métodos químicos, biológicos y culturales que se utilizan para influir en los tres procesos.

Control cultural de las enfermedades de las plantas

Las estrategias generales que se pueden utilizar para disminuir la incidencia de una enfermedad comprenden: evitar, excluir o erradicar los agentes patógenos, proteger al huésped, desarrollar la resistencia en los huéspedes y hacer un tratamiento previo a las plantas ya infestadas. Los métodos de control biológico y cultural que se utili-

TABLA 15.1 Algunas características del habitat del cultivo que influye en el esparcimiento de las enfermedades (según Thresh 1981).

	DISPERSION	
	Facilitado por	Impedido por
Susceptibilidad del huésped	alta	baja
Longevidad del huésped	prolongada	corta
Tamaño del huésped	grande	pequeño
Siembras vulnerables	muchas, contiguas	pocas, dispersas
Sistema de cultivos	monocultivo	policultivo
Espaciamiento de cultivos	cercanos	distanciados
Fuentes de infección	muchas locales potentes	pocas distantes menos potentes
Epoca de crecimiento	prolongada traslape	corta única
Estación seca/invierno	templada intensa	corta prolongada

TABLA 15.2 Métodos generales para el control de enfermedades y sus efectos epidemiológicos (según Zadoks y Schein 1979).

	Efecto sobre:	
A. Evitar agentes patógenos		
1) Elección de área geográfica	X_0	r
2) Elección del lugar de siembra en un área local	X_0	r
3) Elección de la época de siembra	X_0	
4) Uso de material vegetal sano	X_0	r
5) Modificación de prácticas culturales	r	
B. Excluir agentes patógenos		
1) Tratamiento de semillas o material de siembra	X_0	
2) Inspección y certificación	X_0	
3) Exclusión o restricción por cuarentena de plantas	X_0	
4) Eliminación de insectos vectores	X_0	r
C. Erradicar agentes patógenos		
1) Control biológico de los agentes patógenos de plantas	X_0	r
2) Rotación de cultivos	X_0	
3) Extracción y destrucción de plantas susceptibles o partes enfermas de las plantas		
a) Variación casual	X_0	r
b) Eliminación de huéspedes alternos y huéspedes de malezas	X_0	
c) Sanitización	X_0	
4) Tratamientos químicos y de calor aplicados a plantas	X_0	
5) Tratamientos del suelo	X_0	
D. Protección de la planta		
1) Tratamientos químicos de plantas	X_0	
2) Control de insectos vectores de agentes patógenos		r
3) Modificación del medio ambiente		r
4) Inoculación con virus benigno para proteger contra un virus más virulento	X_0	
5) Modificación de la nutrición		r
E. Desarrollo de hespederas resistentes		
1) Selección genética para resistencia		
a) Resistencia vertical	X	
b) Resistencia horizontal		r
c) Resistencia bidimensional	X	r
d) Resistencia poblacional (multilíneas)		r
2) Resistencia por quimioterapia		r
3) Resistencia mediante nutrición		
F. Terapia aplicada a la planta enferma		
1) Quimioterapia		r
2) Tratamiento de calor	X	
3) Cirugía	X	

X_0 = cantidad de inóculo inicial
r = tasa de aumento de enfermedad

zan hasta o durante el período de siembra de los cultivos, son esenciales para reducir al mínimo la enfermedad. Los controles que se aplican antes de la siembra incluyen: rotación de cultivos, calentamiento del suelo mediante la exposición al sol o la quema, inundación temporal, labranza y enmiendas del suelo con grandes cantidades de materia orgánica. La labranza destruye los residuos y acelera la descomposición y la colonización de microorganismos benéficos (Cook 1986).

La erradicación de los huéspedes alternos silvestres y susceptibles a las enfermedades de los cultivos es, a veces, un método útil, como en el caso de *Puccinia graminis* y *Cranartium ribicola*, cuyo control requiere la extracción de los huéspedes alternos *Berberis vulgaris* y *Ribes* spp. Los métodos que se utilizan en la siembra comprenden la utilización de cultivares resistentes y materiales de siembra libres de agentes patógenos.

La diversidad genética ofrece un gran potencial para el control genético de los agentes patógenos. Esta se puede lograr en los campos, sembrando cultivares con diferentes genes para la resistencia, en diferentes áreas, sembrando multilíneas o una combinación de tres o cuatro cultivares, cada uno con genes diferentes para la resistencia; o utilizando cultivares que tengan diversos genes para la resistencia dentro de su propia disposición genética (Browning y Frey 1969). Existe evidencia de un exitoso control de enfermedades dentro del campo mediante la diversidad introspectiva de los patosistemas del trigo (*Puccinia striiformis*), avena, (*Puccinia coronata*) y cebada (*Erysiphe graminis*) (Wolfe 1985).

En Iowa, desde 1968, se han introducido once cultivares de multilíneas de avena, los que se cultivan en alrededor de 400.000 ha., hasta entonces sin pérdidas producidas por la roya (*P. coronata*) en el campo. Aparentemente, la sustitución de lo que serían plantas susceptibles en un cultivo puro por plantas resistentes, reduce la cantidad de tejido susceptible. Además, el movimiento del inóculo desde una planta susceptible a otra se ve obstaculizado por la presencia de plantas resistentes en la mezcla.

Los científicos del National Institute for Agricultural Botany (NIAB) en Inglaterra, elaboraron listas de variedades de cereales recomendables que se pueden usar para seleccionar mezclas apropiadas de variedades. En la Tabla 15.3 se ilustra este concepto con respecto al mildew en la cebada de primavera. Para usar la tabla, primero ubique el número de grupo de diversificación para la variedad elegida y luego verifique que cualquier otra variedad subsecuente elegida se encuentre en un grupo diversificador compatible. Aún cuando no se usen mezclas varietales, los principios de diversificación varietal se pueden aplicar a variedades elegidas en campos aledaños (Lampkin 1990).

TABLA 15.3 Esquema de diversificación varietal para reducir la propagación del mildew en la cebada de primavera

Grupo	Diversificación									
	1	3	4	5	6	7	9	10	11	
1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
3	+	m	m	+	+	+	m	m	m	
4	+	m	m	+	+	+	m	+	+	
5	+	+	+	m	+	+	+	m	+	
6	+	+	+	+	m	+	m	+	+	
7	+	+	+	+	+	m	+	+	+	
9	+	m	m	m	m	+	m	+	+	
10	+	m	+	+	+	+	+	m	+	
11	+	m	+	+	+	+	+	+	m	

+ = buena combinación, bajo riesgo
m = alto riesgo de propagación del hongo.

Pyndji y Trutmann (1992) han sugerido complementar las combinaciones actuales de los agricultores con variedades resistentes, con el fin de reducir aún más la gravedad de determinadas enfermedades. En Africa, este método condujo a una reducción importante de la mancha angular de la hoja en los tallos del frijol y también evitó el reemplazo indiscriminado de las variedades tradicionales por nuevas variedades.

La resistencia controlada de manera genética también es un importante mecanismo que contribuye a la supresión de las enfermedades de las plantas, pues muchos tarabajos se han realizado con respecto a este tipo de resistencia (Vanderplank 1982). La resistencia de la planta huésped se puede dividir en dos tipos: vertical y horizontal. La *resistencia vertical* es una resistencia que es efectiva contra algunos genotipos de una especie patógena, pero no contra otros. Vanderplank señala que la resistencia vertical, por lo general, proporciona altos niveles de resistencia o inmunidad, y, usualmente se hereda monogenéticamente. Probablemente, la resistencia vertical está correlacionada con la resistencia que funciona sobre la base de un gen a otro con el huésped. Se le ha dado mucho énfasis al uso de la resistencia vertical para el control de las enfermedades, debido a que dicha resistencia simplemente se hereda, se identifica fácilmente, y, por lo general proporciona altos niveles de resistencia o incluso inmunidad contra genotipos frecuentes de un agente patógeno. Para algunas enfermedades, sin embargo, el uso generalizado de la resistencia vertical puede seleccionar rápidamente genotipos virulentos de la población patógena y producir una resistencia genética inefectiva (Browning y Frey 1969). Por lo tanto, se ha prestado gran atención a otro tipo de resistencia supuestamente diferente que se la ha denominado de diversas formas; resistencia general, resistencia de campo o resistencia horizontal. La *resistencia horizontal* es considerada como una resistencia que no es específica a ninguna cepa y que generalmente genera una resistencia incompleta (es decir, que no suprime por completo la reproducción de los agentes patógenos) y generalmente se hereda cuantitativamente. Vanderplank (1982) consideró que la resistencia horizontal era más estable que la vertical; sin embargo, se ha atribuido esta estabilidad a la falta de especificidad en cuanto a la cepa y no a la gran cantidad de genes que controlan la resistencia horizontal, si se compara con la vertical.

Elegir el método y el período apropiado de siembra proporcionan un medio para escapar de los agentes patógenos. Sembrar ya sea más temprana o tardíamente puede permitir al huésped pasar a través de una etapa vulnerable antes o después de que el agente patógeno produzca inóculo. Por ejemplo, en Inglaterra, las papas tempranas rara vez son atacadas por *Phytophthora infestans*, dado que éstas se cosechan antes de la máxima reproducción del agente patógeno. Las variaciones en el espaciamiento de las hileras y en la profundidad de la siembra son otros métodos que pueden ayudar para que el cultivo evite el inóculo del agente patógeno (Palti 1981). Muchos sistemas de cultivo afectan a las enfermedades. Si los cultivos similares que comparten los mismos agentes patógenos no siguen uno después del otro, hay una buena probabilidad de que cualquier inóculo dejado en el suelo haya muerto de hambre debido a la ausencia de su huésped, o que haya sufrido una parálisis o lisis por otro microorganismo. En el caso de los cereales, la extracción del huésped por un año en una rotación limitará la mancha ocular causada por *Pseudocercospora herpotrichoids*. La rotación también se puede realizar en los cultivos de plantación como el plátano, donde la incidencia de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cube* se puede reducir por un quiebre de 2 a 3 años durante el cual se cultiva arroz (Manners 1943). La siembra de

trigo o cebada con leguminosas es eficaz para el control de *Gaeumannomyces graminis*. La leguminosa proporciona algo de nitrógeno, pero una vez cosechado el cereal y durante el otoño, el nitrógeno se inmoviliza y, por lo tanto, se conserva para el crecimiento del cultivo, además la inanición del nitrógeno afecta la actividad de *Gaeumannomyces* (Campbell 1989).

Muchos de éstos métodos de cultivo (rotación de cultivos, eliminación de huéspedes alternativos, arado profundo de los desechos de un cultivo, intercalación de cultivos no emparentados, uso de cultivos de barrera) se pueden incorporar a sistemas de producción agrícola alternativos; sin embargo, su adopción dependerá, en gran parte, de una cantidad de factores ambientales, biológicos, económicos y humanos (Tabla 15.4). Claramente se conoce que los sistemas de cultivo se deben adaptar muy bien a las interacciones cultivo/agente patógeno/medio ambiente de cada campo, además se deben considerar las demandas para un control económico, seguro y rápido de una enfermedad en particular.

Un tratamiento detallado de los conceptos epidemiológicos en el manejo de las enfermedades de las plantas se encuentra en Zadoks y Schein (1979). El libro de Palti (1981) proporciona un cuadro detallado de las diversas prácticas culturales para el control de las enfermedades.

Tabla 15.4 Factores económicos, sociales, biológicos y ambientales que afectan las perspectivas para un control cultural de las enfermedades de los cultivos (Zadokhs y Schein 1979).

	Perspectivas para el control cultural	
	Mejora cuando	Disminuye cuando
Factores socioeconómicos:		
Valor del cultivo y nivel de pérdida potencial	bajos	alta
Costo del control químico, en relación al gasto total	alto (ej. cereales)	baja
Posibilidades de planeación regional de cultivos para reducir al mínimo incremento del inóculo	buenas	malas
Elecciones de prácticas de presembrado (suelo, temporada, topografía)	numerosas	pocas
Posibilidades de manipulación de condiciones del campo	muchas (ej. cultivos regados)	limitadas (ej. predio seco)
Nivel educacional del agricultor	alto	bajo
Factores patógenos:		
Dispersión del inóculo impacto de lluvia viento		
Tiempo húmedo necesario para la infección	prolongada	corta
Tasa de incremento del inóculo	rápido	lento
Rango de temperatura para su desarrollo	estrecho	amplio
Susceptibilidad de sobretemporada o dispersión del inóculo al calor y a la sequía	alta	baja
Factores de cultivos huéspedes: posibilidad de tejido susceptible existente en cualquier época	limitados	varios
Rango de adaptabilidad a diversas condiciones de cultivo	amplio	estrecho
Factores ambientales: condiciones climáticas en general en relación a las condiciones de cultivo	menos que óptimo por lo menos en algunas temporadas	se acerca a lo óptimo

Control biológico de fitopatógenos

Según Cook y Baker (1983): «el control biológico es la reducción de la cantidad de inóculo o actividad que produce la enfermedad de un agente patógeno, obtenido por o mediante uno o más organismos diferentes al hombre». Con frecuencia, el control biológico comprende la explotación de organismos (por lo general denominados *antagonistas*) en el medio ambiente, con el fin de disminuir la capacidad del agente patógeno para causar una enfermedad. La gran cantidad de métodos que se utilizan en el control biológico se pueden dividir en forma general en dos grupos. En primer lugar, los antagonistas se pueden introducir directamente sobre o dentro del tejido de la planta. En segundo lugar, las condiciones del cultivo u otros factores, se pueden modificar en tal forma que se promuevan las actividades de los antagonistas que surgen naturalmente. En Baker y Cook (1974), Cook y Baker (1983) y, más recientemente, en Campbell (1989), se analizan algunos principios y ejemplos relevantes del control biológico de los agentes patógenos de las plantas.

El control biológico, incluye acciones para aumentar la microbiología benéfica alrededor de la planta, o la introducción de agentes biológicos en el suelo para suprimir los agentes patógenos que están en él. El método de intensificación significa fomentar los organismos benéficos conocidos que existen naturalmente en el suelo, y fomentar la creación de efectos nocivos en el desarrollo de agentes patógenos. El método directo comprende la introducción masiva de microorganismos antagonísticos en el suelo, con o sin una base de alimentación, para inactivar los propágulos del agente patógeno, reduciendo su número y afectando desfavorablemente la infección (Tabla 15.5). El antagonista tiene muchas formas de operar: una rápida colonización antes que el agente patógeno, o una competencia subsiguiente, por exclusión de nicho, la producción de antibióticos o el microparasitismo o lisis del agente patógeno. Además, algunos microorganismos pueden actuar, simplemente, haciendo que la planta crezca mejor, de manera que si la enfermedad existe, sus síntomas están parcialmente ocultos. Muchas ectomicorizas que promueven la captación de fósforo en las plantas forman una barrera física o química contra las infecciones, evitando que los agentes patógenos alcancen la superficie de las raíces. A pesar de que los efectos del VAM (micorizas) en las enfermedades son bastante complicados, por lo general, son benéficos, aunque algunos pueden fomentar las enfermedades, tales como *Phytophthora* que causa la descomposición de la raíz de la soya (Tabla 15.6).

Hasta ahora, el método más prometedor parece ser el aumento de los agentes de control biológico mediante el cambio del equilibrio en el suelo o el aumento de la actividad de la compleja comunidad microbiana, lo que incluye el incremento en la liberación de metabolitos tóxicos y la competencia por nutrientes. A medida que la actividad microbiana aumenta, se presume que el gasto de energía de los propágulos durante la dormancia aumenta como mecanismo de protección, el resultado es un incremento en la frecuencia de la mortalidad y extinción del propágulo (Baker y Cook 1974).

La utilización de cultivos de cobertura y leguminosas, especialmente leguminosas verdes incorporadas al suelo, ha sido muy eficaz para controlar biológicamente los agentes patógenos. En el Suroeste de los Estados Unidos, se encontró que un cultivo de arvejas verdes o sorgo seco incorporado al suelo antes de cosechar el algodón, aparentemente proporciona un control excelente de la *Phytophthora* que causa la descomposición de raíces. La eficacia de los cultivos de cobertura con leguminosas para el control de la enfermedad take-all ha sido frecuentemente demostrada. La germinación y posible viabilidad de *Typhula idahoensis* se reduce, en gran

TABLA 15.5 Ejemplos de antagonistas estudiados para el control biológico de agentes patógenos de plantas (Schroth y Hancock 1985).

Mecanismos	Planta	Patógeno de la planta	Antagonista	
Competencia antibiótica/antibiosis	Muchas	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>	<i>Agrobacterium</i> spp A virulenta	
	Maíz	<i>Fusarium roseum</i> «Graminearum»	<i>Chaetomium globosum</i>	
	Pino	<i>Heterobasidion annosum</i>	<i>Peniophora gigantea</i>	
	Diversas	Hongos diversos	<i>Trichoderma</i> spp.	
	Diversas	Hongos diversos	<i>Bacillus subtilis</i>	
	Clavel	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>dianthi</i>	<i>Alcaligenes</i> spp	
	Algodón, trigo		<i>Pythium, Gaeumannomyces graminis</i> var. <i>tritici</i> <i>Pseudomonas tolaasii</i> , <i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>lini</i>	<i>Pseudomonas</i> spp
		Manzano	<i>Erwinia amylovora</i>	<i>Erwinia herbicola</i>
	Tabaco	<i>Pseudomonas solanacearum</i>	Fatiga avirulenta de <i>P. solanacearum</i>	
	Muchas	Hongos diversos	<i>Gliocladium</i> spp.	
Competencia por lugares de fijación	Muchas	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>	<i>Agrobacterium</i> spp. virulenta	
	Camote	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>batatas</i>	<i>F. oxysporum</i> no patógena	
Protección cruzada	Cucurbitas	<i>Fusarium solani</i> f.sp. Cucurbitae	Virus del mosaico de la calabaza	
	Muchas	Hongos diversos	<i>Trichoderma</i> spp.	
Hiperparasitismo	Girasol, frijoles	<i>Sclerotinia</i> spp.	<i>Coniothyrium minitans</i>	
	Lechuga	<i>Sclerotinia</i> spp.	<i>Sporodesmium sclerotivorum</i>	
	Remolacha	<i>Pythium</i> spp.	<i>Pythium oligandrum</i>	
	Pepino, frijoles	<i>Rhizoctonia solani</i>	<i>Laetisaria arvalis</i>	
	Pepino	mildews	<i>Ampelomyces grisqualis</i>	
	Centeno	Ergot	<i>Fusarium roseum</i> «hetro sporum»	
Hipovirulencia	Castaña	<i>Endothia parasitica</i>	Micovirus	
Parasitismo	Soya	<i>Pseudomonas syringae</i> pv <i>glycinea</i>	<i>Bdellovibrio bacteriovorus</i>	
Predación		hongos diversos	<i>Arachnula impatiens</i>	

TABLA 15.6 Efectos de micorrizas VA en las enfermedades del suelo causadas por hongos (Schonbeck 1979).

Agente patógeno	Huésped	Efectos de micorrizas en plantas
<i>Oidium brassicae</i>	tabaco, lechuga	reduce la infección
<i>Pythium ultimum</i>	soya	ninguno
<i>Pythium ultimum</i>	poinsetia	reduce, atrofia
<i>Phytophthora megasperma</i>	soya	mueren menos plantas
<i>Phytophthora palmivora</i>	papaya	ninguno
<i>Phytophthora parasitica</i>	cítrico	reduce el daño
<i>Rhizoctonia solani</i>	poinsetia	reduce enanismo
<i>Thielaviopsis basicola</i>	tabaco	atrofia menos, inhibe
<i>Thielaviopsis basicola</i>	alfalfa	la producción de clamidósporas
<i>Thielaviopsis basicola</i>	algodón	
<i>Cylindrocarpon destructans</i>	fresa	atrofia menos,
<i>Cylindrocladium scoparium</i>	álamo	reduce infección
<i>Fusarium oxysporum</i>	tomate	
<i>Fusarium oxysporum</i>	pepino	
<i>Phoma terrestris</i>	cebolla	

TABLA 15.7 Enmiendas secas y descompuestas que reducen algunas enfermedades causadas por hongos del suelo (según Palti 1981).

Enfermedad del cultivo	Agente patógeno	Enmienda del suelo
Marchitamiento de la papa	<i>Verticilium albo-atrum</i>	Paja de cebada
Costra negra de la papa	<i>Rhizoctonia solani</i>	Paja de trigo
Pudrimiento de la raíz del frijol heno de alfalfa	<i>Thilaviopsis basicola</i>	Paja de avena, forraje de maíz,
Pudrimiento de la raíz de la arveja	<i>Aphanomyces euteiches</i>	Tejidos de crucífera
Pudrimiento de la raíz del algodón	<i>Macrophomina ogasokuba</i>	Grano de alfalfa, paja de cebada
Marchitamiento del coriander	<i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>coriander</i>	Torta de aceite
Marchitamiento del plátano	<i>F. oxysporum</i> sp. <i>cubense</i>	Residuos de caña de azúcar
Pudrición de la raíz del aguacate	<i>Phytophthora cinnamomi</i>	Grano de alfalfa
Pudrición de las raíces de plantas ornamentales	<i>Phytophthora</i> , <i>Pythium</i> , <i>Thielaviopsis</i> spp.	Corteza de árbol con compost

parte, en los campos de Idaho por la introducción de la alfalfa en la rotación con el trigo. La escara de la papa se previno, debido a que se introdujo el cultivo de la soya anualmente como cultivo de cobertura y se incorporaba cada año antes de plantar papas (Baker y Cook 1974).

Los residuos de las leguminosas son ricos en compuestos de nitrógeno y carbono, y proporcionan además vitaminas y sustratos complejos. La actividad biológica se torna muy intensa en respuesta a los cambios de este tipo, lo que puede aumentar la fungistasis y la lisis del propágulo. El compost de diversos materiales orgánicos se ha utilizado para controlar las enfermedades causadas por *Phytophthora* y *Rhizoctonia*. Los principales factores de control parecen ser el calor del compost y los antibióticos producidos por *Trichoderma*, *Gliocladium* y *Pseudomonas*. La Tabla 15.7 proporciona ejemplos específicos del aumento y supresión de enfermedades mediante la adición de cambios al suelo. En la Tabla 15.8 se presentan algunos ejemplos de patógenos en el suelo que se pueden reducir al usar abonos verdes. En la Tabla 15.9 se presentan algunos ejemplos de cambios en el suelo que pueden reducir la población de nemátodos.

TABLA 15.8 Ejemplos de abonos verdes que reducen algunos patógenos fúngicos de las enfermedades del suelo (según Palti 1981).

Cultivo	Enfermedad	Agente patógeno	Tipo de abono verde	Efecto en población fúngica
Trigo	Take-all	<i>Gaeumannomyces graminis</i>	Rapes, arveja o leguminosa de pasto combinada	Parcialmente reducido
	Mancha ocular	<i>Pseudocercospora</i> sp.	Parcialmente reducido	
Algodón	Pudrición de raíz	<i>Phymatotrichum omnivorum</i>	Arveja, <i>Melilotus officinalis</i>	Reducido
Papa	costra	<i>Streptomyces scabies</i>	Soya	Previene formación

TABLA 15.9 Abonos orgánicos que reducen las poblaciones de nemátodos (según Palti 1981).

Especie nemátoda	Cultivo	Enmienda del suelo evaluada
<i>Meloidogyne incognita</i>	Tomate	Fango de alcantarilla, heno y paja de alfalfa, heno de trébol de los prados, heno del lino
<i>M. javanica</i>	Tomate, nabo	Aserrín
<i>Heterodera marioni</i>	Durazno	<i>Crotalaria spectabilis</i> en verano, avena en invierno
<i>H. tabacum</i>	Berenjena	Tierra de hojas y sulfato de amonio
<i>Pratylenchus penetrans</i>		Residuos miceliales de la producción de antibióticos Residuos de celulosa de la industria de papel
<i>Hoplolaimus tylenchiformis</i> , <i>Xiphinema americanum</i> <i>Helicotylenchus</i> sp.,		Tierra de hojas, fango de alcantarilla
<i>Tylenchorhynchus</i> sp., <i>Meloidogyne</i> sp. <i>Pratylenchus penetrans</i> <i>Belonolaimus longicaudatus</i> <i>Tylenchulus semipenetrans</i>		Costra de aceite de mostaza, hojas marchitas de <i>Azidarchta indica</i> Avena, pasto Sudán Fango de alcantarilla activado Pumita del castor (subproducto) de la extracción del aceite del castor

Existe bastante literatura sobre las prácticas de manejo del suelo para aumentar los antagonistas microbianos. Las enmiendas orgánicas se reconocen como iniciadoras de dos importantes procesos para el control de enfermedades: aumenta la inactividad de los propagulos y su digestión por microorganismos del suelo (Palti 1981). Las adiciones orgánicas aumentan el nivel general de actividad microbiana y, mientras más microbios estén en actividad, existen más posibilidades de que alguno de ellos sea antagonista de los agentes patógenos. Esta respuesta general a la materia orgánica con una reducción en el inóculo del agente patógeno se ha utilizado con éxito para controlar enfermedades como la costra de la papa (*Streptomyces scabies*), *Phytophthora cinnamoni* (pudrición del aguacate), *Phymatotrichum omnivorum*, *Sclerotium rolfsii* y *Rhizoctonia* (Mukerji et al. 1992). En suelos compensados con materiales orgánicos no es posible la germinación de propagulos de agentes patógenos, aún en presencia de combinaciones nutritivas. Las pruebas demuestran que el efecto es relativamente no específico en cuanto al origen, se ha demostrado que existen otros métodos de control biológico que incluyen la resistencia en el huésped por la inoculación con agentes no patógenos o razas avirulentas de un patógeno. El uso de razas atenuadas de virus para controlar las razas virulentas ha sido estudiada en varios casos. El virus de la Tristeza de los cítricos se controla de esta forma; además, el tomate se puede proteger del daño causado por el virus del mosaico del tabaco con una inoculación previa con razas de virus atenuadas. Uno de los pocos agentes de control biológico registrado, que está actualmente disponible en el mercado de los EE.UU. y en otras partes, es una raza avirulenta de *Agrobacterium radiobacter* (K84), que protege las plantas contra el agente patógeno *Agrobacterium tumefaciens* mediante el tratamiento previo de las heridas con el antagonista. La raza K84 produce un tipo especial de antibiótico o bactericida (una proteína de alto peso molecular) que sólo afecta a los organismos estrechamente relacionados.

Calidad y manejo del suelo

Fred Magdoff

Calidad del suelo

La mayoría de los agricultores conocen la diferencia entre un suelo muy bueno y otro de propiedades más pobres. Aquellos suelos que poseen mejor calidad natural, tales como los suelos aluviales profundos, ubicados en los valles de un río, tienden a tener mejor capacidad de retención de agua y fertilidad que los suelos que lo rodean; por lo general estos suelos son más valorados y por eso mismo tienen mayor valor comercial. De tal manera que la salud, o calidad de un suelo, se refiere a las condiciones de una amplia gama de propiedades de éste. El concepto es bastante extenso y abarca más que la escueta definición de la fertilidad del suelo, que se usa con frecuencia. Por ejemplo, tradicionalmente el principal interés de aquellos que trabajan en la fertilidad del suelo ha sido si existe una cantidad suficiente de nutrientes para las plantas (tales como nitrógeno, fósforo y potasio). Las investigaciones sobre la fertilidad del suelo se han basado en la influencia de otras propiedades, como un pH bajo y la disponibilidad de nutrientes, pero no han cubierto la envergadura total de las propiedades que influyen en el crecimiento de la planta.

¿Qué es exactamente un suelo sano o de buena calidad? Es un suelo del que se pueden obtener cultivos, sanos y de alto rendimiento, con un mínimo de impactos negativos sobre el medio ambiente. Es un suelo que también brinda propiedades estables al crecimiento y salud de los cultivos haciendo frente a condiciones variables de origen humano y natural (principalmente las relacionadas con el clima). Por ejemplo, si las precipitaciones son menores o superiores a la cantidad óptima, el rendimiento no influiría tan negativamente como en un suelo de menor calidad. Un suelo de calidad superior debe ser flexible y resistir el deterioro.

Los diversos factores que determinan la calidad del suelo son esencialmente aquellas propiedades que ejercen mayor influencia en el crecimiento del cultivo. Muchas de estas propiedades, no son fundamentalmente aspectos de la «fertilidad» del suelo (definido en el sentido más estricto). Por ejemplo, la facilidad con que la superficie del suelo desarrolla una «costra» (capa delgada de poca permeabilidad que se forma cuando los agregados cerca de la superficie se rompen por la acción de las precipitaciones y/o el laboreo) tiene un efecto significativo en el crecimiento del cultivo y en el medioambiente. La formación de una costra superficial es un problema significativo para muchos suelos en las zonas tropicales y templadas (Sumner y Stewart 1992). Cuando se desarrollan costras superficiales, la emergencia de la plántula puede resultar restringida después de la germinación. Lo que es aún más importante, en comparación con suelos con buena agregación de superficie, es que se infiltra menos cantidad de agua en los suelos con costra, dando como resultado en ambos casos un

menor almacenamiento de agua para el uso del cultivo, un aumento en el escurrimiento del agua y una erosión acelerada del suelo. Los contenidos de sodio y arcilla expandible y la estabilidad agregada constituyen propiedades que influyen en la susceptibilidad de un suelo para desarrollar una costra superficial.

Otras propiedades que afectan la calidad del suelo son: la profundidad disponible para la exploración de raíces, el pH, la salinidad, la capacidad de intercambio catiónico, el nitrógeno mineralizable, la presencia de patógenos, la biomasa microbiana del suelo, etc. (Tabla 16.1). Muchas de las propiedades de los suelos utilizados para agricultura son heredados del estado natural. Algunas de estas propiedades, tales como la textura del suelo (porcentaje de arena, limo y tamaño de las partículas de arcilla presentes) y la profundidad a que se encuentra la capa que impide el crecimiento de las raíces, se pueden modificar a costos de tal envergadura que se hace imposible, en la mayoría de los casos. Sin embargo, casi todas las propiedades del suelo son influenciadas hasta cierto grado por la forma en cómo se maneja el suelo y la elección de los futuros cultivos. Incluso si no se cambia la textura, la sequedad de un suelo arenoso o el aterronamiento de un suelo arcilloso, está hasta cierto punto controlada mediante las actividades humanas.

Muchos factores pueden producir el deterioro de la calidad del suelo. Por ejemplo, si se trabaja un suelo arcilloso cuando éste está muy mojado, puede provocar la

TABLA 16.1 Caracterizando la calidad del suelo.*

FISICA	QUIMICA	BIOLOGICA
Capacidad de retención de agua	Disponibilidad de nutrientes	Materia orgánica del suelo Biomasa microbiana del suelo
Tasa de infiltración	Conductividad eléctrica (salinidad), sodio, pH	Respiración/biomasa (q/CO ₂)
Profundidad del suelo, horizontes	Toxicidad (elementos tóxicos, pesticidas)	N mineralizable (lábil) C orgánico (0,5-2 mm)
Textura del suelo		
Densidad de tamaño del suelo	Capacidad de intercambio catiónico y aniónico	Respiración del suelo
Estabilidad de agregados		Cobertura y crecimiento de la vegetación
Arcilla dispersable		Abundancia de lombrices «claves» y otra flora y fauna del suelo, poblaciones de plantas patógenas

* Basado en el resumen de la Conferencia Internacional sobre la evaluación y monitoreo de la calidad del suelo. Emmaus, Pa, Julio 11-13, 1991. Rodale Institute.

desintegración de los agregados naturales y producir una disminución significativa en la capa labrada del suelo. El deterioro de la calidad del suelo también puede ser provocado por prácticas tales como el cultivo intensivo sin rotaciones de éste (Ketcheson 1980), permitiendo que se desarrolle la salinidad del suelo con el riego o permitiendo que los contenidos de materia orgánica desciendan muy lentamente. El deterioro también puede ser causado por la contaminación con metales potencialmente tóxicos o por sustancias químicas orgánico-sintéticas. Queda claro que resulta más efectivo promover prácticas que eviten la degradación de la calidad del suelo, en vez de buscar soluciones para suelos estropeados.

Existe interés por desarrollar un «índice» de calidad del suelo para ayudar a comparar diferentes suelos. Como parte del desarrollo de tal método de comparación, sería necesario otorgarle importancia relativa a las diversas propiedades que son evaluadas como contribuyentes importantes para el índice. La forma como se presenten los diversos factores para asignarles un valor generará bastante discusión y controversia. En la actualidad, no existe un sistema aceptable para estimar la calidad del suelo y en el futuro cercano hay pocas posibilidades de desarrollar un índice cuantitativo. Sin embargo, la materia orgánica influye en casi todas las propiedades importantes que contribuyen a la calidad del suelo. De esta forma, resulta decisivo comprender y acentuar la importancia clave del manejo de los cultivos y los suelos para mantener e incrementar los contenidos de materia orgánica, con el propósito de desarrollar suelos de buena calidad.

La naturaleza de la materia orgánica del suelo

Existen 3 diferentes tipos genéricos de materia orgánica presentes en el suelo: (a) los organismos vivos, (b) la materia orgánica muerta activa (sin descomposición o levemente descompuesta, lábil) y (c) los materiales descompuestos (humificados) relativamente estables. Cada una de estas fracciones juega papeles importantes en la mantención y mejoramiento de la calidad del suelo. Estas 3 distintas partes, que en conjunto forman la materia orgánica del suelo, se tratarán en forma separada a continuación.

Organismos del suelo

La materia orgánica viva del suelo se compone de un variado grupo de organismos. Estos organismos incluyen virus microscópicos, bacterias, hongos y protozoos, artrópodos de tamaño pequeño y mediano, lombrices, etc. Por lo general, a medida que aumenta el tamaño de los organismos, disminuye la densidad de la población. Por ejemplo, existen alrededor de 1.014 bacterias, 10^9 hongos, 10^7 nemátodos y 10^2 lombrices por m^2 (Smil 1991).

Es cierto que en los suelos hay enfermedades que causan la aparición de bacterias y hongos como también de insectos y nematodos parásitos. Sin embargo, la enorme cantidad de grupos de organismos del suelo se alimentan de los cultivos, de residuos orgánicos o de otros organismos del suelo y no causan problemas a las plantas. De hecho, sus actividades que ayudan a reciclar los nutrientes, a mantener baja las poblaciones de plagas, a producir sustancias que ayudan a la formación de agregados del suelo y a producir sustancias húmicas, hacen que una gran mayoría de estos organismos sean importantes para la calidad del suelo.

Todos los organismos necesitan acceder a una gama de elementos en forma acquirible, como también a la energía. Las plantas verdes obtienen su energía de los

rayos del sol mediante el proceso de fotosíntesis, su carbono (la columna vertebral de todas las moléculas orgánicas) del dióxido de carbono que se encuentra en la atmósfera, también el oxígeno, necesario para respirar (para recuperar y utilizar la energía almacenada en sus moléculas orgánicas) lo obtienen de la atmósfera, y el resto de sus nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, Fe, B, Mn, Cu, Mo, Cl, Zn, Co) así como también el agua (H₂O) los obtienen del suelo. Casi todos los organismos que viven bajo tierra, obtienen la energía para su subsistencia y reproducción, de la energía solar almacenada previamente en los tejidos de las plantas verdes. Aunque los organismos también emanan elementos individuales (tales como N, K, Mg) para su uso, la necesidad de obtener energía hace que ellos desintegren por completo las moléculas orgánicas.

Los organismos ocupan diferentes posiciones dentro de la cadena alimenticia. El concepto cadena alimenticia dice que los organismos dentro de un ecosistema en particular están relacionados con una fuente de alimento más baja y entre sí a través de su(s) fuente(s) alimenticia(s).

Consumidores primarios son aquellos organismos del suelo que son los primeros en utilizar a los cultivos y otros residuos como materiales energéticos. Muchos hongos son los primeros colonizadores de los restos de las plantas y sirven para suavizarlos y hacerlos más disponibles para ser usados por otros organismos. También muchas bacterias son consumidores primarios, además de las cochinillas de la humedad, los nemátodos y las larvas de las moscas, etc. También algunas lombrices son consumidores primarios y la acción de sus sistemas digestivos sirven para macerar y mezclar los residuos con las bacterias en sus aparatos digestivos, de tal manera que sus desechos están disponibles para que otros organismos hagan uso de ellos. Si se mide la fertilidad de estos desechos, se observa que los rangos de calcio, potasio y nitrógeno son mucho más altos que el suelo que los rodea. Estos roles de las lombrices de tierra son también importantes para ayudar a la filtración del agua en los suelos durante tormentas de lluvias intensas.

Consumidores secundarios son aquellos organismos que se alimentan de los consumidores primarios. Los protozoos y los nemátodos son dos depredadores de bacterias y hongos. Las tasas de consumo de bacterias por los nemátodos pueden ser extremadamente altas; (se han informado consumos de 5.000 células por minuto) y se estima que alrededor del 50% de la producción anual de hongos y bacterias son consumidos cuando se alimentan los consumidores secundarios (Paul y Clark 1989). La presencia de poblaciones activas de depredadores de hongos y bacterias pueden ayudar a mantener poblaciones más diversas de estos organismos en el suelo (Habte y Alexander 1978). Los protozoos y nemátodos contribuyen significativamente al ciclo del nitrógeno, puesto que al alimentarse de bacterias, el exceso de nitrógeno se convierte en amonio y es excretado a la solución del suelo. Otros consumidores secundarios incluyen los tisanuros (callembola), ácaros y algunos escarabajos.

Consumidores terciarios incluyen escarabajos del suelo, pseudoscorpiones, ciempiés y hormigas. Esta fauna se alimenta fundamentalmente de otros organismos del suelo. Debido a su gran tamaño y a la capacidad de excavación algunos centípedos y hormigas pueden ayudar a mezclar y soltar el suelo (como lo hacen las termitas, un consumidor primario constructor de montículos). Aunque estas actividades por lo general ayudan a mejorar la estructura del suelo, ninguno de estos organismos mezcla los residuos orgánicos con las materias del suelo como las lombrices de tierra. Las raíces de las plantas son también un aspecto importante en la vida

dentro del suelo. Los productos que se obtienen a partir de la fotosíntesis arriba del suelo se trasladan a las raíces para su propio metabolismo. Gran parte del CO₂ generado en el suelo proviene de la respiración de las células de las raíces o de la respiración de organismos del suelo que obtienen la mayoría de su energía a partir de productos elaborados fotosintéticamente y luego trasladados a las raíces. El mucilago gelatinoso que rodea las raíces jóvenes brinda un lugar ideal para que los organismos del suelo y las partículas de arcilla se aproximen a las raíces. Además del mucilago, que se desprende de las células de las raíces y la gran cantidad de compuestos exudados por estas últimas, hace que la zona de la rizósfera sea particularmente rica en organismos del suelo. Generalmente, la rizósfera contiene de 10 a 50 veces la cantidad de organismos, que se han descubierto en el suelo a cierta distancia de las raíces (Paul y Clark 1989).

Diversidad biológica de los organismos del suelo

El primer objetivo de un buen manejo del cultivo y del suelo, debería ser crear las condiciones para una comunidad altamente diversa de organismos del suelo. La diversidad biológica del suelo, es parte importante de la salud y estabilidad del agroecosistema. Una amplia mezcla de organismos crea un sistema en el cual la competencia por las fuentes alimenticias, nichos y dinámicas depredador-presa, ayudan a limitar las poblaciones de bacterias y hongos que causan enfermedades, nemátodos parásitos de las plantas y problemas insectiles. Algunos de estos organismos problema pueden actualmente estar presentes en suelos con alta diversidad biológica, pero es muy probable que las poblaciones de las distintas plagas sean muy escasas como para provocar efectos significativos en los cultivos.

Las poblaciones microbianas están influenciadas por el manejo de los cultivos y los residuos. En general, la diversidad de organismos disminuye y la cantidad de biomasa microbiana también se reduce por el cambio de los ecosistemas naturales a los agroecosistemas. Por ejemplo, después de 58 años de cultivos en el noroeste de EE.UU., el carbono microbial representó un 2,8% y 2,2% del carbono total del suelo bajo cultivos anuales y trigo-barbecho, comparado con un 4,3% bajo pastos (Collins et al.1992). En Perú, hubo una disminución dramática de la diversidad biológica de la macroflora del suelo en los suelos cultivados intensivamente o en suelos de los bosques secundarios comparados con suelos de bosques primarios, ya que aproximadamente de un 35% a un 50% de las unidades toxonómicas se perdieron (Lavelle y Pahanasi 1989). La disminución en las unidades toxonómicas y en las densidades de población no fueron tan severas en los sistemas tradicionales de bajos insumos, como en las prácticas intensivas de altos insumos.

El manejo del suelo y de los cultivos puede afectar la dinámica poblacional de los organismos del suelo. Rotaciones complejas con varios cultivos diferentes, grandes cantidades de residuos de distintos tipos de cultivos y abonos, cultivos de cobertura y reducción de labranza, son prácticas que ayudan a aumentar una población biológicamente diversa de organismos del suelo. La técnica de combinar el uso de una gran cantidad de diferentes fuentes de materiales orgánicos, se ha usado con éxito para transformar un suelo que presentaba un grave problema de pudrición de raíz del aguacate causado por *Phytophthora*, en un suelo que actualmente detiene la enfermedad (Cook 1982). El cultivo de trébol Crimson fuera de la estación, entre cultivos de maíz, produjo poblaciones significativamente más altas de una variedad bacteriana, mayor biomasa microbiana y una mayor actividad enzimática que sin el

cultivo no hubiera ocurrido (Kirchner et al. 1983). La utilización de mulch o simplemente dejar los residuos sobre la superficie del suelo fomentará las poblaciones de lombrices que se alimentan en la superficie. Los residuos superficiales tienden a acentuar la importancia de los hongos en el proceso de descomposición. Los residuos superficiales son también un buen hábitat para las arañas, las que se alimentan de insectos y pueden ayudar a reducir las poblaciones de plagas insectiles.

Materia orgánica activa

La fracción activa del material muerto consiste en residuos frescos, así como también de residuos levemente descompuestos. Estos residuos se presentan en el suelo como raíces y otros materiales que se incorporan al suelo y están disponibles para que los organismos del suelo los descompongan con relativa facilidad. Los residuos frescos son la parte más activa de la materia orgánica, con alrededor de un 60% a 80% de descomposición durante el primer año.

En años recientes ha existido mucho interés por separar diversas fracciones de materia orgánica mediante procedimientos físicos ya sea por diferencias de densidad o de tamaño (Christensen 1992). La parte más activa de la materia orgánica parece presentarse como partículas que no están fuertemente asociadas con minerales inorgánicos. Esta porción liviana de la materia orgánica se encuentra en mayor abundancia en suelos vírgenes, compuesta de residuos relativamente frescos, que se puede separar fácilmente del resto del suelo (Janzen et al. 1992). La materia orgánica asociada con minerales del tamaño de la arena también se descompone fácilmente, existiendo algún tipo de indicio de que parte de la materia asociada con arcilla se mineraliza de manera relativamente fácil y es una fuente importante del N disponible (Christensen 1992).

Bajo ciertas condiciones, tales como el crecimiento a largo plazo del sobresuelo, la cantidad de materia orgánica en el suelo puede ser bastante grande. En una investigación llevada a cabo por Cambardella y Elliot (1992) se encontró que cerca del 40% del C total (o materia orgánica) estaba presente como partículas bajo el suelo nativo. Sin embargo, después de 20 años de un manejo de mulch de rastrojo para un sistema de trigo/barbecho sólo el 19% de la materia orgánica estuvo presente en forma de partículas.

Materia orgánica descompuesta completamente

La fracción de materia orgánica del suelo descompuesta completamente, y la relativamente estable, por lo general reciben el nombre de *humus*. El humus está fuertemente ligado con las fracciones de arcilla y limo y permanece en el suelo por largos períodos de tiempo, con una presencia media del orden de los cientos o miles de años. La materia orgánica asociada con partículas minerales del tamaño del limo parece ser más estable cuando se asocia con arcillas (Christensen 1992).

El humus del suelo se descompone de manera bastante lenta, con una descomposición de alrededor del 2% al 5% anual. El humus contiene la mayor parte de la capacidad de intercambio catiónico de la materia orgánica (cargas negativas que permiten la retención de ciertos nutrientes como el calcio, el magnesio y el potasio).

Aunque mucha de la materia orgánica que se descompone durante el año puede ser relativamente fresca, cierta materia orgánica que es relativamente estable puede transformarse en formas aprovechables mediante ciclos de secado, rehumidificación,

congelamiento y deshielo (Bartlett 1981, Bartlett y James 1980, Birch 1958, Mack 1963, Soulides y Allison 1961). Al parecer las duras condiciones impuestas sobre las moléculas orgánicas rompen los enlaces, ya sea, con las partículas de limo y arcilla o dentro de las moléculas mismas, solubilizando cantidades importantes de materia orgánica, con lo que se permite el fácil acceso de los organismos a la moléculas liberadas.

La función de la materia orgánica en la calidad del suelo

Aunque la materia orgánica es sólo un pequeño porcentaje del peso de la mayoría de los suelos (generalmente de 1% al 6%), la cantidad y el tipo de materia orgánica influye en casi todas las propiedades que contribuyen a la calidad del suelo. La cantidad y calidad de la materia orgánica puede cambiar las propiedades del suelo, cuando la estructura y disponibilidad de los nutrientes mejora y existe más diversidad biológica en suelos con un buen manejo de la materia orgánica. En algunos casos la materia orgánica modifica los efectos de ciertas propiedades del suelo. Los diversos efectos de la materia orgánica pueden agruparse bajo las influencias ejercida en las propiedades físicas, químicas, nutricionales y biológicas del suelo.

Efectos físicos

La unión de las partículas de arena, limo y arcilla conformando agregados estables, ayuda a mantener un buen mullido (condiciones físicas del suelo para el crecimiento de las plantas). Los polisacáridos producidos durante la descomposición de residuos orgánicos más la hifa fungal estimulan el desarrollo de estos agregados estables del suelo. Un suelo que tiene gran cantidad de materia orgánica tendrá una mejor agregación y tenderá a ser menos denso, permitiendo un mejor desarrollo y penetración de las raíces, que ante una situación de disminución de materia orgánica. Además, el suelo tendrá tasas superiores de infiltración debido a una estructura superficial más estable, siendo capaz de resistir la fuerza dispersiva del impacto de las gotas de lluvia. Las actividades de organismos más grandes que viven en el suelo, tales como lombrices y hormigas, también ayudarán a mejorar la infiltración de agua. El suelo estará menos propenso a la erosión si existe una mayor infiltración de agua en vez de un escurrimiento superficial.

Los suelos arenosos con niveles más altos de materia orgánica tienen una mayor cantidad de pequeños poros para almacenar el agua disponible para las plantas y son menos propensos a la sequía. Por otro lado, los suelos más arcillosos tienen un mejor drenaje interno, cuando existan grandes cantidades de materia orgánica que cuando las cantidades son menores.

Efectos nutricionales y químicos

La materia orgánica es una fuente de nutrientes. Los organismos la descomponen y transforman las formas orgánicas de los elementos en formas que sirven a las plantas. Además, por ser la principal fuente de capacidad de intercambio catiónico (CIC), la materia orgánica ayuda a «almacenar» los nutrientes disponibles, y los protege de la lixiviación que produce el agua. Las moléculas orgánicas ayudan a quelar un gran número de micronutrientes, tales como el Zinc (Zn) y el Hierro (Fe), además los protege para evitar que sean convertidos en formas menos disponibles para las plan-

tas. En muchos suelos la materia orgánica, debido a su naturaleza ácida débil, tiene un efecto de amortiguación frente a cambios en el pH (Magdoff y Bartlett 1985). Esto también puede ayudar a proteger las plantas de los efectos nocivos de sustancias químicas, como por ejemplo la toxicidad por aluminio (Hargrove y Thomas 1981).

Otros efectos biológicos

Los materiales húmicos en la materia orgánica estimulan el crecimiento de las raíces y del cultivo (Lee y Bartlett 1976, Chen y Aviad 1990). Aunque no está claro lo que produce estos efectos, al parecer no es una influencia nutricional directa.

La importancia de la diversidad biológica en los suelos se ha subrayado anteriormente. Un suelo con alto contenido de materia orgánica, originada en distintas fuentes y en el que se han practicado buenas rotaciones tenderá a tener una comunidad más diversa de organismos y de este modo, brindará un medioambiente biológico más adecuado para el crecimiento de las plantas que un suelo con menor cantidad de materia orgánica. En general, la biomasa total de los organismos del suelo también será mayor en un suelo rico en materia orgánica que en un suelo que contenga menos. Debido a los efectos físicos, nutricionales y químicos discutidos anteriormente, las plantas que crecen en suelos ricos en materia orgánica tenderán a ser más sanas y menos susceptibles al daño de las plagas que aquellas que crecen en suelos con disminución parcial de materia orgánica. Además, la presencia de diversas poblaciones de organismos cuando la materia orgánica del suelo es abundante ayuda a asegurar un ambiente de plagas menos hostil para las plantas de cultivo. Las numerosas influencias físicas, químicas, nutricionales y biológicas se combinan para dar a la materia orgánica una influencia abrumadora sobre la calidad del suelo.

Flujos de nutrientes y ciclaje

No todos los nutrientes de los cultivos del suelo están disponibles para las plantas. Un elemento, como el potasio que es parte estructural de un grano de arena, puede no estar disponible para el uso de la planta. Del mismo modo, cuando un nutriente como el nitrógeno o el fósforo es parte estructural de una gran molécula orgánica, las plantas no son capaces de usarlo. Los nutrientes son tomados por las plantas desde la solución del suelo, generalmente en la forma de iones simples como el nitrato (NO_3), fosfato (H_2PO_4) y (HPO_4)⁻², potasio (K^+), magnesio (Mg^{+2}), etc. Los nutrientes están disponibles para las plantas al ser solubilizados o absorbidos a partir de los minerales y absorbidos por la capacidad de intercambio catiónico de las arcillas y del material orgánico bien descompuesto. Aún más, los organismos del suelo convierten muchos elementos de moléculas orgánicas a moléculas inorgánicas.

Durante este proceso de mineralización, los elementos se transforman en formas disponibles que las plantas pueden usar. De esta manera, la materia orgánica del suelo, desempeña un papel clave en el ciclaje de nutrientes, tanto como una fuente de capacidad de intercambio de cationes como de depósito de nutrientes que se convertirán lentamente en formas disponibles mediante la actividad biológica. Como la vasta mayoría de los organismos del suelo participan en el proceso de descomposición, influyen en el reciclaje de nutrientes.

Uno de los problemas de la producción agrícola convencional es la contaminación de aguas superficiales y subterráneas con nutrientes. Además, la cantidad relativamente alta de nutrientes disponibles en la producción agrícola convencional pue-

de causar mayor susceptibilidad para la infestación de insectos, como también una disminución en valor nutricional de los alimentos producidos. Durante las épocas del año cuando la lluvia (más el riego) excede la evapotranspiración, pueden presentarse cantidades importantes de lixiviación y /o escurrimiento. Si en ese momento se encuentra presente una gran cantidad de nitrato, se produce una contaminación sustancial de las aguas subterráneas. Cuando se utilizan grandes cantidades de fertilizantes comerciales o abonos que contienen nutrientes disponibles para ser usados, es posible que se acumulen altos niveles de nitrato en el suelo. Este problema está extendido y entendido como un gran problema ambiental de alcance nacional (Benbrook 1989, OTA 1990).

Un ciclo ideal de nutrientes, tendría las siguientes características. Los nutrientes estarían presentes en formas disponibles en cantidad y proporción relativa, en conjunto con o sincronizados con las necesidades de captación del cultivo establecido. Debería haber un nivel de nutrientes disponibles tan bajo como sea posible durante la época del año cuando se espera la lixiviación o el escurrimiento. Otro objetivo sería disminuir los insumos de los nutrientes de fuera del predio y, hasta donde se pueda, usar nutrientes provenientes de un ciclo interno del predio y fijación biológica del nitrógeno. En este «apretado» ciclo de nutrientes habría pocas pérdidas de éstos desde el predio, excepto las ventas de cultivos y animales. La lixiviación, la volatilización y las pérdidas por escurrimiento serían reducidas a un mínimo absoluto. En una situación ideal, el 100% de los nutrientes que entran a un predio como semillas, fertilizantes, abonos, etc., saldrían de éste como productos agrícolas.

Pocos podrían siquiera alcanzar completamente la situación ideal descrita anteriormente. La lixiviación de los nutrientes en las regiones húmedas y los procesos naturales de acidificación que se dan en suelos, no pueden detenerse completamente. Tampoco se puede detener la conversión de nutrientes disponibles en formas que no son disponibles para las plantas. Sin embargo, existe mucho espacio para el mejoramiento en la mayoría de los predios. Muchos de los sistemas agrícolas convencionales tienen ciclos de nutrientes extremadamente «permeables». Los ciclos de nutrientes potencialmente «permeables» pueden darse con muchos tipos de actividades agrícolas diferentes. Un ejemplo, es el típico predio lechero de los E.E.U.U. En el ciclo de nutrientes, éstos entran al predio como alimentos y minerales comprados, animales comprados y fertilizantes (Figura 16.1). Los nutrientes salen del predio en la forma de leche, animales y cultivos vendidos, como también en el agua (por escurrimiento y lixiviación) y como pérdidas gaseosas. Los nutrientes también ciclan en el predio, desde el suelo a las plantas, a los animales, al abono y de nuevo al suelo. Cuando la diferencia entre los insumos de los nutrientes y los nutrientes que salen en los productos agrícolas embarcados desde el predio es grande, existe una gran fuente de nutrientes en exceso que pueden causar problemas ambientales.

El grado del problema potencial puede evaluarse a partir de una estimación del equilibrio de nutrientes de los insumos y la producción manejados para un predio lechero de 85 vacas (Tabla 16.2). Resulta interesante que una proporción importante del N, P y del K llega al predio en la forma de alimento comprado para forraje. Se estima que sólo aproximadamente una tercera parte del N, P y K que entra al predio lechero sale como leche, carne y cultivos. Esto significa que quedan al menos temporalmente, alrededor de las dos terceras partes. A medida que los nutrientes se constituyen en los suelos, el potencial de contaminación del agua superficial o subterránea aumenta en forma alarmante.

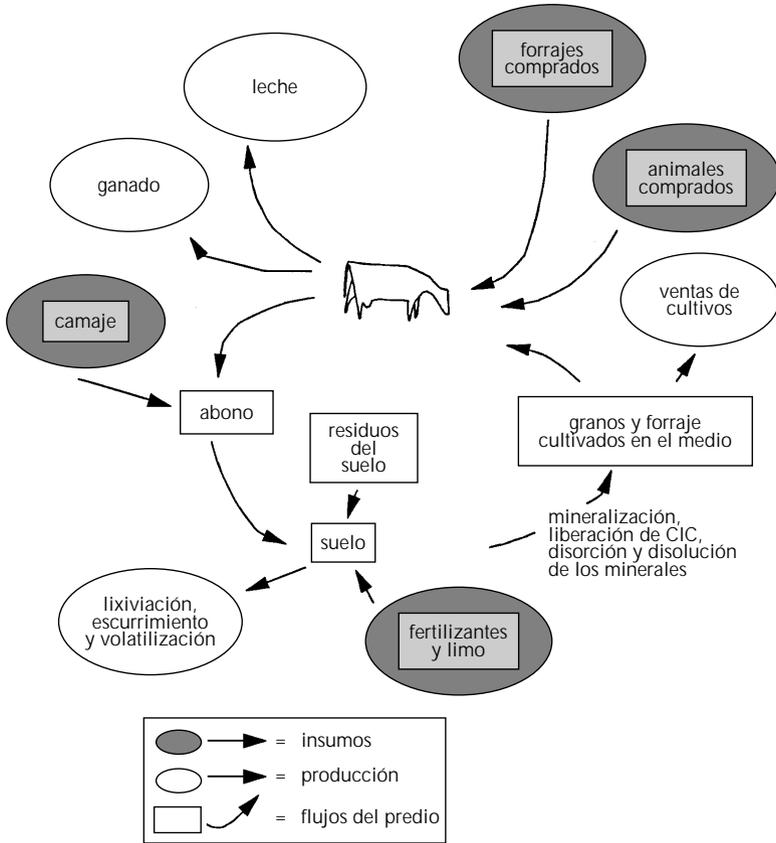


FIGURA 16.1 Ciclaje y flujo de nutrientes en un predio lechero.

TABLA 16.2 Equilibrio de nutrientes para un predio lechero de 85 vacas (según Klausner 1993).

	N	P	K
	Ton/año		
INSUMOS			
Alimentos	9,7	1,7	2,4
Fertilizantes	2,2	0,9	1,8
Fijación de N de leguminosas	1,1	0,0	0,0
Insumos totales	13,0	2,6	4,2
PRODUCTOS			
Leche	3,8	0,68	1,00
Carne	0,4	0,10	0,02
Cultivos	0,5	0,06	0,40
Productos totales	4,7	0,84	1,42
Productos/Insumos (%)	36	32	34

Al aumentar la proporción de animales en los predios y suponiendo que se mantiene el mismo manejo de los sistemas, el problema del exceso de nutrientes proveniente del ganado se agudiza dramáticamente. Esto conduce a que los niveles de nutrientes del suelo excedan las necesidades de los cultivos, permitiendo que entren en acción altas tasas de polución por lixiviación del agua, la cual corre a través o sobre los mencionados predios.

Los insumos de los nutrientes y la producción mencionados con antelación se basan en un sistema convencional que se apoya en un hato de vacas lecheras y grandes cantidades de alimento comprado. Sin embargo, existe un considerable interés en el uso de sistemas de pastoreo manejados en forma intensiva a fin de proveer la mayoría del forraje necesario de las vacas durante la época de crecimiento, disminuyendo a la vez los alimentos concentrados. Si la cantidad de alimento comprado fuera del predio se pudiera reducir a la mitad, la proporción del N, P y K que ingresan y luego salen como ventas, aumentarían de forma significativa, hasta en un 47%, 48% y 54% respectivamente.

Manejo estratégico del suelo y cultivos para mejorar la calidad del suelo

La mejor manera para desarrollar un suelo de alta calidad es manejar el suelo y cultivos, para incentivar la estructura y mantención de altos niveles de materia orgánica, incluyendo la mantención de una cantidad activa de materia orgánica (Magdoff 1993). Esforzándose en mantener ese objetivo, la práctica de la óptima administración del predio es ineludible. Se dispone de numerosas estrategias para este objetivo y éstas se debieran usar regularmente en todos los predios.

La cantidad de materia orgánica en un suelo en particular es el reflejo de variadas intervenciones en el tiempo, ya sean de origen natural y/o humano. El cambio del contenido de materia orgánica del suelo, después de transcurrido un año, es la diferencia entre lo que se ha agregado y lo que se ha perdido. Esto se puede expresar mediante esta simple ecuación:

SOM (materia orgánica del suelo) = adiciones - pérdidas.

Cuando lo agregado excede a lo perdido, SOM aumenta. En sentido contrario, si las pérdidas son mayores a lo agregado, SOM disminuye. Cuando un sistema de cultivo ha operado durante largo tiempo, se logra un equilibrio cuando lo agregado y lo perdido se igualan. Bajo estas condiciones no habrá cambios en los niveles de materia orgánica.

Queda claro que sólo hay dos caminos principales para estructurar y mantener cantidades aceptables de materia orgánica en los suelos: (1) aumentar la tasa de incorporación de materia orgánica a los suelos, y (2) disminuir la tasa de pérdida de materia orgánica.

Mejor utilización de los cultivos y otros residuos orgánicos

En muchas partes del mundo, los residuos de los cultivos se ven como un estorbo debido a que pueden albergar a plagas de insectos y a veces interferir con la preparación del suelo para el siguiente cultivo. De esta forma la quema, en el predio, de los residuos es una práctica común. Esto, no obstante, priva al suelo de materia orgánica potencialmente beneficiosa. La quema de residuos reduce el material energético disponible para los organismos del suelo y dará como resultado una disminución de la

biomasa microbiana (Collins et al. 1992). Además, en los países en desarrollo los residuos de cultivos y abonos se sacan a veces desde el campo, para usarlos como combustible para cocinar, calentar o como materiales de construcción. Estas prácticas, aunque ciertamente más comprensibles que la quema de residuos en el campo, también son dañinas para la formación de materia orgánica del suelo. No sólo no se devuelven los residuos en cantidades suficientes, sino que los suelos desnudos quedan expuestos a la erosión que remueve el mantillo enriquecido con materia orgánica. De este modo, la mejor utilización de los residuos, como mulch o para su incorporación al suelo, mejorará las adiciones de materia orgánica a los suelos y disminuirá la cantidad perdida por la erosión.

La formación de compost a partir de los desechos domésticos y residuos de cultivos, como también la de otros residuos orgánicos disponibles localmente, pueden proporcionar una mejora valiosa del suelo. La formación de compost ayuda a disminuir la masa de materia, a matar las semillas de malezas y las enfermedades que causan los organismos, disminuye las emanaciones putrefactas posiblemente nocivas y estabiliza los nutrientes. Muchos de estos materiales pueden estar disponibles en pequeñas cantidades en un momento dado y puede no ser posible o no valer la pena aplicarlos directamente al suelo de manera inmediata. Algunos materiales, debido a los problemas de emanaciones o atracción de nemátodos, no pueden simplemente dejarse de lado para un uso futuro. La práctica de formar compost a partir de los materiales orgánicos disponibles le permite así al agricultor una mayor flexibilidad en el uso de diversas fuentes de residuos.

Práctica de buenas rotaciones

Desde el punto de vista de la calidad del suelo, existen numerosos factores a considerar cuándo se evalúan las rotaciones. Al añadir los residuos de diferentes especies de plantas a los suelos, las rotaciones ayudan a mantener la diversidad biológica. Esto ocurre porque cada tipo de residuo de plantas, mientras esté disponible para muchos organismos, puede también estimular y/o inhibir a los organismos específicos del suelo. Existe un «efecto de rotación» bien definido, en el que los cultivos sembrados a continuación de otro cultivo (especialmente leguminosas), rinden mejor que cuando se siembran en monocultivo continuo. Este efecto es adicional a los efectos nutricionales benéficos del nitrógeno al sembrar un cultivo de cereales después de uno de leguminosas. Una parte del efecto de la rotación se puede deber a la colonización de organismos benéficos alrededor de las raíces de los cultivos, proporcionando una mejor protección en contra de los organismos potencialmente dañinos (Jawson et al. 1994).

Otro problema a considerar al evaluar las rotaciones es el grado de perturbación del suelo causado por la siembra de ciertos cultivos. Los cultivos perennes, sean éstos cultivos arbóreos (con suelo cubierto por cultivos de cobertura o pasto entre los árboles) o forraje perenne para animales, causan de manera significativa menos perturbación al suelo que los cultivos anuales. La perturbación disminuida, como también las mayores cantidades de residuos y biomasa viviente sobre la superficie del suelo dado por cultivos de cobertura o cultivos de pasto, disminuirán la pérdida de materia orgánica del suelo al reducir la tasa de descomposición y al disminuir la erosión de la superficie del suelo, rica en materia orgánica.

Un tercer problema relacionado con las rotaciones es que los distintos cultivos adicionarán nuevamente diferentes cantidades de residuos al suelo. Los cultivos de forraje perenne tienden a añadir muchos residuos por medio del vuelco de las raíces.

Los restos de hojas y tallos de muchos cultivos de granos pueden además proporcionar un suministro abundante de residuos orgánicos. Las rotaciones se tratan en detalle en el Capítulo 11.

Uso de cultivos de cobertura

Desde mediados de la década de 1980, ha habido un creciente interés en el uso de cultivos de cobertura. Esto es de hecho el renacimiento del interés en una práctica que se usaba en la antigua Roma, hace unos 2.000 años, e incluso antes, en China. A pesar de que los cultivos de cobertura están tratados en detalle en el Capítulo 10, es importante poner énfasis en la importancia de los cultivos de cobertura desde el punto de vista de la calidad del suelo. Los cultivos de cobertura pueden añadir materia orgánica a un suelo cuando se les permite morir o incorporarse al suelo. Los cultivos de cobertura, al mantener cubierto el suelo e interceptar las gotas de lluvia, disminuyen en la destrucción de los agregados superficiales y de este modo promueven la infiltración del agua en el suelo disminuyendo el escurrimiento y la erosión. Algunos cultivos de cobertura, como el trébol dulce, pueden fomentar el desarrollo de una mejor estructura del suelo a través del crecimiento de sus largas raíces que son capaces de penetrar en subsuelos densos.

Integración de animales a los sistemas de cultivo

Uso de abono

Cuando los animales forman parte del sistema de cultivo, se generan numerosas ventajas para mantener la calidad del suelo mediante el manejo de materia orgánica. Una razón es que habrá abono animal disponible para aplicarlo a los suelos. El abono animal puede desempeñar un papel muy importante al proporcionar nutrientes disponibles para los cultivos y en la constitución de la materia orgánica del suelo. Otra razón es que habrá una rentabilidad económica proveniente de la incorporación de cultivos de forraje, como alfalfa o combinaciones de trébol-pasto, a la rotación. Estos cultivos ayudan a construir la materia orgánica del suelo, a formar su estructura y a la incorporación del nitrógeno para ser usado por cultivos sucesivos. Los animales también pueden, al pastar, arrancar los residuos de los cultivos que podrían albergar agentes patógenos durante el invierno, mientras van dejando atrás el abono.

Labranza reducida

En general, mientras mayor sea la perturbación del suelo durante su preparación para el establecimiento del cultivo, mayor será la tasa de descomposición de la materia orgánica (Reicosky y Lindstrom 1994). Aunque esto puede proporcionar algunos beneficios al hacer que los nutrientes estén a disposición de las plantas más rápidamente, resulta más difícil mantener niveles altos de materia orgánica en la labranza tradicional (arado con vertedera seguido por discado superficial), lo que causa una mayor perturbación al suelo que en los sistemas de labranza reducidos. Además, el uso de la labranza tradicional tiende a promover la erosión al dejar algunos residuos para proteger la superficie y por tanto disminuye la agregación natural.

La gravedad de la perturbación del suelo se puede disminuir en gran parte al usar sistemas de labranza reducidos para la preparación y la siembra. El sistema de la-

branza reducida más nuevo es el de labranza cero, cuando sólo se perturba una estrecha franja donde se habrá de sembrar la semilla. Esto deja la cantidad máxima de residuos cubriendo el suelo. Otros tipos de sistemas de labranza reducida, como el arado de cincel, están también disponibles. La labranza reducida se analiza en más detalle en el Capítulo 11.

Control de la erosión

Debido a que los materiales erosionados de los suelos generalmente se remueven del mantillo y son ricos en materia orgánica con respecto al resto del suelo, la erosión es un gran problema de calidad del suelo. El principal problema de sembrar cultivos en suelos erosionados, es que generalmente no existe un mantillo suficiente para una mejor nutrición y las propiedades de almacenamiento del agua. Algunos suelos están particularmente propensos a la erosión eólica y del agua. Los suelos derivados de *loess* y que contienen grandes cantidades de sedimento y arenas muy finas, como aquellos en el medioeste norteamericano y en la planicie central del norte de China, son sensibles a la erosión causada por el agua y requieren precauciones extras. Las tasas de pérdida del suelo en un agroecosistema erosionado, en esta región de China, son enormes, con 100 a 200 ó más toneladas removidas por hectárea (Hamilton y Luk 1993).

Mientras que los suelos con gran cantidad de materia orgánica son menos propensos a la erosión, el control de ésta también ayuda a mantener los niveles de materia orgánica del suelo. El uso mulch, cultivos de cobertura, cultivos con pasto y labranza reducida (todas tratadas anteriormente) ayudan a reducir la tasa de erosión del suelo, pero se pueden requerir además otras prácticas específicas de control de la erosión. Para los suelos propensos a la erosión, la labranza y la siembra deberían realizarse en contorno. Además sería necesario establecer vías de agua que tengan pasto para ayudar a que el agua abandone el campo sin horadar canales profundos, asimismo se debe nivelar la tierra para ayudar a que el agua superficial fluya hacia las vías de agua. La construcción de terrazas a nivel del suelo para la siembra es otra práctica de control de la erosión que puede ayudar a estabilizar el suelo.

Mejor uso de los ciclos de nutrientes

Depender de fuentes locales y biológicas de nutrientes es un objetivo en el cual se deberían centrar todos los esfuerzos, puesto que es alcanzable en muchas fincas. Esto se puede lograr maximizando el uso de nutrientes a medida que se ciclan en el predio. El uso de rotaciones que incluyen los cultivos de pastos con un gran porcentaje de composición de leguminosas puede proporcionar una cantidad sustancial de nitrógeno para los cultivos que no son de leguminosas durante los siguientes dos años. Reducir las pérdidas por lixiviación y escurrimiento de los nutrientes, estructurando la materia orgánica del suelo y el uso de los cultivos de cobertura, ayudará a cerrar el ciclo de nutrientes y promoverá el uso nuevamente de los nutrientes en el campo. Hacer pruebas de suelo regularmente también ayudará a asegurar que no se acumulen niveles excesivos de los nutrientes disponibles.

Quinta parte

Mirando al futuro

Hacia una agricultura sustentable

Los problemas de la agricultura moderna

Los dramáticos aumentos en la productividad de los cultivos en la agricultura moderna, han sido acompañados en muchos casos por degradación ambiental, (erosión del suelo, contaminación por plaguicidas, salinización), problemas sociales (eliminación del predio familiar; concentración de la tierra, los recursos y la producción; crecimiento de la agroindustria y su dominio sobre la producción agrícola; cambio en los patrones de migración rural/urbana) y uso excesivo de los recursos naturales. Recientemente la agricultura se ha visto sometida en forma creciente a las restricciones de los precios inflacionarios del petróleo.

Los problemas de la agricultura moderna pueden ser aun más difíciles cuando la tecnología occidental convencional, desarrollada en específicas condiciones ecológicas y socioeconómicas, se aplica a países en desarrollo, como es el caso de algunos programas de la Revolución Verde (Capítulo 4).

La agricultura moderna se ha vuelto sumamente compleja, con ganancias en el rendimiento de los cultivos que dependen del manejo intensivo y de la disponibilidad ininterrumpida de los recursos y la energía suplementaria. Este libro se basa en la premisa de que el enfoque convencional no se adecua a una era con problemas ambientales y energéticos, sino que enfatiza la necesidad del progreso hacia una agricultura auto-suficiente, económicamente viable, energeticamente eficiente, conservadora de los recursos y socialmente aceptable.

La comprensión de los sistemas agrícolas tradicionales puede revelar importantes claves ecológicas, para el desarrollo de la producción alternativa y los sistemas de manejo en los países industriales y en desarrollo.

El desafío de la investigación de la agricultura sustentable será el de aprender a compartir innovaciones y discernimientos entre los países industriales y los en via de desarrollo finalizando la transferencia tecnológica en un sólo sentido; desde el mundo industrial hacia el Tercer Mundo. Este intercambio debe ser parejo, especialmente en el área de la biotecnología, que depende principalmente de la disponibilidad de la diversidad genética de los cultivos, mucha de la cual aún se preserva en los agroecosistemas tradicionales. No resulta apropiado para los mejoradores de plantas de los países industrializados tener un acceso libre al germoplasma nativo en los agroecosistemas tradicionales sin compensar a los países del Tercer Mundo.

En efecto, la búsqueda de modelos agrícolas sustentables tendrá que combinar elementos del conocimiento científico tradicional y moderno. La complementación del uso de insumos y variedades convencionales con tecnologías tradicionales asegurará una producción agrícola más permisible y sustentable. En los E.E.U.U. y en

otros países industrializados, la adopción de este enfoque requerirá de ajustes importantes en la estructura del capital intensivo de la agricultura. En los países en desarrollo también se requerirá cambios estructurales, principalmente para corregir desigualdades en la distribución de recursos, pero además se necesitará que los gobiernos reconozcan el conocimiento de los campesinos como un importante recurso natural. El desafío será entonces el de aumentar al máximo el uso de este recurso en las estrategias de desarrollo agrícola autónomo.

Cuando se examinan los problemas que confrontan el desarrollo y la adopción de agroecosistemas sustentables, resulta imposible separar los problemas biológicos de la práctica de la agricultura «ecológica» de los problemas socioeconómicos, del crédito inadecuado, la tecnología, la educación, el apoyo político y el acceso al servicio público. Las complicaciones sociales y los prejuicios políticos más que los problemas técnicos, son probablemente las mayores barreras para cualquier transición desde sistemas productivos de gran capital/energía a sistemas agrícolas consumidores de poca energía y de una intensa mano de obra.

Una estrategia para lograr una productividad agrícola sustentable tendrá que hacer mucho más que simplemente modificar las técnicas tradicionales. Una estrategia exitosa será el resultado de enfoques novedosos para diseñar agroecosistemas que integren el manejo con la base de recursos regionales y que operen dentro del marco existente de condiciones ambientales y socioeconómicas (Loucks 1977). Las selecciones tendrán que basarse en la interacción de factores como: especies de cultivos, rotaciones, espaciamento en hileras, nutrientes y humedad del suelo, temperatura, plagas, cosecha y otros procedimientos agronómicos; además tendrán que acomodarse a la necesidad de conservar la energía y los recursos, de proteger la calidad del medioambiente, la salud pública y el desarrollo socioeconómico equitativo.

Estos sistemas deben contribuir al desarrollo rural y a la igualdad social. Para que esto suceda, los mecanismos políticos deben incentivar la substitución de mano de obra por capital, reducir los niveles de mecanización y el tamaño del predio, diversificar la producción agrícola y hacer hincapié en las empresas controladas por los trabajadores y/o la participación de los agricultores en el proceso de desarrollo. Las reformas sociales que aparecen en estas líneas tienen los beneficios adicionales de aumentar el empleo y reducir la dependencia de los agricultores con el gobierno, el crédito y la industria (Levins 1973).

Obviamente estos cambios propuestos pueden generar un conflicto con la visión capitalista o neoliberal del desarrollo agrícola moderno. Se puede afirmar que, por ejemplo, una mayor mecanización reduce los costos de producción o resulta necesaria en zonas donde la mano de obra requerida no está disponible, y que además la producción diversificada crea problemas de mecanización. Otra preocupación es que si la tecnología sustentable, para fines de este siglo, será capaz de alimentar a dos mil millones de personas más. Cada una de estas críticas pueden ser válidas si se analizan dentro del marco socioeconómico común. Sin embargo, éstas son menos válidas si se reconoce que los agroecosistemas sustentables representan cambios profundos que podrían tener importantes implicaciones sociales y políticas. Aquí se sostiene que la mayoría de los problemas presentes y futuros de desnutrición y hambre se deben más a patrones de distribución de alimentos y poco acceso a éstos debido a la pobreza, más que a los límites agrícolas o al tipo de tecnología utilizada en la producción de alimentos.

Biodiversidad: la clave para operar agroecosistemas sustentables

Como se ha subrayado en este libro, una estrategia clave en una agricultura sustentable es restituir la diversidad agrícola de los paisajes agrícolas. Un problema crítico en la agricultura moderna es la pérdida de biodiversidad, la que llega a su máximo en forma de monocultivos agrícolas. De hecho, la agricultura moderna es terriblemente dependiente de una serie de variedades de sus cultivos principales. Por ejemplo, en los E.E.U.U. el 60% - 70% de los acres sembrados con frijoles poseen dos o tres variedades de frijoles, el 72% de los acres de papas están sembrados con cuatro variedades y el 53% de las siembras de algodón con tres variedades (National Academy of Sciences 1972).

Los investigadores han advertido en reiteradas ocasiones acerca de la extrema vulnerabilidad que tiene la uniformidad genética. En ninguna parte son más evidentes las consecuencias de la reducción de la biodiversidad que en el ámbito del manejo de las plagas agrícolas. La inestabilidad del agroecosistema se manifiesta a medida que se agravan los problemas con plagas de insectos ya que la mayoría se relacionan cada vez más con la expansión de monocultivos a expensas de la vegetación natural, con lo cual se disminuye 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 seres humanos están sujetas a los fuertes daños de las plagas y, generalmente, mientras más intensamente se modifican dichas comunidades, más abundantes y graves son las plagas.

Por lo tanto, una de las razones más importantes para mantener, restituir y/o aumentar la biodiversidad en los agroecosistemas es que esta, presta una variedad de servicios ecológicos. Los ejemplos incluyen el reciclaje de nutrientes, el control de microclimas locales, la regulación de procesos hidrológicos locales, la regulación de la abundancia de organismos indeseables y la destoxificación de sustancias químicas nocivas. Estos procesos de renovación y los servicios del ecosistema son principalmente biológicos, por lo tanto, su persistencia depende de la mantención de la diversidad biológica (Figura 17.1). Cuando se pierden estos servicios naturales, debido a la simplificación biológica, los costos económicos y ambientales pueden ser bastante significativos. Económicamente, los costos agrícolas incluyen la necesidad de proveer cultivos con costosos insumos externos, puesto que los agroecosistemas que carecen de los componentes básicos reguladores de las funciones, no tienen la capacidad de garantizar la fertilidad de su propio suelo y la regulación de las plagas. A menudo, los costos involucran una reducción en la calidad de vida debido a una disminución en la calidad del suelo, agua y alimento al ocurrir contaminación con pesticidas y/o nitratos.

En los agroecosistemas modernos, las pruebas experimentales sugieren que la biodiversidad se puede usar para el manejo mejorado de las plagas (Andow 1991). Varios estudios han demostrado que es posible estabilizar las comunidades de insectos de los agroecosistemas, mediante la construcción de arquitecturas vegetales que sostengan poblaciones de enemigos naturales o que tengan efectos disuasivos directos sobre las plagas herbívoras.

En los países en desarrollo se puede utilizar la biodiversidad para ayudar a la gran cantidad de agricultores pobres en recursos, en su mayoría, de zonas de secano, laderas y suelos marginales, para que logren una autosuficiencia alimentaria durante todo el año, reduzcan su dependencia de insumos agrícolas químicos, caros y escasos y desarrollen sistemas de producción que reconstruyan las capacidades productivas de

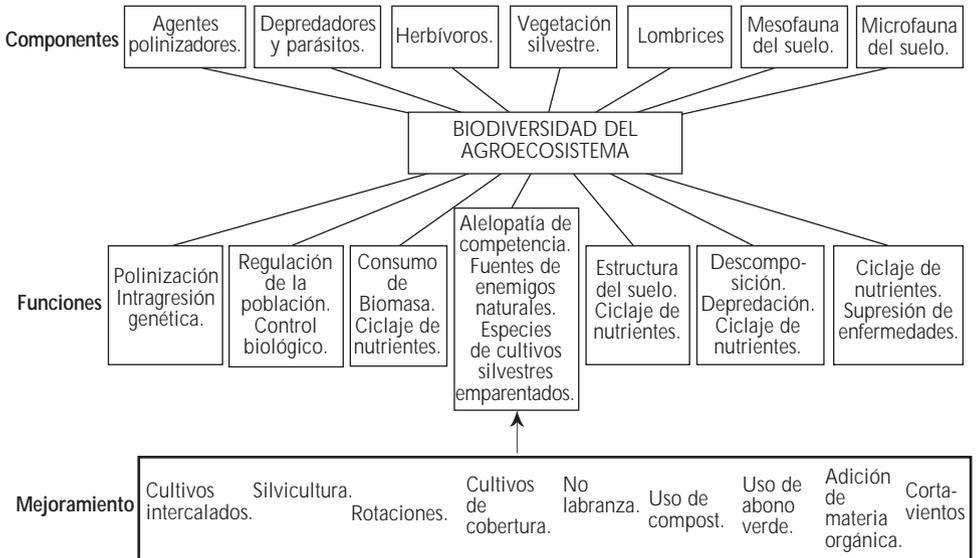


FIGURA 17.1 Componentes, funciones y estrategias de mejoramiento de la biodiversidad en agroecosistemas (según Altieri 1991a).

sus pequeñas propiedades (Altieri 1987). Técnicamente, este enfoque consiste en diseñar sistemas de uso múltiple, haciendo hincapié en la protección de los cultivos y el suelo, además de obtener un mejoramiento en la fertilidad del suelo y la protección de éste último mediante la integración de árboles, animales y cultivos. Como se ve en la Figura 17.2 existen diferentes opciones para diversificar los sistemas de cultivo, dependiendo de si los actuales sistemas de monocultivo a modificar están basados en cultivos anuales o perennes. La diversificación también puede ocurrir fuera del predio, por ejemplo, en los linderos de los campos de cultivos con barreras rompevientos, cinturones de protección y cercos vivos, que pueden mejorar el hábitat para la vida silvestre y los insectos benéficos, proporcionar fuentes de madera, materia orgánica, recursos para polinizadores, y además modificar la velocidad del viento y el microclima (Altieri y Letourneau 1982).

Los ejemplos de programas de desarrollo rural en América Latina indican que la mantención y/o mejoramiento de la biodiversidad en los agroecosistemas tradicionales representa una estrategia que asegura distintas dietas y fuentes de ingresos, producción estable, riesgo mínimo, producción intensiva con recursos limitados y retorno máximos bajo niveles inferiores de tecnología dentro de estos sistemas; la complementariedad de las empresas agrícolas reduce la necesidad de insumos externos. La correcta interacción espacial y temporal y sinergismos garantizan los rendimientos y la conservación de los recursos.

Los objetivos y necesidades de la agricultura sustentable

La problemática principal de la agricultura sustentable no es lograr el rendimiento máximo, sino más bien lograr una estabilización a largo plazo. El desarrollo de agroecosistemas en pequeña escala, viables económicamente, diversificados y

autosuficientes proviene de nuevos diseños de sistemas de cultivo y/o ganado, que se manejan con tecnologías adaptadas a los ambientes locales que se encuentran dentro de los recursos de los agricultores. Se deberían tomar en consideración la conservación de la energía y los recursos, la calidad ambiental, la salud pública y el desarrollo socioeconómico equitativo, con el fin de tomar decisiones sobre las especies de cultivos, las rotaciones, el espaciamiento en hileras, la fertilización, el control de las plagas y la cosecha. Desde el punto de vista del manejo, los componentes básicos de un agroecosistema sustentable incluyen:

1. Cubierta vegetal como una medida eficaz de conservación del suelo y el agua, lograda mediante el uso de prácticas de no labranza, agricultura basada en el mulch, uso de cultivos de cobertura, etc.
2. Suministro regular de materia orgánica mediante la adición continua de la misma (abono, compost) y el fomento de la actividad biótica del suelo.
3. Mecanismos de reciclaje de nutrientes mediante el uso de rotaciones de cultivos, sistemas combinados de cultivo/ganado, agroforestería y sistemas de cultivos intercalados basados en las leguminosas, etc.
4. Regulación de las plagas, asegurada por el aumento de la actividad de los agentes de control biológico, obtenidos mediante manipulaciones biodiversas, y la introducción y/o conservación de los enemigos naturales.
5. Aumento del control biológico de las plagas por medio de la diversificación.
6. Aumento de la capacidad de uso múltiple del paisaje.
7. Producción sostenida de cultivos sin el uso de insumos químicos que degraden el medioambiente.

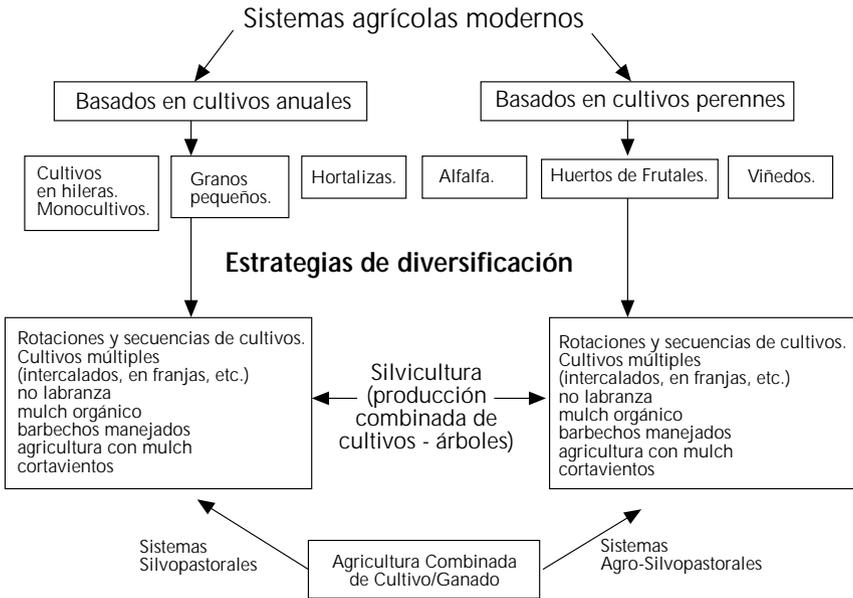


FIGURA 17.2 - Estrategias de diversificación para agroecosistemas modernos basados en cultivos perennes o anuales.

Los componentes anteriores se organizan en una estrategia que destaca la conservación y el manejo de recursos agrícolas locales siguiendo una metodología de desarrollo que pone énfasis en la participación, el conocimiento tradicional y la adaptación a las condiciones locales (Tabla 17.1).

Dentro de la estructura del enfoque agroecológico participativo se definen objetivos económicos, sociales y ambientales mediante la comunidad local, y se ponen en práctica tecnologías de bajos insumos para armonizar el crecimiento económico, la equidad social y la preservación ambiental (Figura 17.3). Por último, además del desarrollo y la difusión de tecnologías agroecológicas, la motivación de una agricultura sustentable requiere de cambios en las agendas de investigación, las políticas agrarias y los sistemas económicos, incluyendo mercados y precios justos, como también de incentivos gubernamentales (Figura 17.4).

La transición hacia una agricultura sustentable

La estructura de la agricultura empresarial y la organización de la investigación agrícola (que enfoca los problemas a corto plazo y las muchas modificaciones de la

TABLA 17.1 Elementos técnicos básicos de una estrategia agroecológica.

1. Conservación y regeneración de los recursos naturales

- A. Suelo (erosión, fertilidad y salud vegetal)
- B. Agua (cosecha, conservación in-situ, manejo, riego)
- C. Germoplasma (especies nativas animales y vegetales, tipos de suelos, germoplasma adaptado)
- D. Fauna y flora benéfica (enemigos naturales, agentes polinizadores, uso múltiple de la vegetación).

2. Manejo de recursos productivos

- A. Diversificación
 - temporal (rotaciones, secuencias, etc.)
 - espacial (policultivos, agroforestería, sistemas combinados de cultivo/ganado)
 - genética (multilíneas, etc.)
 - regional (zonificación, mosaicos, etc.)
- B. Reciclaje de nutrientes y materia orgánica
 - biomasa vegetal (abono verde, residuos de cultivos, fijación de N)
 - biomasa animal (abono, orina, etc.)
 - reutilización de nutrientes y recursos internos y externos al predio
- C. Regulación biótica (protección del cultivo y salud animal)
 - control biológico natural (mejoramiento de los agentes de control natural)
 - control biológico artificial (importación y aumento de los enemigos naturales, insecticidas botánicos, productos veterinarios alternativos, etc.)

3. Puesta en práctica de los elementos técnicos

- A. Definición de la regeneración de recursos, técnicas de conservación y manejo adaptadas a las necesidades locales y a las circunstancias agroecológicas y socioeconómicas.
 - B. La puesta en funcionamiento, puede estar al nivel de divisiones de la microregión, a nivel del predio y a nivel del sistema de cultivos.
 - C. La puesta en práctica esta dirigida por una concepción (integrada) holística y, por lo tanto, no pone énfasis en los elementos aislados.
 - D. La estrategia debe estar de acuerdo con la racionalidad campesina y se deben incorporar elementos de manejo tradicional.
-

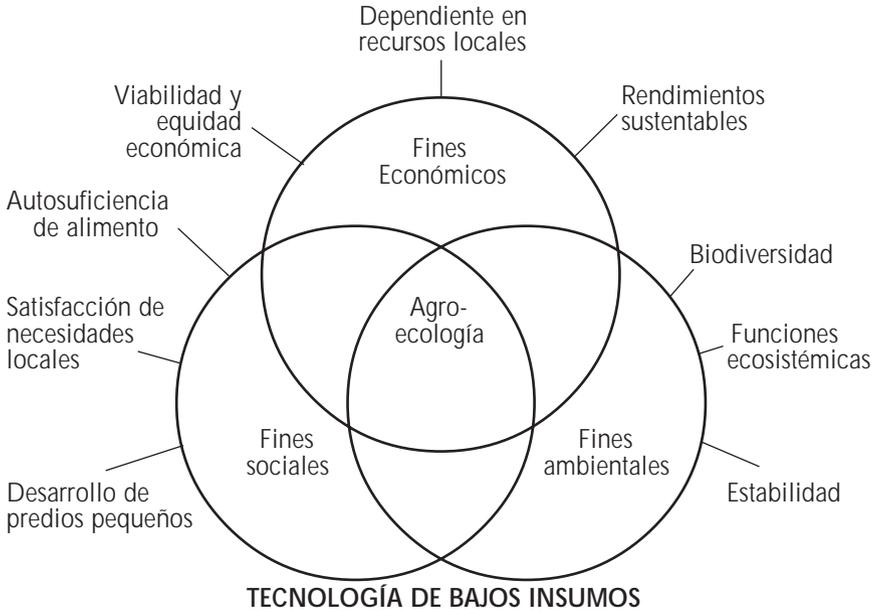


Figura 17.3. El papel de la agroecología en la satisfacción de los objetivos económicos, ambientales y sociales en las zonas rurales.

tecnología existente), evita que las recomendaciones de la investigación ecológica sean incorporadas a los sistemas de manejo agrícola (Buttell 1980a). Resulta obvio que las empresas agrícolas no invertirán en tecnología sustentable en las que las ganancias no se pueden obtener inmediatamente.

De hecho, el énfasis en rendimientos mayores continúa y durante la década de 1980 este enfoque altamente tecnificado se ilustra por la promoción a gran escala de la biotecnología, reclamada como la nueva panacea tecnológica que puede evi-

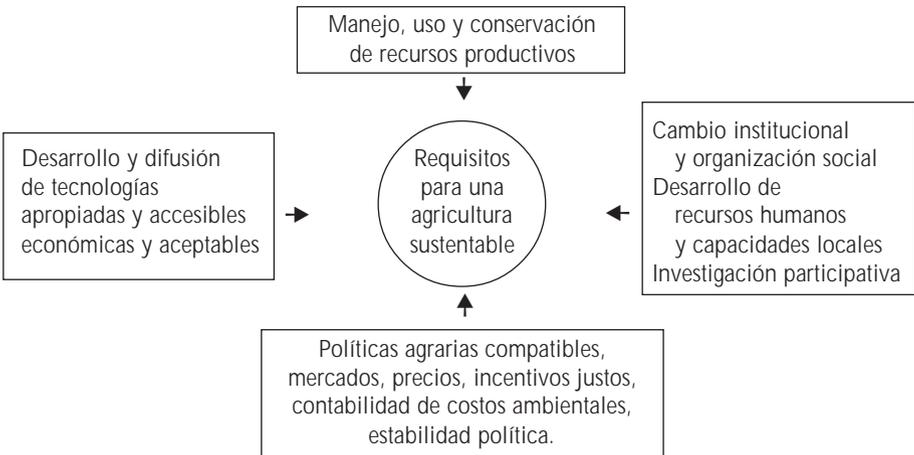


FIGURA 17.4 Requerimientos para una agricultura sustentable.

tar la poca productividad, particularmente en la agricultura del Tercer Mundo (Barton y Brill 1983). Se afirma que la cultura de células y tejidos podría usarse inmediatamente para acelerar la producción de variedades de cultivos resistentes a las enfermedades y tolerantes a las sequías. La transplatación de embriones ofrece la posibilidad de obtener especies de ganado mejoradas. Así, los que la proponen sostienen que las tecnologías de ingeniería genética pueden proporcionar rápidamente materiales vegetales adaptables a la mayoría de las zonas en el mundo, incluyendo tierras marginales.

Un dilema importante para quienes buscan el desarrollo, será cómo transferir y adaptar la biotecnología a las condiciones políticas, económicas y sociales que prevalecen en los países en desarrollo. Dada la actual situación económica en estos países, resulta razonable esperar que las tecnologías promovidas en países en desarrollo agobiados por las deudas, puede no ser las más adecuadas a los ambientes económicos y ecológicos locales, sino que más bien atractivas para los grandes mercados de las naciones industriales (Kenney y Buttel 1984, Hansen et al. 1984).

A medida que la utilización de esta tecnología aumenta, las reglamentaciones tendrán que surgir para proteger al público de los problemas ambientales y de salud que pueden originarse por la liberación de organismos obtenidos genéticamente (Brill 1985). Existe cierta preocupación en cuanto a que las pruebas o aplicaciones podrían llevar a una «liberación ecológica» de la regulación biótica de los propios organismos concebidos genéticamente u otra biota en el mismo hábitat. Las burocracias del Tercer Mundo a menudo son lentas o ineficientes en el refuerzo de la seguridad, situación explotada por muchas empresas transnacionales para comercializar sus productos, los cuales están prohibidos de venderse en los países desarrollados.

A pesar de que quienes proponen la biotecnología sostienen que las plantas que ellos producen pueden ser resistentes a muchas plagas y capaces de prosperar en suelos pobres en nutrientes (disminuyendo así la necesidad de plaguicidas y fertilizantes), el enfoque hace que los agricultores, especialmente los campesinos, sean cada vez más dependientes de las empresas de semillas. Dada la tendencia de algunas compañías a poner énfasis en «paquetes» de semilla/producto químico, los agricultores se harán automáticamente dependientes de los elementos químicos necesarios para sembrar las semillas (Buttel 1980b). Esto es particularmente cierto en el caso de la biotecnología que adapta cultivos para necesidades específicas (como cultivos resistentes a los herbicidas). El problema es que cuando los agricultores pierden su autonomía, sus sistemas de producción resultan gobernados por instituciones distantes sobre las que las comunidades rurales tienen poco control.

Por otra parte, en los países industriales la consideración de la agricultura diversificada (policultivos) es inhibida por el sistema actual de tenencia de la tierra y el diseño de la maquinaria agrícola. Por lo tanto, la investigación sobre la ecología de los policultivos sólo tiene sentido como parte de un programa más amplio que incluye la reforma de tierras y el rediseño de las máquinas (Levins 1973). Otras limitaciones en las actuales condiciones sociales hacen difícil la adopción de la agricultura ecológica:

- Dada la complejidad ambiental de cada sistema agrícola, la tecnología agrícola sustentable debe ser específica respecto al lugar, por lo tanto, la tecnología desarrollada en estaciones experimentales puede resultar inadecuada en una región heterogénea de agroecosistemas sustentables.
- Una exploración holística del diseño, manejo y estructura del agroecosistema tiende a romper las limitaciones disciplinarias, desafiando la propensión orien-

tada a la conveniencia de la educación, investigación y extensión agrícola común y además la inflexible estructura de los mercados urbanos/rurales.

- Durante una fase de transición, los rendimientos de los cultivos y la calidad cosmética variarían en algún grado, dando por resultado una producción impredecible que a su vez inhibe la inversión de capital e impide que los agricultores establezcan relaciones sólidas y fructíferas con mayoristas y procesadores. Muchos agricultores no variarán a sistemas alternativos, a menos que exista una buena perspectiva de obtener ganancias monetarias originadas ya sea por una mayor producción o por menores costos de producción. Las distintas actitudes dependerán principalmente de la percepción que los agricultores tengan acerca de los beneficios económicos a corto o a largo plazo de la agricultura sustentable.

Por lo visto, no será posible sobreponerse a estas limitaciones sin cambios importantes en la estructura agrícola de los E.E.U.U. El proceso de cambio podría acelerarse si:

1. La investigación y la extensión agrícola pusieran su atención en problemas a largo plazo, con mayor énfasis en la pequeña escala, donde la tecnología de un lugar específico fuera desarrollada en los predios de los agricultores con la activa cooperación de éstos.

2. La planificación agrícola fuese integrada con una perspectiva ecológica para la utilización de toda la tierra, persiguiendo múltiples objetivos como la producción de alimentos e ingresos, mejoramiento de la calidad nutricional, protección de la salud de los trabajadores agrícolas y los consumidores, protección del ambiente y la participación equitativa de la población entre asentamientos urbanos y rurales (Levins y Lewontin 1985).

3. Surgieran cooperativas productor-consumidor, que enfrentaran los mercados locales, que coordinen los propósitos de producción para evitar la sobre o subproducción, y establezcan los objetivos de los estándares cosméticos.

4. La agricultura se convirtiera en una actividad orientada a la familia, basada en decisiones cooperativas sobre el manejo agrícola, la venta de insumos, la asignación de créditos y la mano de obra.

5. Los pequeños agricultores se organizaran y se convirtieran en un grupo de votantes con fuerza política para asegurar reformas agrícolas pertinentes, una legislación apropiada y un mejor acceso a los servicios públicos, créditos y tecnología.

6. La agricultura se convirtiera en objeto de las decisiones políticas públicas que atañen a toda la sociedad, que subordinan los intereses en el manejo de recursos agrícolas a intereses económicos y políticos más amplios.

7. Los consumidores fueran más eficientes para influir las agendas de investigación agrícola que ignoran los problemas de nutrición, salud y medioambiente.

Las exigencias para desarrollar una agricultura sustentable no son sólo biológicas o técnicas, sino también sociales, económicas y políticas que ilustran las necesidades para crear una sociedad sustentable. Resulta inconcebible estimular los cambios ecológicos del sector agrícola sin apoyar los cambios similares en todas las demás áreas interrelacionadas de la sociedad. La última exigencia de una agricultura ecológica es un ser humano evolucionado y conciente, cuya actitud hacia la naturaleza sea de coexistencia y no de explotación.

Acerca de los autores

Miguel A. Altieri es profesor asociado de la Universidad de California, Berkeley, asesor científico de CLADES y coordinador general del programa del PNUD Sustainable Agriculture Networking and Extension (SANE)

John G. Farrell tiene un M.Sc. en agroforestería y trabaja en el Programa de Agroecología de la Universidad de California, Santa Cruz

Susanna B. Hecht es una experta en la Amazonia y es profesora de la Universidad de California en Los Angeles.

Matt Liebman es profesor del Departamento de Ciencias del Suelo y Vegetales de la Universidad de Maine, donde coordina un programa de educación de 4 años en agricultura sustentable.

Fred Magdoff es profesor de suelos en la Universidad de Vermont y además coordina el programa del USDA sobre agricultura sustentable en el noreste de USA

Richard B. Norgaard es un economista agrícola profesor de la Universidad de California, Berkeley

Thomas O. Sikor es un estudiante de doctorado en la Universidad de California, Berkeley.

Bibliografía

- Abraham, C. T., and S. P. Singh. 1984. Weed management in sorghum-legume intercropping systems. *J. Agric. Sci.* 103: 103-115.
- Adams, M. W., A. H. Ellingbae, and E. C. Rossineau. 1971. Biological uniformity and disease epidemics. *BioScience* 21: 1067-1070.
- Agboola, A. A., and A. A. Fayemi. 1972. Fixation and excretion of nitrogen by tropical legumes. *Agron. J.* 6: 409-412.
- Aiyer, A. K. Y. N. 1949. Mixed cropping in India. *Indian J. Agric. Sci.* 19: 439-543.
- Akobundu, I. O. 1980. «Weed control strategies for multiple cropping systems of the humid and subhumid tropics.» In: *Weeds and Their Control in the Humid and Subhumid Tropics*. Akobundu, I. O., ed. Nigeria: IITA.
- . 1987. *Weed Science in the Tropics: Principles and Practices*. New York: John Wiley and Sons.
- Alcorn, J. B. 1984. *Huastec Mayan Ethnobotany*. Austin: Univ. Texas Press.
- Aldrich, R. J. 1984. *Weed-Crop Ecology: Principles in Weed Management*. Massachusetts: Breton Publishers.
- Ali, M. 1988. Weed suppressing ability and productivity of short duration legumes intercropped with pigeon pea under rainfed conditions. *Tropical Pest Management* 34: 384-387.
- Alstrom, S. 1990. *Fundamentals of Weed Management in Hot Climate Peasant Agriculture*. Crop Production Science II. Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences.
- Altieri, M. A. 1983. The question of small development: who teaches whom? *Agric. Ecosyst. Environ.* 9: 40-405.
- . 1987. The significance of diversity in the maintenance of the sustainability of traditional agroecosystems. *ILEIA* 3(2): 3-7.
- . 1989. «Agroecology and rural development in Latin America.» In: *Agroecology and Small Farm Development*. M. A. Altieri, and S. B. Hecht, eds. Boca Raton: CRC Press.
- . 1991. Traditional farming in Latin America. *The Ecologist* 21: 93-9.
- . 1992. Allí donde termina la retórica sobre la sostenibilidad comienza la agroecología. *CERES* 124: 33-39.
- . 1993a. Ethnoscience and biodiversity: key elements in the design of sustainable pest management systems for small farmers in developing countries. *Agric. Ecosyst. and Environment* 46: 257-272.
- . 1993b. *Biodiversity and Pest Management in Agroecosystems*. New York: Food Products Press.
- Altieri, M. A., and M. K. Anderson. 1986. An ecological basis for the development of alternative agricultural systems for small farmers in the Third World. *Amer. J. Alter. Agric.* 1: 30-38.
- Altieri, M. A., M. K. Anderson, and L. C. Merrick. 1987. Peasant agriculture and the conservation of crop and wild plant resources. *Conservation Biology* 1: 49-58.
- Altieri, M. A., J. Davis, and K. Burroughs. 1983a. Some agroecological and socioeconomic features of organic farming in California. *Biological Agriculture and Horticulture* 1: 97-107.
- Altieri, M. A., and J. D. Doll. 1978. The potential of allelopathy as a tool for weed management in crop fields. *PANS* 24: 495-502.
- Altieri, M. A., and J. G. Farrell. 1984. Traditional farming systems of south central Chile, with special emphasis on agroforestry. *Agroforestry Systems* 2: 3-18.

- Altieri, M. A., C. A. Francis, A. van Schoonhoven, and J. D. Doll. 1978. A review of insect prevalence in maize (*Zea mays*) and bean (*Phaseolus vulgaris*) polycultural systems. *Field Crops Research* 1: 33 49.
- Altieri, M. A., and S. R. Gliessman. 1983. Effects of plant diversity on the density and herbivory of the flea beetle, *Phyllotreta cruciferae* Goeze, in California collard (*Brassica oleracea*) cropping systems. *Crop Protection* 2: 497 501
- Altieri, M. A., and S. B. Hecht. 1989. *Agroecology and Small Farm Development*. Boca Raton, Fla.: CRC Press.
- Altieri, M. A., and D. K. Letourneau. 1982. Vegetation management and biological control in agroeco- systems. *Crop Protection* 1: 405 430.
- Altieri, M. A., D. K. Letourneau and J. R. Davis. 1983b. Developing sustainable agroecosystems. *Bio- Science* 33: 45 49.
- Altieri, M. A., P. B. Martin, and W. J. Lewis. 1983. A quest for ecologically based pest management systems. *Envir. Manage.* 7: 91 100.
- Altieri, M. A., and M. Z. Liebman. 1986. «Insect, weed and plant disease management in multiple cropping systems.» In: *Multiple Cropping Systems*. C. A. Francis, ed. New York: MacMillan. pp. 183 218.
- . 1988. *Weed Management in Agroecosystems: Ecological Approaches*. Florida: CRC Press.
- Altieri, M. A. A. and O. Masera. 1993. Sustainable rural development in Latin America: building from the bottom up. *Ecological Economics* 7: 93 121.
- Altieri, M. A., and L. C. Merrick. 1987. In situ conservation of crop genetic resources through maintenance of traditional farming systems. *Economic Botany* 41(1): 86 96.
- Altieri, M. A. and C. Montecinos. 1993. Conserving crop genetic resources in Latin America through farmers participation. In: *Perspectives on Biodiversity: Case Studies of Genetic Resource Conserva- tion and Development*. C. S. Potter, J. I. Cohen, and D. Janczewski, eds. Washington, D. C. :AAAS. pp. 45 64.
- Altieri, M. A., and L. L. Schmidt. 1985. Cover crop manipulation in northern California orchards and vineyards: effects on arthropod communities. *Biological Agriculture and Horticulture* 3: 1 24.
- Altieri, M. A., J. W. Todd, E. W. Hauser, M. Patterson, G. A. Buchanan, and R. H. Walker. 1981. Some effects of weed management and row spacing on insect abundance in soybean fields. *Prot. Ecol.* 3: 334 343.
- Altieri, M. A., A. van Schoonhoven, and J. D. Doll. 1977. The ecological role of weeds in insect pest management systems: a review illustrated with bean (*Phaseolus vulgaris*) cropping systems. *PANS* 23: 185 205.
- Altieri, M. A., and W. H. Whitcomb. 1979. The potential use of weeds in the manipulation of beneficial insects. *HortScience* 14: 12 18.
- Altieri, M. A., Wilson, R. C., and L. L. Schmidt. 1985. The effects of living mulches and weed cover on the dynamics of foliage and soil arthropod communities in three crop systems. *Crop Protection* 4: 201 213.
- Altieri, M. A., and A. Yurjevic. 1989. The Latin American Consortium on Agroecology and Development: a new institutional arrangement to foster sustainable agriculture among resource-poor farmers. *Bulletin of the Institute of Development Anthropology* 7: 17-19.
- Altieri, M. A., and A. Yurjevic. 1991. La agroecología y el desarrollo rural sustentable en América Latina. *Agroecología y Desarrollo* 1: 25 36.
- Anderson, D. T. 1981. «Seeding and interculture mechanization requirements related to intercropping in India.» In: *Proc. Int. Workshop on Intercropping 10 13 Jan. 1979*. India: ICRISAT.
- Anderson, A., and S. Anderson. 1983. *People and the Palm Forest*. Washington D.C.: U.S. MAB Publ.
- Anderson, A., A. Gely, J. Strudwick, G. Sobel, and M. Pinto. 1985. Um sistema agroflorestal na varzea do Estuario Amazonico. *Acta Amazonica* 15: 1 2.
- Andow, D. 1983. The extent of monoculture and its effects on insect pest populations with particular reference to wheat and cotton. *Agric. Ecosyst. Environ.* 9: 25 36.
- . 1991a. Vegetational diversity and arthropod population response. *Ann. Rev. Entom.* 36: 561 586.
- . 1991b. Yield loss to arthropods in vegetationally diverse agroecosystems. *Environ. Entomol.* 20: 1228 1235.

- Andow, D. A., A. G. Nicholson, H. C. Wein, and H. R. Wilson. 1986. Insect populations on cabbage grown with living mulches. *Environmental Entomology* 15: 293 299.
- Andrews, D. J. 1972. Intercropping with sorghum in Nigeria. *Exper. Agric.* 8: 139 150.
- Ardiwinata, R. O. 1957. Fish culture on paddy fields in Indonesia. *Proc. Indo-Pacific Fish. Coun.* 7: 119 154.
- Armillas, P. 1971. Gardens on swamps. *Science* 174: 653 66.
- Atteh, O. D. 1984. Nigerian farmers' perception of pests and pesticides. *Insect Sci. Appl.* 5: 213 220.
- Augstburger, F. 1983. Agronomic and economic potential of manure in Bolivian valleys and highlands. *Agric. Ecosyst. Environ.* 10: 335 346.
- Azzi, G. 1956. *Agricultural Ecology*. London: Constable.
- Bach, C. E. 1980. Effects of plant density and diversity on the population dynamics of a specialist herbivore, the striped cucumber beetle, *Acalymma vittatum* (Fab.). *Ecology* 61: 1515 1530.
- Baker, H. F. 1974. The evolution of weeds. *Ann. Rev. Eco. Syst.* 5: 1 24.
- Baker, K. F., and R. J. Cook. 1974. *Biological Control of Plant Pathogens*. San Francisco: W. H. Freeman.
- Balasubramanian, V., and L. Sekayange. 1990. Area harvest equivalency ration for measuring efficiency in multiseason intercropping. *Agron. Journal* 82: 519 522.
- Bantilan, R. T., M. C. Palada, and R. R. Harwood. 1974. Integrated weed management. I. Key factors affecting crop-weed balance. *Philippine Weed Sci. Bull.* 1: 14 36.
- Barney, R. J., W. O. Lamp, E. J. Armbrust, and G. Kapusta. 1984. Insect predator community and its response to weed management in spring-planted alfalfa. *Protection Ecology* 6: 23 33.
- Bartlett, K. 1984. *Agricultural Choice and Change*. New York: Acad. Press.
- Bartlett, P. F. 1980. Adaption strategies in peasant agricultural production. *Ann. Rev. Anthropol.* 9: 545 573.
- Bartlett, R., and B. James. 1980. Studying dried, stored soil samples some pitfalls. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 721 724.
- Bartlett, R. J. 1981. Oxidation reduction status of aerobic soils. In: *Chemistry in the Soil Environment*. Wisconsin: Amer. Soc. Agronomy.
- Barton, K. A., and W. J. Brill. 1983. Prospects in plant genetic engineering. *Science* 219: 671 676.
- Bayliss Smith, T. P. 1982. *The Ecology of Agricultural Systems*. London: Cambridge Univ. Press.
- Beasdale, J. K. A. 1960. «Studies on plant competition.» In: *The Biology of Weeds*. J. L. Harper, ed. Oxford: Blackwell Scientific Publisher. pp. 133 142.
- Bebbington, A., and G. Thiele. 1993. *Non-governmental Organizations and the Stage in Latin America: Rethinking Roles in Sustainable Agricultural Development*. New York: Routledge.
- Beets, W. C. 1982. *Multiple Cropping and Tropical Farming Systems*. Boulder: Westview Press.
- Benbrook, C. M. 1989. Sustainable agriculture: policy options and prospects. *American Journal of Alternative Agriculture*: 4: 153 159.
- Bendixen, L. E., and D. J. Horn. 1981. *An Annotated Bibliography of Weeds as Reservoirs for Organisms Affecting Crops. III. Insects*. Ohio: Agric. Res. and Dev. Center.
- Beneria, L. 1984. *Women in Development in Latin America*. New York: Praeger.
- Berger, R. D. 1977. Application of epidemiological principles to achieve plant disease control. *Ann. Reg. Phytopathol.* 15: 165 183.
- Berlin, B., D. E. Breedlove, and P. H. Raven. 1973. General principles of classification and nomenclature in folk biology. *Amer. Anth.* 75: 214 242.
- Bezdickek, D. F., and J. F. Powers. 1984. Organic farming: current technology and its role in a sustainable agriculture. *ASA Spec. Pub. No. 46. Amer. Soc. Agron.*
- Birch, H. F. 1958. The effect of soil drying on humus decomposition and nitrogen availability. *Plant Soil* 10: 9 31.
- Bircham, J. S., and C. J. Korte. 1984. «Principles of herbage production.» In: *Pasture: The Export Farmer*. A. M. Fordyce, ed. New Zealand: New Zealand Institute of Agricultural Science.
- Blaikie, P. 1984. *The Political Economy of Soil Erosion*. New York: Methuen.

- Blobaum, R. 1983. «Barriers to conversion to organic farming practices in the midwestern United States.» In: *Environmentally Sound Agriculture*. W. Lockeretz, ed. New York: Praeger. pp. 263 278.
- Boller, E. F. 1992. The role of integrated pest management in integrated production of viticulture in Europe. *Brighton Crop Protection Conference*: 499 506.
- Bremen, H., and C. T. deWitt. 1983. Rangeland productivity and exploitation in the Sahel. *Science* 221(4618): 1341 1348.
- Briggs, D. J., and F. M. Courtney. 1985. *Agriculture and Environment*. London: Longman.
- Brill, W. J. 1985. Safety concerns and genetic engineering in agriculture. *Science* 227: 281 384.
- Brokenshaw, D., D. Warren, and O. Werner. 1979. *Indigenous Knowledge Systems in Development*. Washington: Univ. Press of America.
- Broughton, W. J. 1977. Effects of various covers on soil fertility under *Hevea brasiliensis* and on growth of the tree. *Agroecosystems* 3: 147 170.
- Browder, J. O., ed. 1989. *Fragile Lands in Latin America: Strategies for Sustainable Development*. Boulder: Westview Press.
- Brown, B. J., and G. G. Marten. 1986. «The ecology of traditional pest management in Southeast Asia.» In: *Traditional Agriculture in Southeast Asia*. G. Marten, ed. Boulder: Westview Press. pp. 241 272.
- Browning, J. A., and K. J. Frey. 1969. Multiline cultivars as a means of disease control. *Annu. Rev. Phytopathol.* 7: 355 382.
- Brush, S. 1977. *Mountain, Field and Family*. Philadelphia: University of Pennsylvania.
- Brush, S. B. 1982. The natural and human environment of the central Andes. *Mt. Res. Devel.* 2: 14 38.
- . 1983. Traditional agricultural strategies in the hill lands of tropical America. *Culture and Agriculture* 18: 9 16.
- Brush, S. B., J. J. Carney, and Z. Huaman. 1981. Dynamics of Andean potato agriculture. *Econ. Bot.* 35: 70 88.
- Buchanan, F. A. 1977. «Weed biology and competition.» In: *Research Methods and Weed Science*, B. Truelove, ed. Alabama: Southern Weed Sci. Soc. pp. 25 41.
- Buchanan, G. A., and R. E. Frans. 1979. The Role of Weeds in Agroecosystems. *Proc. Symp. IX Int. Cong. Plant Prot., Washington, D. C. Vol. I*.
- Budelman, A. 1990a. Woody legumes as live support systems in yam cultivation. I. The tree-crop interface. *Agroforestry Systems* 10: 47 59.
- . 1990b. Woody legumes as live support in yam cultivation. II. The Yam-*Gliricidia sepium* association. *Agroforestry Syst.* 10: 61 69.
- Bugg, R. L., and J. D. Dutcher. 1989. Warm-season cover crops for pecan orchards: horticultural and entomological implications. *Biol Agric. Hort.* 6: 123 148.
- Bugg, R. L., S. C. Phatak, and J. D. Dutcher. 1990. Insects associated with cool season cover crops in southern Georgia: implications for pest control in truck farm and pecan agroecosystems. *Biol. Agric. Hort.* 7: 17 45.
- Bunce, R. G. H., L. Ryskowski, and M. G. Paoletti. 1993. *Landscape Ecology and Agroecosystems*. Florida: Lewis Publishers.
- Bunch, R. 1988. *Case study: Guinope an integrated development program in Honduras*. Oklahoma: World Neighbors.
- Bullen, E. R. 1967. Break crops in cereal production. *J. Royal Agric. Soc. England* 1218: 77 85.
- Bulmer, R. 1965. Review of Navajo Indian ethnoentomology. *American Anthropologist* 67: 1564 1566.
- Burdon, J. J. 1987. *Diseases and Plant Population Biology*. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.
- Burdon, J. J., and R. Whitbread. 1979. Rates of increase of barley mildew in mixed stands of barley and wheat. *J. Applied Ecol.* 16: 253 258.
- Burn, A. J. 1987. «Cereal crops.» In: *Integrated Pest Management*. A. J. Burn, T. H. Coaker, and P. C. Jepson, eds. London: Academic Press. pp. 209 256.
- Burn, A. J., T. H. Coaker, and P. C. Jepson. 1987. *Integrated Pest Management*. London: Academic Press.

- Busch, L., and W. B. Lacy. 1983. *Science, Agriculture and the Politics of Research*. Boulder: Westview Press.
- Buschbacher, R., C. Uhl, and E. Serrao. 1988. Abandoned pastures in eastern Amazonia (Brazil). II. Nutrient stocks in the soil and vegetation. *J. Ecology* 76: 682-699.
- Buttel, F. H. 1980a. «Agriculture, environment and social change: some emergent issues.» In: *The Rural Sociology of the Advanced Societies*. F. H. Buttel and H. Newby, eds. New Jersey: Allenheld, Osmun and Co. pp. 453-488.
- Buttel, F. H. 1980b. Agricultural structure and rural ecology: toward a political economy of rural development. *Sociologia Ruralis* 20: 44-62.
- . 1986. *Biotechnology and the future of agricultural research in Latin America*. Seminar sobre Temas Prioritarios. Cali, Colombia.
- Bye, R. A. 1981. Quelites ethnobotany of edible greens. *J. Ethnobiology* 1: 109-119.
- Byerlee, D., M. Collinson, R. Perrin, D. Winkelman, and S. Biggs. 1980. *Planning Technologies Appropriate to Farmers*. Mexico: CIMMYT.
- Cambardella, C. A., and E. T. Elliott. 1992. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 777-783.
- Campbell, R. 1989. *Biological Control of Microbial Plant Pathogens*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Carson, R. 1964. *The Silent Spring*. New York: Fawcett.
- Centro de Educacion y Tecnologia (CET). 1983. *La Huerta Campesino Organico*. Chile: Inst. Estudios y Publicaciones Juan Gynacio Molina.
- Chacon, J. C., and S. R. Gliessman. 1982. Use of the «non-weed» concept in traditional tropical agroecosystems of southeastern Mexico. *Agroecosystems* 8: 1-11.
- Chambers, R. 1983. *Rural Development: Putting the Last First*. London: Longman.
- Chambers, R., and B. P. Ghildyal. 1985. Agricultural research for resource-poor farmers: the farmer first and last. *Agri. Admin.* 20: 1-30.
- Chang, J. H. 1968. *Climate and Agriculture*. Chicago: Aldine Pub. Co.
- Chapko, L. B., M. A. Brinkman, and K. A. Albrecht. 1991. Oat, oat-pea, barley, and barley pea for forage yield, forage quality, and alfalfa establishment. *J. Prod. Agric.* 4: 486-491.
- Charreau, C., and P. Vidal. 1965. Influence de l'*Acacia albida* Del. sur le sol, nutrition minerale et rendements des mils Pennisetum au Senegal. *Agronomie Tropicale* 20: 600-626.
- Chen, Y., and T. Aviad. 1990. «Effects of humic substances on plant growth.» In: *Humic Substances in Soil and Crop Sciences: Selected Readings*. P. MacCarthy, C. E. Clapp, R.L. Malcolm, and P. R. Bloom, eds. Wisconsin: Amer. Soc. Agronomy. pp. 161-186.
- Christianty, L., O. S. Abdoallah, G. G. Marten, and J. Iskander. 1985. «Traditional agroforestry in West Java: the Pekarangan (home garden) and Kebun-Talun (Annual perennial rotation cropping systems).» In: *Traditional Agriculture in Southeast Asia: A Human Ecology Perspective*. G. Marten, ed. Boulder: Westview Press.
- Christensen, B. T. 1992. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. *Adv. in Soil Sci.* 20: 2-90.
- Clawson, D. L. 1985. Harvest security and intraspecific diversity in traditional tropical agriculture. *Econ. Bot.* 39: 56-67.
- Coleman, E. 1989. *The New Organic Grower*. Vermont: Chelsea Green.
- Collins, H. P., P. E. Rasmussen, and C. L. Douglas, Jr. 1992. Crop rotation and residue management effects on soil carbon and microbial dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 783-788.
- Combe, J., and G. Budowski. 1979. «Classification of agroforestry techniques.» In: *Proc. Symposium on Agroforestry Systems in Latin America*. G. de las Salas, ed. Costa Rica: CATIE.
- Conklin, H. C. 1956. *Hananoo Agriculture*. Rome: FAO.
- . 1972. *Folk Classification, a Topically Arranged Bibliography*. New Haven: Yale University, Dept. Anthropology.
- . 1979. «An ethnoecological approach to shifting agriculture.» In: *Environmental and Cultural Behavior*. A. P. Nayda, ed. New York: The Natural History Press.
- Contreras, A. M. 1987. Germoplasma chileno de papas (*Solanum spp.*) *Anales Simposio Recursos Fitogeneticos*. UACH-IBPGR, Vadivía.

- Conway, G. R. 1981a. «What is an agroecosystem and why is it worthy of study?» Paper presented: Workshop on Human/Agroecosystem Interactions. PESAM/EAPI. Philippines: Los Banos College.
- . 1981b. «Man versus pests.» In: *Theoretical Ecology*. R. May, ed. Boston: Blackwell Sci.
- . 1985. Agroecosystem analysis. *Agri. Admin.* 20: 1 30.
- . 1986. *Agroecosystem Analysis for Research and Development*. Bangkok: Winrock International.
- Conway, G. R., and E. B. Barbier. 1990. *After the Green Revolution: Sustainable Agriculture for Development*. London: Earthscan Publications.
- Cook, R. J. 1982. «Use of pathogen suppressive soils for disease control.» In: *Suppressive Soils and Plant Disease*. R. W. Schneider, ed. Minnesota: Am. Phytopath. Press.
- . 1986. Interrelationships of plant health and the sustainability of agriculture. *Am. J. Alter. Agri.* 1: 19 24.
- Cook, R. J., and K. F. Baker. 1983. *The Nature and Practice of Biological Control of Plant Pathogens*. St. Paul: Phytopath. Soc.
- Cordero, A., and R. E. McCollum. 1979. Yield potential of interplanted food crops in southeastern U.S. *Agron. J.* 71: 834 852.
- Cox, G. W., and M. D. Atkins. 1979. *Agricultural Ecology*. San Francisco: W. H. Freeman and Sons.
- Cromartie, W. J. 1981. «The environmental control of insects using crop diversity.» In: *CRC Handbook of Pest Management in Agriculture*. D. Pimentel, ed. Florida: CRC Press. pp. 223 250.
- Crouch, L., and A. de Janvry. 1980. The class bias of agricultural growth. *Food Policy* 3 13.
- Culliney, T. W., and D. Pimentel. 1986. Ecological effects of organic agricultural practices on insect populations. *Agric. Ecosyst. Environ.* 15: 253 266.
- Dalal, R. C. 1974. Effects of intercropping maize with pigeon pea on grain yields and nutrient uptake. *Exper. Agric.* 10: 219 224.
- Dalton, G. E. 1975. *Study of Agricultural Systems*. London: Applied Sciences.
- Datta, S. C., and A. K. Banerjee. 1978. Useful weeds of west Bengal rice fields. *Econ. Bot.* 32: 297 310.
- Deere, C. D. 1982. Women and the sexual division of labor in Peru. *Economic Development and Cultural Change* 30: 795 811.
- de Janvry, A. 1981. *The Agrarian Question and Reformism in Latin America*. Baltimore: Johns Hopkins Univ. Press.
- de Janvry, A., and J. Dethier. 1985. «Technological innovation in agriculture: the political economy of its rate and bias.» *Consultative Group in International Agricultural Research. Study Paper No. 1*. Washington, D.C.: The World Bank.
- de Janvry, A., and R. Garcia. 1988. «Rural poverty and environmental degradation in Latin America: causes, effects, and alternative solutions.» Presented: Internat. Consult. Environ., Sustainable Develop. and the Role of Small Farmers, Internat. Fund Ag. Development, Oct. 11 13, 1988.
- deJanvry, A., D. Rumstem, and E. Sadoulet. 1987. Technological Innovations in Latin American Agriculture. *Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura*. Prog. Paper Series. San Jose, Costa Rica.
- de Janvry, A., A. Marsh, D. Runsten, E. Sadoulet, and C. Zabin. 1988. *Rural Development in Latin America: An Evaluation and a Proposal*. Monograph prepared for the Interamerican Institute for Agricultural Cooperation (IICA). San Jose, Costa Rica.
- de Janvry, A., E. Sadoulet, and L. Wilcox Y. 1989. Land and labour in Latin American agriculture from the 1950s to the 1980s. *Journal of Peasant Studies*. 16: 396 424.
- Dempster, J. P., and T. H. Coaker. 1974. «Diversification of crop ecosystems as a means of controlling pest.» In: *Biology in Pest and Disease Control*. D. P. Jones, and M. W. Solomon, eds. New York: John Wiley and Sons.
- Denevan, W. M. 1976. *Native Populations in the Americas in 1492*. Madison: Univ. Wisc. Press.
- Denevan, W. M., J. Tracy, and J. B. Alcorn. 1984. Indigenous agroforestry in the Peruvian Amazon: Examples of Bora Indian swidden fallows. *Interciencia* 96: 346 357.
- Denevan, W. M., and C. Padoch. 1987. *Swidden-fallow Agroforestry in the Peruvian Amazon*. Bronx: New York Botanical Gardens.

- Dent, D. 1991. *Insect Pest Management*. England: C. A. B. International.
- Dewey, K. 1981. Nutritional consequences of the transformation from sub-sistence to commercial agriculture. *Hum. Ecol.* 9(2): 151 187.
- deWit, C. T., P. G. Tow, and G. L. Ennik. 1966. Competition between legumes and grasses. *Versl. Land. Onder.* 687: 1 30.
- D'Intri, F. M. A. 1985. *Systems Approach to Conservation Tillage*. Michigan: Lewis Publishers, Inc.
- Doll, E. C., and L. A. Link. 1957. Influence of various legumes on the yields of succeeding corn and wheat and nitrogen content of the soils. *Agron. J.* 49: 307 309.
- Douglas, J. S., and R. A. de J. Harf. 1976. *Forest Farming: Toward a Solution to Problems of World Hunger and Conservation*. London: Watkins.
- Douglass, G. K., ed. 1984. *Agricultural Sustainability in a Changing World Order*. Boulder: Westview Press.
- Doupnik, B., and M. G. Boosalis. 1980. Ecofallow a reduced tillage system and plant diseases. *Plant Disease* 64: 31 35.
- Dyke, G. V., and A. J. Barnard. 1976. Suppression of couchgrass by Italian ryegrass and broad red clover undersown in barley and field beans. *J. Agric. Sci., Cambridge* 87: 123 126.
- Eaglesham, A. R. J., A. Ayanaba, V. Ranga Rao, and D. L. Eskew. 1981. Improving the nitrogen nutrition of maize by intercropping with cowpea. *Soil Biol. and Biochem.* 13: 169 171.
- Edens, T. C., and D. L. Haynes. 1982. Closed system agriculture: resource constraints, management options, and design alternatives. *Ann. Rev. Phytopathol.* 20: 363 395.
- Edens, T. C., and H. E. Koenig. 1981. Agroecosystem management in a resource-limited world. *BioScience* 30: 697 701.
- Egger, K. 1981. Ecofarming in the tropics characteristics and potentialities. *Plant Res. and Dev.* 13: 96 106.
- Egunjobi, O. A. 1984. Effects of intercropping maize with grain legumes and fertilizer treatment on populations of *Pratylenchus brachyurus* (Nematoda) and on the yield of maize (*Zea mays*). *Prot. Ecol.* 6: 153 167.
- Ehrlich, P. 1968. *The Population Bomb*. New York: Ballantine.
- Ellen, R. 1982. *Environment, Subsistence and Systems*. New York: Cambridge Univ. Press.
- El Titi, A. 1986. Designing agricultural ecosystems for the humid tropics. *Annual Review of Ecology and Systematics* 17: 245 271.
- Erickson, C. L., and K.L. Chandler. 1989. «Raised fields and sustainable agriculture in the Lake Titca basin of Peru.» In: *Fragile Lands of Latin America*. J. O. Browder, ed. Boulder: Westview Press.
- Enache, A. J., and R. D. Ilnicki. 1990. Weed control by subterranean clover (*Trifolium subterraneum*) used as a living mulch. *Weed Tech.* 4: 534 538.
- Evans, D. A. 1988. «Insect pest problems and control strategies appropriate to small scale corn farmers in Ecuador.» Ph.D. dissert. Univ. Calif., Davis. 121 pp.
- Evers, G. W. 1983. Weed control on warm season perennial grass pastures with clovers. *Crop Sci.* 23: 170 171.
- Ewel, J. J. 1986. Designing agricultural ecosystems for the humid tropics. *Annual Review of Ecology and Systematics* 17: 245 271.
- Ewel, J. J., S. Gliessman, M. Amador, F. Benedict, C. Berish, R. Bermudez, B. Brown, A. Martinez, R. Miranda, and N. Price. 1984. Tropical agroeco-system structure. *Agro-ecosystems* 9: 183 190.
- FAO (Food and Agricultural Organization). 1988. *Potentials for Agricultural and Rural Development in Latin America and the Caribbean*. Main Report and 5 annexes. Rome, Italy: FAO.
- Faeth, P., R. Repetto, K. Kroll, Q. Dai, and G. Hermers. 1991. *Paying the Farm Bill*. Washington, D.C.: World Resources Institute.
- Falcon, L. A., W. R. Kane, and R. S. Bethell. 1968. Preliminary evaluation of a granulosis virus for control of the codling moth. *J. Econ. Entomol.* 61: 1208 1213.
- Farrell, J. G. 1984. «The role of trees within mixed farming systems of Tlaxcala, Mexico.» Master's thesis, Univ. Calif. Berkeley.
- Finch, C. V., and C. W. Sharp. 1976. *Cover Crops in California Orchards and Vineyards*. Washington, D.C.: USDA Soil Conservation Service.

- Flaherty, D. 1969. Ecosystem trophic complexity and the Willamette mite, *Eotetranychus willamettei* (Acarine: Tetranychidae) densities. *Ecology* 50: 911-916.
- Fletcher, N. H. 1982. *Simplified Theoretical Analysis of the Pasture Meter Sensing Probe*. Australian Animal Res. Lab. Technical Paper. Australia: Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization.
- Frame, J. 1981. «Herbage mass.» In: *Sward Measurement Handbook*. J. Hodgson, R. D. Baker, A. Dvies, A. S. Laidlaw, and J. D. Leaver, eds. England: British Grassland Society.
- Francis, C. A., ed. 1986. *Multiple Cropping Systems*. New York: MacMillan.
- Francis, C. A., and M. D. Clegg. 1990. «Crop rotations in sustainable production systems.» In: *Sustainable Agricultural Systems*. C. A. Edwards, R. Lal, P. Madden, R. H. Miller, and G. Haus, eds. Iowa: Soil and Water Conservation Society.
- Francis, C. A., C. A. Flor, and S. R. Temple. 1976. «Adapting varieties for intercropped systems in the tropics.» In: *Multiple Cropping*. R. I. Papendick, P. A. Sanchez, and G. B. Triplett, eds. Wisconsin: Publ. 27. Amer. Soc. Agron. pp. 235-254.
- Francis, C., A. Jones, K. Crookston, K. Wittler, and S. Goodman. 1986. Strip cropping corn and grain legumes: a review. *Amer. J. Alter. Agric.* 1: 159-164.
- Francis, C. A., and J. H. Sanders. 1978. Economic analysis of bean and maize systems: monoculture versus associated cropping. *Field Crops Res.* 1: 319-335.
- Gade, D. W. 1975. *Plants, Man and the Land in the Vilcanota Valley of Peru*. The Hague: W. Junk, Publ.
- Gasto, J. and J. M. Gasto. 1970. Uso de la tierra. *El Campesino*. Santiago, Chile . pp. 34-50.
- Gasto, J. C. 1980. *Ecología: el hombre y las transformaciones de la naturaleza*. Chile: Universitaria, Santiago.
- Geertz, C. 1962. *Agricultural Involution*. Berkeley: Univ. of Calif. Press.
- Ghersa, C. M., and M. L. Roush. 1993. Searching for solutions to weed problems. *Bioscience* 43: 104-109.
- Ginzburg, C. 1983. *The Night Beetles: Witchcraft and Agrarian Cults in the sixteenth and Seventeenth Centuries*. London: Routledge and Kegan Paul.
- Gliemeroth, G. 1950. Untersuchungen über die einspritzung von speiserbsen. *Zeitschrift. Acker und Pflanz.* 91: 519-544.
- Gliessman, S. R. 1982a. «Allelopathic interactions in crop/weed mixtures: applications for weed management.» Paper presented: North American Symposium on Allelopathy. Nov. 14-17, 1982. University of Illinois, Champaign Urbana.
- . 1982b. «The agroecosystem: an integrative focus for the study of agriculture» (unpubl. man.).
- . 1990. *Agroecology: Researching the Ecological Basis for Sustainable Agriculture*. Ecological Studies 78. New York: Springer Verlag.
- Gliessman, S. R., E. R. Garcia, and A. M. Amador. 1981. The ecological basis for the application of traditional agricultural technology in the management of tropical agro-ecosystems. *Agro ecosystems* 7: 173-185.
- Glover, N. and J. Beer. 1986. Nutrient cycling in two traditional central American agroforestry systems. *Agrofor. Syst.* 4: 77-87.
- Gold, C. S. 1987. «Crop diversification and tropical herbivores: effects of intercropping and mixed varieties on the cassava whiteflies, *Aleurotrachelus socialis* and *Trialeurodes variabilis* in Colombia.» Ph.D. dissertation, University of California at Berkeley, CA. 362 pp.
- Gomez, A. A., and K. A. Gomez. 1983. *Multiple Cropping in the Humid Tropics of Asia*. Inter. Dev. Res. Cen., Ottawa, Canada.
- Gomez, K. A., and A. A. Gomez. 1984. *Statistical Procedures for Agricultural Research*. New York: Academic Press.
- Gow, D., and J. Van Sant. 1983. Beyond the rhetoric of participation. *World Development* 11(5): 427-446.
- Graham, D. 1984. *Undermining Rural Development with Cheap Credit*. Boulder: Westview Press.
- Grigg, D. B. 1974. *The Agricultural Systems of the World*. London: Cambridge Univ. Press.
- Grivetti, L. E. 1979. Kalahari agro-pastoral hunter-gatherers: the Tswana example. *Ecol. Food and Nutrition* 7: 235-256.

- Groden, E. 1982. «The interactions of root maggots and two parasitoids, *Alesacharas bileneata* (Gyll) and *Aphaerta pillipes* (Say).» M.S. Thesis. East Lansing: Michigan State University.
- Habte, M., and M. Alexander. 1978. Protozoa density and the coexistence of protozoan predators and bacterial prey. *Ecology* 59: 140 146.
- Hall, M. H., and K. D. Kephart. 1991. Management of spring planted pea and triticale mixtures for forage production. *J. Prod. Agric.* 4: 213 218.
- Hansen, M., L. Busch, J. Burkhardt, W. B. Lacy, and L. R. Lacy. 1984. Plant breeding and biotechnology. *BioScience* 36(1): 29 39.
- Hamilton, H., and S. Luk. 1993. Nitrogen transfers in a rapidly eroding agroecosystem: Loess Plateau, China. *J. Environ. Qual.* 22: 133 140.
- Hardin, G. 1968. The tragedy of the commons. *Science* 162: 1243 1248.
- Hargrove, W. L., and G. W. Thomas. 1981. Effect of organic matter on exchangeable aluminum and plant growth in acid soils. In: *Chemistry in the Soil Environment*. Wisconsin: Amer. Soc. Agron. Special Publ. No. 40.
- Harlan, J. R. 1976. Genetic resources in wild relatives of crops. *Crop Sci.* 16: 329 333.
- Harper, J. L. 1977. *Population Biology of Plants*. New York: Academic Press.
- Hart, R. D. 1978. «Methodologies to produce agroecosystem management plans for small farmers in tropical environments.» Paper presented: Conf. on Basic Techniques in Ecological Agriculture, Third World Agric. Workshop, Int. Fed. Organic Agric. Movements, Montreal, Canada.
- . 1979. *Agroecosistemas: Conceptos Basicos*. Costa Rica: CATIE.
- Hartl, W. 1989. Influence of undersown clovers on weeds and on the yield of winter wheat in organic farming. *Agric., Ecosyst., Environ.* 27: 389 396.
- Harwood, R. R. 1979a. *Small Farm Development Understanding and Improving Farming Systems in the Humid Tropics*. Boulder: Westview Press.
- . 1979b. The need for regional agriculture. *The New Farm* 1: 55 57.
- . 1984. «Organic farming research at the Rodale Research Center.» In: *Organic Farming: Current Technology and its Role in Sustainable Agriculture*. Bezdicek, D. F., and J. F. Powers, eds. Wisconsin: Amer. Soc. Agron.
- Harwood, R. R., and E. C. Price. 1976. «Multiple cropping in tropical Asia.» In: *Multiple Cropping*. Papendick, R. I., P. A. Sanchez, and G. B. Triplett, eds. Wisconsin: Amer. Soc. Agron.
- Haynes, R. J. 1980. Influence of soil management practice on the orchard agroecosystem. *Agroecosystems* 6: 3 32.
- Heath, M. E., R. F. Barnes, and D. S. Metcalf. 1985. *Forages: The Science of Grassland Agriculture*. Ames: Iowa State Univ. Press.
- Hecht, S. B. 1985. Environment, development and politics: capital accumulation and the livestock sector in eastern Amazonia. *World Development* 13(6): 663 684.
- Heichel, G. H. 1978. Stabilizing agricultural energy needs: role of forages, rotations and nitrogen fixation. *J. Soil and Water Conserv.* Nov. Dec. pp. 279 282.
- Hesterman, O. B., T. S. Griffin, P. T. Williams, G. H. Harris, and D. R. Christenson. 1992. Forage legume small grain intercrops: nitrogen production and response of subsequent corn. *J. Prod. Agric.* 5: 340 348.
- Hiebsch, C. K., and R. E. McCollum. 1987. Area x time equivalency ratio: a method for evaluating the productivity of intercrops. *Agron. J.* 79: 15 22.
- Hildebrand, P. 1979. «Generating technologies for traditional farmers: the Guatemalan experience.» In: *Proc. IX Int. Congress of Plant Protection*. Washington, D.C. pp. 31 34.
- . 1981. Combining disciplines in rapid appraisal: the Sandeo approach. *Agriculture Administration* 8: 423 432.
- Hofstetter, R. 1984. *Overseeding Research Results, 1982 1984*. Agronomy Department Pennsylvania: Rodale Research Center.
- Holmes, C. W., G. F. Wilson, D. D. S. MacKenzie, D. S. Flux, I. M. Brookes, and A. W. F. Davey. 1984. *Milk Production From Pasture*. New Zealand: Butterworths.
- Horwith, B. 1985. A role for intercropping in modern agriculture. *BioScience* 35(5): 286 291.
- House, G. J., and B. R. Stinner. 1983. Arthropods in no-tillage soybean agroecosystems: community composition and ecosystem interactions. *Env. Management* 7: 23 28.

- Huffaker, C. B., and P. S. Messenger. 1976. *Theory and Practice of Biological Control*. New York: Academic Press.
- Huxley, P. A. 1983. *Plant Research and Agroforestry*. Nairobi: ICRAF. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT). 1981. Proc. Inter. Workshop on Intercropping, 10-13 Jan. 1979. Hyderabad, India.
- ICRISAT. 1984. *Annual Report for 1983*. Patancheru, India.
- Irvine, D. 1987. «Successional processes.» In: *Indigenous Land Management Among Native Amazonians*. New York: New York Botanical Garden.
- Izaurrealde, R. C., N. G. Juma, and W. B. McGill. 1990. Plant and nitrogen yield of barley-field pea intercrop in cryoboreal-subhumid central Alberta. *Agron. J.* 82: 295-301.
- Janzen, D. H. 1973. Tropical agroecosystems. *Science* 182: 1212-1219.
- Janzen, H. H., C. A. Campbell, S. A. Brandt, G. P. Lafond, and L. Townley-Smith. 1992. Light-fraction organic matter in soils from long-term crop rotations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 1799-1806.
- Jawson, M. J., A. J. Franzluebbers, D. K. Galusha, and R. M. Aiken. 1994. Soil fumigation with mono-culture and rotations: response of corn and mycorrhizae. *Agron. J.* 85: 1174-1180.
- Jodha, N. S. 1981. «Intercropping in traditional farming systems.» In: *Proc. Int. Workshop on Intercropping*, 10-13 Jan. 1979. India: ICRISAT.
- Johnston, H. W., S. B. Sanderson and J. A. MacLeod. 1978. Cropping mixtures of field peas and cereals in Prince Edward Island. *Canad. J. Plant Sci.* 58: 421-426.
- Johnston, H. W., S. B. Sanderson, and J. A. MacLeod. 1978. Cropping mixtures of field peas and cereals in Prince Edward Island. *Canadian J. Plant Sci.* 58: 421-426.
- Jordan, C. 1985. *Nutrient Cycling in Tropical Forests*. New York: John Wiley and Sons.
- Kang, B. T., G. F. Wilson, and T. L. Lawson. 1984. *Alley Cropping: A Stable Alternative to Shifting Cultivation*. Nigeria: International Institute Tropical Agriculture.
- Kapoor, P., and P. S. Ramakrishnan. 1975. Studies on crop-legume behavior in pure and mixed stands. *Agro-ecosystems* 2: 61-74.
- Kasasian, L., and J. Seeyave. 1969. Critical periods for weed competition. *PANS* 15(2): 208-212.
- Kass, D. C. L. 1978. *Polyculture Cropping Systems: Review and Analysis*. Cornell Inter. Agric. Bul. 32. N. Y. State Coll. Agric. Life Sci., Cornell Univ., Ithaca, New York.
- Kenny, M., and F. H. Buttel. 1984. «Biotechnology: Prospects and Dilemmas for Third World Development.» Paper presented: The Right To Food. Concordia University, Montreal, Canada.
- Ketcheson, J. W. 1980. Long-range effects of intensive cultivation and monoculture on the quality of southern Ontario soils. *Can. J. Soil Sci.* 60: 403-410.
- King, C. G. 1978. *Ecology and Change: Rural Modernization in an African Community*. New York: Academic Press.
- King, F. H. 1927. *Farmers of Forty Centuries*. London: Cape.
- Kirchner, M. J., A. G. Wollum II, and L. D. King. 1993. Soil microbial populations and activities in reduced chemical input agroecosystems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57: 1289-1295.
- Klages, K. H. W. 1928. Crop ecology and ecological crop geography in the agronomic curriculum. *J. Am. Soc. Agron.* 20: 336-353.
- . 1942. *Ecological Crop Geography*. New York: MacMillan.
- Klee, G. A. 1980. *World Systems of Traditional Resources Management*. New York: John Wiley and Sons.
- Knight, C. G. 1980. «Ethnoscience and the African farmer: rationale and strategy.» In: *Indigenous Knowledge Systems and Development*. D. Broken-shaw et al., eds. Maryland: Univ. Press of America.
- Kogan, M. 1986. *Ecological Theory and Integrated Pest Management Practice*. New York: John Wiley and Sons.
- Korte, C. J., A. C. P. Chu, and T. R. O. Field. 1987. «Pasture production.» In: *Feeding Livestock on Pasture*. A. M. Nicol, ed. Hamilton: New Zealand Soc. Animal Production.
- Krantz, B. A. 1981. «Intercropping on an operational scale in an improved farming system.» In: *Proc. Inter. Workshop on Intercropping*, 10-13 Jan. 1979. India: ICRISAT.

- Krantz, B. A., and Associates. 1974. «Cropping patterns for increasing and stabilizing agricultural production in the semi-arid tropics.» In: *Inter. Workshop on Farming Systems*. India: ICRISAT.
- Kuhn, T. 1979. «The Relationship Between History and History of Science.» In: *Interpretive Social Science*. R. Rabinow and W. Sullivan, eds. Berkeley: Univ. Calif. Press.
- Kunelius, H. T., H. W. Johnston, and J. A. MacLeod. 1992. Effect of undersowing barley with Italian ryegrass or red clover on yield, crop composition and root biomass. *Agric., Ecosyst., Environ.* 38: 127 137.
- Kurin, R. 1983. Indigenous agronomics and agricultural development in the Indus Basin. *Human Organiz.* 42(4): 283 294.
- LACDE (Latin American Commission on Development and Environment.) 1990. *Our Own Agenda*. New York: Inter-American Development Bank-UNEP.
- Lacroix, R. L. J. 1985. *Integrated Rural Development in Latin America*. World Bank Staff Working Paper No. 716. Washington, D. C.: The World Bank.
- Lal, R. 1980. «Soil erosion as a constraint to crop production.» In: *Priorities for Alleviating Soil-related Constraints to Food Production in the Tropics*. Philippines: IRRI.
- Lal, R., E. Regnier, D. J. Exkert, W. M. Edwards, and R. Hammond. 1991. Expectations of cover crops for sustainable agriculture. In: *Cover Crops for Clean Water*. W. L. Hargrove, ed. pp. 1 14. Soil and Water Conservation Soc. Iowa.
- Langley, J. A., E. O. Healy, and K. D. Olson. 1983. The macro implications of a complete transformation of U.S. agricultural production to organic farming practices. *Agric. Ecosyst. Environ.* 10: 323 334.
- Larios, J. F. 1976. «Epifitología de algunas enfermedades foliares de la yuca en diferentes sistemas de cultivo.» M.S. thesis. UCR/CATIE. Turrialba, Costa Rica.
- Lavelle, P., and B. Pashanasi. 1989. Soil macrofauna and soil management in Peruvian Amazonia. *Pedobiología* 33: 282 291.
- Leach, G. 1976. *Energy and Food Production*. Guilford: IPC Science and Technology Press.
- Lee, Y. S., and R. J. Bartlett. 1976. Stimulation of plant growth by humic substances. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 40: 876 879.
- Leihner, D. 1983. *Management and Evaluation of Intercropping Systems with Cassava*. Colombia: CIAT.
- Lentz, D. I. 1986. Ethnobotany of the Jicaque of Honduras. *Econ. Bot.* 40: 210 219.
- Levins, R. 1973. Fundamental and applied research in agriculture. *Science* 181: 523 524.
- Levins, R., and M. Wilson. 1979. Ecological theory and pest management. *Ann. Rev. Entomol.* 25: 7 19.
- Lewis, C. E., G. W. Barfon, W. G. Monson, and W. C. McCormick. 1984. Integration of pines, pastures and cattle in South Georgia, U.S.A. *Agrofor. Syst.* 1: 277 297.
- Lewis, J. K. 1959. The ecosystem concept in range management. *Am. Soc. Range Manage. Abstr.* 12: 23 25.
- Lewis, R., and R. Lewontin. 1985. *The Dialectical Biologist*. Massachusetts: Harvard Univ. Press.
- Liebman, M. 1988. «Ecological suppression of weeds in intercropping systems: a review.» In: *Weed Management in Agroecosystems: Ecological Approaches*. Altieri, M. A., and M. Liebman, eds. Florida: CRC Press.
- Liebman, M. 1989. Effects of nitrogen fertilizer, irrigation, and crop genotype on canopy relations and yields of an intercrop/weed mixture. *Field Crops Res.* 22: 83 100.
- Liebman, M., and E. Dyck. 1993. Crop rotation and intercropping strategies for weed management. *Ecological Applications* 3: 92 122.
- Lightfoot, C. 1990. Integration of aquaculture and agriculture: a route to sustainable farming systems. *Naga, the ICLARM Quarterly* 13: 9 12.
- Lightfoot, C., M. V. Gupta, and M. Ahmed. 1992. Low external input sustainable aquaculture for Bangladesh an operational framework. *Naga, the ICLARM Quarterly* 15: 9 12.
- Litsinger, J. A., and K. Moody. 1976. «Integrated pest management in multiple cropping systems.» In: *Multiple Cropping*. P. A. Sanchez, ed. Wisconsin: Amer. Soc. Agron. Spec. Pub. No. 27. pp. 293 316.

- Litsinger, J. A., E. C. Price, and R. T. Herrera. 1980. Small farmers' pest control practices for rainfed rice, corn and grain legumes in three Philippine provinces. *Philipp. Entomology* 4:65-86.
- Lockeretz, W. R., R. Klepper, B. Commoner, M. Gertler, S. Fast, D. O'Leary, and R. Blobaum. 1975. *A Comparison of the Production, Economic Returns, and Energy Intensiveness of Corn Belt Farms that Do and Do Not Use Inorganic Fertilizers and Pesticides*. St. Louis: Ctr. Biol. Nat. Syst., Wash. Univ.
- Lockeretz, W., G. Shearer, R. Klepper, and S. Sweeny. 1978. Field crop production on organic farms in the Midwest. *J. Soil Water Cons.* 33: 130-134.
- Lockeretz, W., G. Shearer, and D. H. Kohl. 1981. Organic farming in the corn belt. *Science* 211: 540-547.
- Loomis, R. S., W. A. Williams, and A. E. Hall. 1971. Agricultural productivity. *Annual Review of Plant Physiology* 22: 431-468.
- Lorenz, K. 1977. *Behind the Mirror: A Search for a Natural History of Knowledge*. New York: Harcourt Brace Jovanovich.
- Loucks, O. L. 1977. Emergence of research on agro-ecosystems. *Ann. Rev. Eco. Sys.* 8: 173-192.
- Lowrance, R., B. R. Stinner, and G. S. House. 1984. *Agricultural Ecosystems*. New York: Wiley-Interscience.
- Lynam, J. K., J. H. Sanders, and S. C. Mason. 1986. «Economics and risk in multiple cropping.» In: *Multiple Cropping Systems*. Francis, C. A., ed. New York: Macmillan.
- MacDaniels, L. H., and A. S. Lieberman. 1979. Tree crops: a neglected source of food and forage from marginal lands. *BioScience* 29: 173-175.
- Mack, A. R. 1963. Biological activity and mineralization of nitrogen in three soils as induced by freezing and drying. *Can. J. Soil Sci.* 43: 316-324.
- Magdoff, F. R., and R. J. Bartlett. 1985. Soil pH buffering revisited. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 49: 145-148.
- . 1993. *Building Soils for Better Crops: Organic Matter Management*. Lincoln: Univ. of Nebraska Press.
- Manners, J. G. 1993. *Principles of Plant Pathology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Marten, G. G. 1986. *Traditional Agriculture in Southeast Asia: A Human Ecology Perspective*. Boulder: Westview Press.
- Martin, M. P. L. D. and R. W. Snaydon. 1982. Root and shoot interactions between barley and field beans when intercropped. *J. Appl. Ecol.* 19: 263-272.
- Martinez, N. Roberto. 1990. «The effect of changes in state policy and organization on agricultural research and extension links: a Latin American perspective.» In: *Making the Link: Agricultural Research and Technology Transfer in Developing Countries*. D. Kaimowitz, ed. Boulder: Westview Press.
- Matteson, P. C., M. A. Altieri, and W. C. Gagne. 1984. Modification of small farmer practices for better pest management. *Ann. Rev. Entomol.* 29: 383-402.
- McCamant, K. A. 1986. «The organization of agricultural production in Coporaque, Peru.» Ph.D. Dissertation. Univ. Calif., Berkeley.
- McDowell, R. E., and P. E. Hildbrand. 1980. *Integrating Crop and Animal Production: Making the Most of Resources Available to Small Farmers in Developing Countries*. New York: Rockefeller Foundation.
- McLeod, E. J., and S. L. Swezey. 1980. Survey of weed problems and management technologies. Univ. Calif. Approp. Tech. Program. Davis, Calif.: *Res. Leaf. Ser.*
- Mead, R., and R. W. Willey. 1980. The concept of a «Land Equivalent Ratio» and advantages in yields from intercropping. *Exper. Agri.* 16: 217-228.
- Meadows, D. H. 1972. *The Limits to Growth: A Report for The Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind*. New York: Universe Books.
- Merchant, C. 1983. *The Death of Nature: Women, Ecology and the Scientific Revolution*. San Francisco: Harper and Row.
- Metcalf, R. L., and W. Luckman. 1975. *Introduction to Insect Pest Management*. New York: Wiley-Interscience.

- Meyer, J. R., C. L. Campbell, T. J. Moser, G. R. Hess, J. O. Rawlings, S. Peck, and W. W. Heck. 1992. «Indicators of the ecological status of agroeco-systems.» In: *Ecological Indicators. Vol. I*. McKenzie, D. H., D. E. Hyatt, and V. J. McDonald, eds., London: Elsevier Applied Science.
- Midgley, J. 1986. *Community Participation, Social Development and the State*. New York: Methuen.
- Miller, J. C., and S. M. Bell, eds. 1982. «Crop Production Using Cover Crops and Sods as Living Mulches.» Workshop Proceedings. Corvallis: Oregon State University.
- Millington, S., C. Stopes, and L. Woodward. 1990. «Rotational design and the limits of organic systems the stockless organic farm?» In: *Proc. Symp. British Crop Protection Council*. Cambridge.
- Milton, J., and T. Farvar. 1968. *The Careless Technology*. St. Louis: Wash. Univ. Press.
- Minka, 1981. Issues No. 5,6, and 7. Grupo Talpuy, Huancayo, Peru.
- Mohler, C. L., and M. Liebman. 1987. Weed productivity and composition in sole crops and intercrops of barley and field pea. *J. Appl. Ecol.* 24:685 699.
- Montaldo, A., and C. Sanz. 1962. Las especies de papas silvestres y cultivades de Chile. *Agricultura Tecnica* 22: 66 152.
- Monteith, L. G. 1960. Influence of plants other than the food plants of their host on finding by tachinid parasites. *Can. Entomol.* 92: 641 652.
- Moock, J. 1986. *Understanding Africa's Rural Households and Farming Systems*. Boulder: Westview Press.
- Moody, K., and S. V. R. Shetty. 1981. «Weed management in intercrops.» In: *Proc. Inter. Conf. on Intercropping*, 10 13 January 1979. India: ICRISAT.
- Morales, H. L. 1984. «Chinampas and integrated farms: learning from the rural traditional experience.» In: *Ecology in Practice: Vol. I*. F. di Castri, F. W. G. Baker, and M. Hadley, eds. Dublin: Ecosystem Management, pp. 188 195.
- Moreno, R. A. 1975. Diseminación de *Ascochyta phaseolorum* en variedades de frijol de costa bajo diferentes sistemas de cultivo. *Turrialba* 25(4): 361 364.
- . 1979. «Crop protection implications of cassava intercropping.» In: *Intercropping with Cassava: Proc. of the Int. Workshop, Trivandrum, India. Nov. 1 Dec. 27, 1978*. E. Weber, B. Nestal, and M. Campbell, eds. Canada: Int. Devel. Res. Centre.
- Mueller, D. H., T. C. Daniel, and R. C. Wendt. 1981. Conservation tillage: best management practice for nonpoint runoff. *Env. Manage.* 5: 33 53.
- Mukerji, K. G., J. P. Tewari, D. K. Arora, and G. Saxena. 1992. *Recent Developments in Biocontrol of Plant Diseases*. New Delhi: Aditya Books Private Ltd.
- Murdoch, W. W. 1975. Diversity, complexity, stability and pest control. *J. Appl. Ecol.* 12(3): 795 807.
- Murray, G. A., and J. B. Swenson. 1985. Seed yield of Austrian winter field peas intercropped with winter cereals. *Agron. J.* 77: 913 916.
- Mwagiru, W.B., P. Thomas-Slayter, and R. Ford. 1989. *An Introduction to Participatory Rural Appraisal for National Resources Management*. Clark University, Massachusetts.
- Naban, G. P. 1983. «Papago Indian Fields: Arid Lands Ethnobotany and Agricultural Ecology.» Unpub- lished Ph.D. Diss. Univ. Arizona, Tucson.
- Nair, P. K. R. 1979. Intensive multiple cropping with coconuts in India. Principles, programmes and prospects. *Advances in Agronomy and Crop Science No. 6*. Berlin: Verlag.
- . 1982. *Soil Productivity Aspects of Agroforestry*. Nairobi: ICRAF.
- . 1983. «Tree integration on farmlands for sustained productivity of small holdings.» In: *Environmentally Sound Agriculture*. W. Lockeretz, ed. New York: Praeger, pp. 333 350.
- . 1984. *Soil Productivity Aspects of Agroforestry*. Nairobi: ICRAF.
- . 1986. The effects of water stress on yield advantages of inter-cropping systems. *Field Crops Res.* 13: 117 131.
- Natarajan, M., and R. W. Willey. 1980. Sorghum-pigeon pea intercropping and the effects of plant population density. *J. Agri. Sci.* 95: 59 65.
- Nation, A. 1992a. Al's observations. *Stockman Grass Farmer* 49(7): 1, 21.

- . 1992b. Winter pugging. Allan's observations. *Stockman Grass Farmer* 49(10): 20 21.
- . 1992c. Wet weather grazing tips. *Stockman Grass Farmer* 49: 17.
- . 1993. Spring pasture management similar to flying a jet. *Stockman Grass Farmer* 50(4): 1, 8.
- National Academy of Sciences (NAS). 1977. *Leucaena: Promising Forage and Tree Crop for the Tropics*. Washington, D.C.: NAS.
- National Research Council. 1984. *Alternative Agriculture*. Washington, D. C.: National Academy Press.
- Netting, R. Mc. 1974. *Cultural Ecology*. California: Cummings.
- . 1974. Agrarian ecology. *Ann. Rev. Anth.* 1: 21 55.
- Nettles, W. C. 1979. *Eucelatoria* sp. females: factors influencing response to cotton and okra plant. *Environmental Entomology* 8: 619 623.
- Norgaard, R. B. 1994. *Development Betrayed: The End of Progress and a Coevolutionary Revisioning of the Future*. New York: Routledge.
- Norman, D. W. 1977. The rationalization of intercropping. *African Envir.* 2(4)/3(1): 97 109.
- . 1979. «The farming systems approach: relevancy for small farmers.» In: *Increasing the Productivity of Small Farms*. H. S. Karaspan, ed. Lahore: Pakistan Centro. pp. 37 49.
- Norman, M. J. T. 1979. *The Rationalization of Intercropping*. Gainesville: University Presses of Florida.
- Nye, P. H. and D. J. Greenland. 1961. *The Soil Under Shifting Cultivation*. England: Comm. Agri. Bur.
- Obiefuna, J. C. 1989. Biological weed control in plantains (*Musa AAB*) with egusi melon (*Colocynthis citrullus* L.). *Biol. Agric. Hort.* 6: 221 227.
- O'Brien, T. A., J. Moorley, and W. J. Whittington. 1967. The effect of management and competition on the uptake of 32P by ryegrass, meadow fescue and their natural hybrid. *Journal of Applied Ecology* 4: 513 520.
- Odum, E. P. 1984. «Properties of agroecosystems.» In: *Agricultural Ecosystems*. Lowrance et al., eds. New York: Wiley Interscience
- Oelhaf, R. C. 1978. *Organic Agriculture*. New Jersey: Allanheld, Osmun and Co. Pub., Inc.
- Office of Technology Assessment, United States Congress. 1990. *Beneath the Bottom Line: Agricultural Approaches to Reduce Agricultural Contamination of Groundwater*. Wash., D. C.: U.S. Govt. Printing Office.
- Ofori, F., and W. R. Stern. 1987. Cereal-legume intercropping systems. *Adv. Agron.* 41: 41 90.
- Okigbo, B. N., and D. J. Greenland. 1976. «Intercropping systems in tropical Africa.» In: *Multiple Crop- ping*. R. I. Papendick, P. A. Sanchez and G. B. Triplett, eds. Wisconsin: Amer. Soc. Agron.
- Oldeman, R.A.A. 1981. «The design of ecologically sound agroforests.» In: *Viewpoints on Agroforestry*. K. F. Wiersum, ed. The Netherlands: Ag. Univ. Wageningen.
- Oostenbrink, M., K. Kuiper, and J. J. S'Jacob. 1957. Tagetes als feindpflanzen von Pratylenchus Arten. *Nematologica* 2, Suppl: 424 433.
- Osiru, D. S. O., and R. W. Willey. 1972. Studies on mixtures of dwarf sorghum and beans with particular reference to plant population. *J. Agri. Sci.* 79: 531 540.
- Palada, M. C., S. Ganser, R. Hofstetter, B. Volak, and M. Culik. 1983. «Association of interseeded legume cover crops and annual row crops in year-round cropping systems.» In: *Environmentally Sound Agriculture*. W. Lockeretz, ed. New York: Praeger.
- Palada, M. C., B. T. Kang, and S. L. Classen. 1992. Effect of alley cropping with *Leucaena leucocephala* and fertilizer application on yield of vegetable crops. *Agroforestry Syst.* 19: 139 147.
- Palmer, R., and N. Parsons. 1977. *The Roots of Rural Poverty in Central and Southern Africa*. Berkeley: Univ. Calif. Press.
- Palti, J. 1981. *Cultural Practices and Infectious Crop Diseases*. New York: Springer Verlag.
- Papadakis, J. 1938. *Compendium of Crop Ecology*. Buenos Aires, Argentina.
- . 1941. Small grains and winter legumes grown mixed for grain production. *J. Amer. Soc. Agron.* 33: 504 511.

- Papavizas, G. C. 1973. Status of applied biological control of soil-borne plant pathogens. *Soil Biol. Biochem.* 5: 709 720.
- Papendick, R. I., L. F. Elliott, and R. G. Dohlgren. 1986. Environmental consequences of modern production agriculture. *Amer. J. of Altern. Agric.* 1: 3 10.
- Papendick, R. I., P. A. Sanchez, and G. B. Triplett. 1976. *Multiple Cropping*. Wisconsin: ASA Spec. Pub. No. 27.
- Parr, J. F., R. I. Papendick, and I. G. Youngberg. 1983. Organic farming in the United States: principles and perspectives. *Agro-ecosystems* 8:183 201.
- Parsons, A. J., and I. R. Johnson. 1986. «The physiology of grass growth under grazing. In: *Grazing*. J. Frame, ed. England: British Grassland Soc., Animal and Grassland Res. Inst.
- Paul, E. A., and F. E. Clark. 1989. *Soil Microbiology and Biochemistry*. California: Academic Press, Inc.
- Pearce, A. 1975. *The Latin American Peasant*. London: Frank Cass.
- . 1980. *Seeds of Plenty; Seeds of Want: Social and Economic Implications of the Green Revolution*. New York: Oxford Press.
- Perelman, M. 1977. *Farming for Profit in a Hungry World*. New Jersey: Allanheld, Osmun and Co. Pub., Inc.
- Perrin, R. K., D. L. Winkelmann, E. R. Moscardi, and J. R. Anderson. 1979. From agronomic data to farmer recommendations: an economic training manual. *Info. Bull.* 27. Mexico City: CIMMYT.
- Perrin, R. M. 1977. Pest management in multiple cropping systems. *Agro ecosystems* 3: 93 118.
- Phillips, R. E., and S. H. Phillips. 1984. *No-tillage Agriculture: Principals and Practices*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Phillips, R. E., R. L. Blevins, G. W. Thomas, W. W. Frye, and S. H. Phillips. 1980. No-tillage agriculture. *Science* 208: 1108 1113.
- Pimentel, D. 1973. Extent of pesticide use, food supply and pollution. *Proc. N.Y. Ent. Soc.* 81: 13 33.
- Pimentel, D., G. Berardi, and S. Fast. 1983. Energy efficiency of farming systems: organic and conventional agriculture. *Agriculture Ecosystems and Environment* 9: 359 372.
- Pimentel, D., and N. Goodman. 1978. Ecological basis for the management of insect populations. *Oikos* 30: 422 437.
- Piñeiro, M., and E. Trigo, eds. 1983. *Technical Change and Social Conflict in Agriculture: Latin American Perspectives*. Boulder: Westview Press.
- Pimentel, D., and M. Pimentel. 1979. *Food, Energy and Society*. London: Edward Arnold.
- Posey, D. 1984. Ethnoecology as applied anthropology in Amazonian development. *Human Organiz.* 43(2): 95 107.
- . 1985. Indigenous management of tropical forest ecosystems: the case of the Kayapo Indians. *Agroforestry Systems*. 3: 2.
- . 1986. An ethnoentomological survey of Brazilian Indians. *J. Ethnobiology*. 6: 32 38.
- Power, J. F., and J. W. Doran. 1984. «Nitrogen use in organic farming.» In: *Nitrogen in Crop Production*. Wisconsin: ASA-CSSA-SSSA, pp. 585 592.
- Power, J. F., J. W. Doran, and P. T. Koerner. 1991. Hairy vetch as a winter cover crop for dryland corn production. *J. Prod. Agric.* 4: 62 67.
- Prasad, K., R. C. Gautam, and N. K. Mohta. 1985. Studies on weed control in arhar and soybean as influenced by planting patterns, intercropping and weed control methods. *Indian. J. Agron.* 30: 434 439.
- Price, P. W., and G. P. Waldbauer. 1975. «Ecological aspects of pest management.» In: *Introduction to Insect Pest Management*. R. L. Metcalf and W. H. Luckman, eds. New York: Wiley Interscience, pp. 37 73.
- Protheroe, R. M. 1972. *People and Land in Africa South of the Sahara*. London: Oxford Univ. Press.
- Pullin, S. V., and Z. H. Shehadeh. 1980. *Integrated Agriculture Agriculture Farming Systems*. Manila: International Center for Living Aquatic Resource Management
- Putnam, A. R., and J. DeFrank. 1983. Use of phytotoxic plant residues for selective weed control. *Crop Prot.* 2: 173 181.

- Putnam, A. R., and J. DeFrank. 1983. Use of phytotoxic plant residues for selective weed control. *Crop Protection* 2: 173 181.
- Putnam, A. R., and W. B. Duke. 1978. Allelopathy in agroecosystems. *Annu. Rev. Phytopathol.* 16: 431 451.
- Pyndji, M. M., and P. Trutmann. 1992. Managing angular leaf spot on common bean in Africa by supplementary farmer mixtures with resistant varieties. *Plant Disease* 76: 1144 1147.
- Rabb, R. L., R. E. Stinner, and R. van den Bosch. 1976. «Conservation and augmentation of natural enemies.» In: *Theory and Practice of Biological Control*. C. B. Huffaker, and P. Messenger, eds. New York: Academic Press. pp. 233 254
- Radke, J. K., and R. T. Hagstrom. 1976. «Strip intercropping for wind protection.» In: *Multiple Cropping*. R. I. Papendick, P. A. Sanchez, and G. B. Triplett, eds. Wisconsin: Amer. Soc. Agron.
- Radosevich, S. R., and J. S. Holt. 1984. *Weed Ecology: Implications for Vegetation Management*. New York: John Wiley and Sons.
- Raeburn, J. R. 1984. *Agriculture: Foundations, Principles and Development*. New York: John Wiley and Sons.
- Raintree, J. B., and A. Young. 1983. «Guidelines for agroforestry diagnosis and design.» ICRAF Working Paper No.6 Nairobi, Kenya.
- Rao, M. R., and R. W. Willey. 1980. Evaluation of yield stability in intercropping: studies on sorghum/ pigeon pea. *Exper. Agri.* 16: 105 116.
- Rayburn, E. 1988. *The Seneca Trail Pasture Plate for Estimating Forage Yield*. New York: Seneca Trail Research and Development, Mimeo.
- Redclift, M., and D. Goodman. 1991. «The machinery of hunger: the crisis of Latin American food systems.» In: *Environment and Development in Latin America*. D. Goodman and M. Redclift, eds. UK: Manchester Univ. Press.
- Reddy, M. S., and R. W. Willey. 1981. Growth and resource use studies in an intercrop of pearl millet/ groundnut. *Field Crops Res.* 4: 13 24.
- Reganold, J. P., L. F. Elliott, and Y. L. Unger. 1987. Long term effects of organic and conventional farming on soil erosion. *Nature* 330: 370 372.
- Reganold, J. P., R. I. Papendick, and J. F. Parr. 1990. Sustainable agriculture. *Scientific American* 262(6): 112 115, 118 120.
- Reicosky, D. C., and M. J. Lindstrom. 1994. Fall tillage method: effect on short term carbon dioxide flux from soil. *Agron. J.* 85: 1237 1243.
- Reinbott, T. M., Z. R. Helsel, D. G. Helsel, M. R. Gebhardt, and H. C. Minor. 1987. Intercropping soybean into standing green wheat. *Agron. J.* 79: 886 891.
- Rhoades, R. E., and R. Booth. 1982. Farmer back to farmer: a model for generating acceptable agricultural technology. *Agri. Admin.* 11: 127 137.
- Richards, A. 1939. *Land, Labor and Diet in Northern Rhodesia*. London: Routledge and Kegan Paul.
- Richards, P. 1985. *Indigenous Agricultural Revolution: ecology and food production in West Africa*. Boulder: Westview Press.
- . 1986. *Coping with Hunger: Hazard and Experiment in African Rice Farming*. Boulder: Westview Press.
- . 1981. Insect herbivore abundance in tropical monocultures and polycultures: an experimental test of two hypotheses. *Ecology* 62: 1325 1340.
- Risch, S. J. 1983. Intercropping as cultural pest control: prospects and limitations. *Envir. Manage.* 7(1): 9 14.
- Risch, S. J., D. Andow, and M. A. Altieri. 1983. Agroecosystem diversity and pest control: data, tentative conclusions and new research directions. *Env. Entomol.* 12: 625 629.
- Roberts, B. 1992. *Land Care Manual*. Kensington, Australia. New South Wales University Press.
- Root, R. B. 1973. Organization of a plant arthropod association in simple and diverse habitats: the fauna of collards (*Brassica oleracea*). *Ecol. Monogr.* 43: 95 124.
- Rosset, P., and M. Benjamin. 1993. «Two steps backward, one step forward: Cuba's nationwide experiment with organic agriculture.» Global Exchange, San Francisco.

- Ruddle, K., and G. Zhang. 1988. *Integrated Agriculture aquaculture in South China*. England: Cambridge University Press.
- Ruthenberg, H. 1971. *Farming Systems of the Tropics*. London: Oxford Univ. Press.
- Sagar, G. R. 1974. «On the ecology of weed control.» In: *Biology in Pest and Disease Control*. D. Price Jones and M. E. Solomon, eds. England: The 13th Symp. Brit. Ecol. Soc.
- Salter, P. J., J. M. Akehurst, and G. E. L. Morris. 1985. An agronomic and economic study of intercropping Brussels sprouts and summer cabbage. *Exper. Agric.* 21: 153 167.
- Samson, R., C. Foulds, and D. Patriquin. 1990. *Choice and Management of Cover Crop Species and Varieties for Use in Row Crop Dominant Rotations*. Resource Efficient Agricultural Production (REAP)-Canada/Agriculture Canada, Res Sta., Harrow, Ontario.
- Sanchez, J. B. 1989. Conservacion de recursos naturales, produccion de alimentos y organizacion campesina. CIED, Lima, Peru.
- Sanders, J. H., and D. V. Johnson. 1982. Selecting and evaluating new technology for small farmers in the Colombian Andes. *Mt. Res. Dev.* 2(3): 307 316.
- Savory, A. 1988. *Holistic Resource Management*. California: Island Press.
- Schroth, M. N., and J. G. Hancock. 1985. Soil antagonists in IPM systems. In: *Biological Control in Agricultural IPM Systems*. M. A. Hoy and D.C Herzog. Florida: Academic Press. pp. 422 423.
- Schumacher, R. 1973. *Small Is Beautiful*. London: Abacus.
- Scott, J. 1978. *The Moral Economy of the Peasant*. Madison: Univ. Wisconsin.
- . 1986. *Weapons of the Weak: Everyday Forms of Peasant Resistance*. New Haven: Yale University Press.
- Scott, T. W., J. Mt. Pleasant, R. F. Burt, and D. J. Otis. 1987. Contributions of ground cover, dry matter, and nitrogen from intercrops and cover crops in a corn polyculture system. *Agron. J.* 79: 792 798.
- Sen, A. 1981. *Poverty and Famines*. New York: Oxford Press.
- Senanayake, R. 1984. «The ecological, energetic and agronomic systems of ancient and modern Sri Lanka.» In: *Agricultural Sustainability in a Changing World Order*. Douglass, G. K., ed. Boulder: Westview Press, pp. 227 238.
- Sengupta, K., K. K. Bhattacharyya, and B. N. Chatterjee. 1985. Intercropping upland rice with blackgram (*Vigna mungo* L.). *J. Agric. Sci., Cambridge* 104: 217 221.
- Shaner, W. W., P. F. Philipp and W. R. Schmehl. 1982. *Farming Systems Research and Development: Guidelines for Developing Countries*. Boulder: Westview Press.
- Sheath, G. W., R. J. M. Hay, and K. H. Gile. 1987. «Managing pastures for grazing animals.» In: *Feeding Livestock on Pasture*. A. M. Nicol, ed. Hamilton: New Zealand Society of Animal Production. pp. 65 74.
- Shenk, M. D., and J. L. Saunders. 1983. «Insect population responses to vegetation management systems in tropical maize production.» In: *No-tillage Crop Production in the Tropics*. I. O. Akobundo and A. E. Deutsch, eds. Oregon: Int. Plant Protection Center. pp. 73 85.
- Shetty, S. V. R., and A. N. Rao. 1981. «Weed management studies in sorghum/pigeon pea and pearl millet/groundnut intercrop systems some observations.» In: *Proc. Int. Workshop on Intercropping*, 10 13 Jan. 1979. India: ICRISAT. pp. 238 248.
- Sikor, T. 1994. Participatory methods and empowerment in rural development: lessons from two experimental workshops with a Chilean NGO. *Agriculture and Human Values* 11(20): in press.
- Simon, J., and H. Kahn. 1985. *The Resourceful Earth*. New York: Oxford Press.
- Sluss, R. R. 1967. Population dynamics of the walnut aphid *Chromaphis juglandicola* (Kalt.) in northern California. *Ecology* 48: 41 58.
- Smetham, M. L. 1973. «Grazing management.» In: *Pastures and Pasture Plants*. R. H. M. Langer, ed., New Zealand: A. H. & A. W. Reed.
- Smil, V. 1991. *General Energetics: Energy in the Biosphere and Civilization*. New York: John Wiley & Sons.
- Smith, J. G. 1969. Some effects of crop background on populations of aphids and their natural enemies on brussels sprouts. *Annals of Applied Biology* 63: 326 330.
- Smith, J. R. 1953. *Tree Crops: A Permanent Agriculture*. New York: Devin- Adair.

- Soria, J., R. Bazan, A. M. Pinchinat, G. Paez, N. Mateo, R. Moreno, J. Fargas, and W. Forsythe. 1975. Investigación sobre sistemas de producción agri-cola para el pequeño agricultor del trópico. *Turrialba* 5(3): 183 293.
- Soule, J. D., and J. K. Piper. 1992. *Farming in Nature's Image*. Washington, D. C.: Island Press.
- Soulides, D. A., and F. E. Allison. 1961. Effect of drying and freezing soils on carbon dioxide production, available mineral nutrients, aggregation, and bacterial populations. *Soil Sci.* 91: 291 298.
- Southwood, T. R. E., and M. J. Way. 1970. «Ecological background to pest management.» In: *Concepts of Pest Management*. R. L. Rabb and F. E. Guthrie, eds. North Carolina: North Carolina State University, pp.6 28.
- Spedding, C. R. W. 1975. *The Biology of Agricultural Systems*. London: Academic Press.
- Sprague, M. A. and G. B. Triplett, eds. 1986. *No-tillage and Surface Tillage Agriculture*. New York: John Wiley and Sons.
- Steiner, K. G. 1984. *Intercropping in Tropical Smallholder Agriculture with Special Reference to West Africa*. 2nd ed. Deutsche Gesell. Techn. Zusam. (GTZ). Federal Rep. Germany: Eschborn.
- Stewart, R. H., K. W. Lynch, and E. M. White. 1980. The effect of growing clover cultivars in association with barley cultivars upon grain yield of the barley crop in the year of sowing and the subsequent year. *J. Agric. Sci., Cambridge* 95: 715 720.
- Stiger, C. J. 1984. Examples of mulch use in microclimate management by traditional farmers in Tanzania. *Agric. Ecosys. Environ.* 11: 173 176.
- Stone, R. 1992. Researchers score victory over pesticides and pests in Asia. *Science* 256: 1272.
- Sumner, D. R. 1982. «Crop rotation and plant productivity.» In: *CRC Handbook of Agricultural Productivity, Vol. I*. M. Rechcigl, ed. Florida: CRC Press. pp. 273 313.
- Sumner, D. R., B. Doupnik, Jr., and M. G. Boosalis. 1981. Effects of reduced tillage and multiple cropping on plant diseases. *Annu. Rev. Phytopathol.* 19: 167 187.
- Sumner, M. E., and B. A. Stewart, eds. 1992. *Soil Crusting: Chemical Physical Process*. Florida: Lewis Publishers.
- Suryatna, E. 1979. «Cassava intercropping patterns and management practices in Indonesia.» In: *Intercropping with Cassava: Proc. Int. Workshop*. Trivandrum, India Nov. 1 Dec. 27, 1978. E. Weber, B. Nestel and M. Campbell, eds. Canada: Int. Dev. Res. Centre, pp. 35 36.
- The Ecologist. 1972. Blue print for survival. *The Ecologist* 2: 1 43.
- Theunissen, J., and H. den Ouden. 1980. Effects of intercropping with *Spergula arvensis* on pest of brussel's sprouts. *Ent. Exp. and Appl.* 22: 260 268.
- Thiele, G., M. Prager, An. Bebbington, H. Rivero S., P. Davies and J. Wadsworth, eds. 1993. *Estudios de Caso: Generación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria: El Papel de Las ONGs y el Sector Público*. Santa Cruz, Bolivia: Centro de Investigación Agrícola Tropical.
- Thorne, D. W., and M. D. Thorne. 1979. *Soil, Water and Crop Production*. Westport: AVI Pub. Co.
- Thresh, J. M. 1981. *Pests, Pathogens and Vegetation: The Role of Weeds and Wild Plants in the Ecology of Crop Pests and Diseases*. Massachusetts: Pitman Pub., Inc.
- . 1982. Cropping practices and virus spread. *Annu. Rev. Phytopathol.* 20: 193 218.
- Thurston, H. D. 1991. *Sustainable Practices for Plant Disease Management in Traditional Farming Systems*. Boulder: Westview Press.
- Thurston, D. H., M. Smith, G. Abawi, and S. Kearnl. 1994. Slash/mulch: how farmers use it and what researchers know about it. *CIIFAO-CATIE*, Ithaca.
- Tischler, W. 1965. *Agroökologie*. Jene: Eustan Fisher.
- Todd, R. L., R. Leonard, and L. Asmussed, eds. 1984. *Nutrient Cycling in Agricultural Ecosystems*. Michigan: Ann Arbor Sci. Publ.
- Toledo, V. M. 1980. La ecología del modo campesino de producción. *Anthropologia y Marxismo* 3: 35 55.
- Toledo, V. M., J. Cararbias, C. Mapes, and C. Toledo. 1985. *Ecología y Autosuficiencia Alimentaria*. Mexico City: Siglo Veintiuno Ed.
- Treacey, J. M. 1989. «Agricultural terraces in Peru's Colca Valley: promises and problems of an ancient technology.» In: *Fragile Lands of Latin America*. J. O. Browder, ed. Boulder: Westview Press.
- Trenbath, B. R. 1976. «Plant interactions in mixed crop communities.» In: *Multiple Cropping*. R. I. Papendick, P. A. Sanchez and G. B. Triplett, eds. Wisconsin: Amer. Soc. Agron. pp. 129 170.

- Trenbath, B. R. 1983. «The dynamic properties of mixed crops.» In: *Frontiers of Research in Agriculture*. S. K. Roy, ed. India: Indian Stat. Inst. pp. 265 286.
- Tripathi, B. and C. M. Singh. 1983. Weed and fertility management using maize/soyabean intercropping in the northwestern Himalayas. *Trop. Pest Manage.* 29(3): 267 270.
- Tripathi, R. S. 1977. Weed problems an ecological perspective. *Trop. Ecol.* 18: 138 148.
- Tripp, R., and J. Woolley. 1989. *The Planning Stage of On-farm Research: Identifying Factors for Experimentation*. Mexico: CIMMYT-CIAT.
- Troeh, F. R., J. A. Hobbs, and R. L. Donahue. 1980. *Soil and Water Conservation for Productivity and Environmental Protection*. New York: Prentice Hall.
- Trujillo Arriaga, J., and M. A. Altieri. 1990. A comparison of aphidophagous arthropods on maize polycultures and monocultures in central Mexico. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 31: 337 349.
- Tustin, J. R., R. L. Knowles, and B. K. Klomp. 1979. Forest farming: a multiple land-use production system in New Zealand. *For. Ecol. Manage.* 2: 169 189.
- Uhl, C. 1983. Nutrient uptake and nutrient retention related characteristics of common successional species in the upper Rio Negro region of the Amazon basin. (unpub. manuscript).
- Uhl, C., and C. Jordan. 1984. Vegetation and nutrient dynamics during the first five years of succession following forest cutting and burning in the Rio Negro region of Amazonia. *Ecology* 65: 1476 1490.
- Uhl, C., R. Buschbacher, and A. Serrao. 1988. Abandoned pastures in Amazonia. I. Patterns of plant succession. *J. Ecology* 76: 663 681.
- Uhl, C., and P. Murphy. 1981. A comparison of productivities and energy values between slash and burn agriculture and secondary succession in the upper Rio Negro region of the Amazon Basin. *Agro ecosystems* 7: 63 83.
- Unamma, R. P. A., T. Enyinnia, and J. F. Emezie. 1985. Critical period of weed interference in cocoyam/ maize/sweet potato intercrop. *Trop. Pest Manage.* 31: 21 23.
- USDA (United States Department of Agriculture). 1973. *Monoculture in Agriculture: Extent, Causes, and Problems Report of the Task Force on Spatial Heterogeneity in Agricultural Landscapes and Enterprises*. Washington, D.C.: USDA.
- . 1980. *Report and Recommendations on Organic Farming*. Washington, D. C.: USDA
- van den Bosch, R., and A. D. Telford. 1964. «Environmental modification and biological control.» In: *Biological Control of Insect Pests and Weeds*. P. DeBach, ed. New York: Reinhold, pp. 459 488.
- Vandermeer, J. 1981. The interference production principle: an ecological theory for agriculture. *BioScience* 31: 361 364.
- . 1989. *The Ecology of Intercropping*. Cambridge, U.K. Cambridge Univ. Press,
- van Dyne, G. M. 1969. *The Ecosystem Concept in Natural Resource Management*. New York: Academic Press.
- van Emden, H. F. 1965. The role of uncultivated land in the biology of crop pests and beneficial insects. *Sci. Hort.* 17: 121 136.
- Vanderplank, J. E. 1982. *Host-pathogen Interactions in Plant Disease*. New York: Academic Press.
- Vink, A. P. A. 1975. *Land Use in Advancing Agriculture*. New York: Springer-Verlag.
- Visser, T., and M. K. Vythilingam. 1959. The effect of marigolds and some other crops on the *Pratylenchus* and *Meloidogyne* populations in tea soil. *Tea Quart.* 30: 30 38.
- Voisin, A. 1959. *Grass Productivity*. New York: Philosophical Library. Reprinted, 1988, Washington, D. C.: Island Press.
- . 1960. *Better Grassland Sward*. London: Crosby Lockwood and Son.
- Vrabel, T. E., P. L. Minotti, and R. D. Sweet. 1980. Seeded legumes as living mulches in sweet corn. *Proc. N.E. Weed Sci. Soc.* 34: 171 175.
- Wade, M. K., and P. A. Sanchez. 1984. Productive potential of an annual intercropping scheme in the Amazon. *Field Crops Res.* 9: 253 263.
- Wall, G. J., E. A. Pringle, and R. W. Sheard. 1991. Intercropping red clover with silage corn for soil erosion control. *Can. J. Soil Science.* 71: 137 145.
- Wasserstrom, R. 1982. *Land and Labor in Chiapas*. Berkeley: Univ. Calif. Press.

- Watts, M. 1983. *Silent Violence*. Berkeley: Univ. Calif. Press.
- Webster, C. C., and P. N. Wilson. 1980. *Agriculture in the Tropics*. Tropical Agriculture Series. London: Longman. pp. 9 12.
- Weil, R. N. 1982. Maize-weed competition and soil erosion in unweeded maize. *Trop. Agri.* 59: 207 213.
- Whittington, W. J., and T. A. O'Brien. 1968. A comparison of yields from plots sown with a single species or a mixture of grass species. *J. Appl. Ecol.* 5: 209 213.
- Whittlesay, D. 1936. Major agricultural regions of the earth. *Ann. Assoc. Amer. Geog.* 26: 199.
- Widdowson, R. W. 1987. *Towards Holistic Agriculture: A Scientific Approach*. Oxford: Pergamon Press.
- Wiersum, K. F., ed. 1981. *Viewpoints on Agroforestry*. The Netherlands: Agricultural University, Wageningen.
- Wilken, G. C. 1969. The ecology of gathering in a Mexican farming region. *Econ. Bot.* 24: 286 295.
- . 1977. Integrating forest and small-scale farm systems in middle America. *Agro ecosystems* 3: 291 302.
- . 1987. *Good Farmers Traditional Agricultural Resource Management in Mexico and Central America*. Berkeley: University of California Press.
- Wilkes, H. G. 1977. Hybridization of maize and teosinte in Mexico and Guatemala and the improvement of maize. *Econ. Bot.* 31: 254 293.
- Willey, R. W. 1990. Resource use in intercropping systems. *Agric. Water Manage.* 17: 215 231.
- Willey, R. W., and D. S. O. Osiru. 1972. Studies on mixtures of maize and beans with particular reference to plant population. *J. Agri. Sci.* 79: 519 529.
- Williams, B., and C. Ortiz Solorio. 1981. Middle American folk soil taxonomy. *Annals of the Assoc. of American Geographers* 71: 335 358.
- Williams, D. E. 1985. «Tres arvenses Solanaceas comestibles y su proceso de domesticacion en Tlaxcala, Mexico.» Master's thesis, Colegio de Post-graduados, Chapingo, Mexico.
- Williams, E. D. 1972. Growth of *Agropyron repens* seedlings in cereals and field beans. *Proc. 11th Brit. Weed Control Conf.*: 32 37.
- William, R. D. 1981. Complementary interactions between weeds, weed control practices, and pests in horticultural cropping systems. *HortScience* 16: 508 513.
- Wilsie, C. P. 1962. *Crop Adaptation and Distribution*. San Francisco: W. H. Freeman Co.
- Wilson, G. F., and B. T. Kang. 1981. «Developing stable and productive bio-logical cropping systems for the humid tropics.» In: *Biological Husbandry: a Scientific Approach to Organic Farming*. B. Stone- house, ed. London: Butterworths. pp. 193 203.
- Wittwer, S. H. 1975. Food production: technology and the resource base. *Science* 188: 579 588.
- Wolf, E. 1982. *Europe and the People Without History*. Berkeley: Univ. Calif. Press.
- Wolfe, M. S. 1985. The current states and prospects of multiline and variety mixtures for diseases resistance. *Ann. Rev. Phytopathology* 23: 251 273.
- Woodmansee, R. 1984. «Comparative nutrient cycles of natural and agri-cultural ecosystems.» In: *Agri- cultural Ecosystems*. R. Lowrance, B. R. Skinner, and G. S. House, eds. New York: John Wiley and Sons. pp. 145 157.
- Youngberg, G. 1980. Organic farming: a look at opportunities and obstacles. *J. Soil Water Conservation* 35: 254 263.
- Yurjevic, A. M. 1991. The Assessment of the Agroecological Bottom-Up Development Strategy. Ph.D Thesis, University of California, Berkeley.
- Zadoks, J. C., and R. D. Schein. 1979. *Epidemiology and Plant Disease Management*. New York: Oxford Univ. Press.
- Zandstra, H. G., E. C. Price, J. A. Litsinger, and R. A. Morris. 1981. *A Methodology for On-farm Cropping Systems Research*. Philippines: IRRI.
- Zimdahl, R. L. 1980. *Weed-Crop Competition: a Review*. Corvallis: Inst. Plant Prot. Center, Oregon State Univ.
- Zuofa, K., and N. M. Tariah. 1992. Effects of weed control methods on maize and intercrop yields and net income of small-holder farmers, Nigeria. *Trop. Agric. (Trinidad)* 69: 167 170.
- Zuofa, K., N. M. Tariah, and N. O. Isirimah. 1992. Effects of groundnut, cowpea, and melon on weed control and yields of intercropped cassava and maize. *Field Crops Res.* 28: 309 314.



Producido en forma cooperativa en los talleres gráficos de Comunidad del Sur. Avda. Millán 4113, Tel. 305 5609, 12900 Montevideo. Setiembre de 1999. D.L. 310.232/99. Edición amparada al decreto 218/96. Comisión del Papel.